

Análise do Perfil de Tensão de uma rede de Distribuição através da Alocação Otimizada de Banco de Capacitores^{*}

Lucas Freire Santos Azeredo^{*} Jussara Farias Fardin^{**}
 Helder Roberto de Oliveira Rocha^{***}
 Renato Santos Freire Ferraz^{****}
 João Carlos de Jesus Monteiro[†]

^{*} Universidade Federal do Espírito Santo, ES, (e-mail: lucas.azeredo@aluno.ufes.br).

^{**} Universidade Federal do Espírito Santo, ES, (e-mail: jussara.fardin@ufes.br)

^{***} Universidade Federal do Espírito Santo, ES, (e-mail:helder.rocha@ufes.br)

^{****} Universidade Federal do Espírito Santo, ES, (e-mail: renato.s.ferraz@aluno.ufes.br)

[†] Universidade Federal do Espírito Santo, ES, (e-mail: joao.c.monteiro@aluno.ufes.br)

Abstract: This paper proposes to study the voltage profile of the IEEE 13-node radial test feeder, without the presence of the voltage regulator connected to the substation output, by optimizing capacitor bank (CBs) allocation comparing the use of 3 different types. of objective functions through the use of genetic algorithm (GA). The results obtained for the optimized capacitor bank allocation show that the objective function that aims to minimize the losses of the distribution system obtains better results. The objective functions will be analyzed with the fixed capacitors of the 13 node system and the removal of these capacitors from the system. The impact on the voltage profile in the presence of fixed capacitors and the removal of these elements will be compared under the electricity regulation of Brazilians. Electric Energy Regulatory Agency (ANEEL) and Electric System Operator (ONS).

Resumo: Este artigo propõe estudar o perfil de tensão do alimentador de teste radial de 13 nós IEEE ,sem a presença do regulador de tensão conectado à saída da subestação, por meio da alocação otimizada de banco de capacitores (BCs) comparando a utilização de 3 diferentes tipos de funções objetivos através do uso de algoritmo genético (GA). Os resultados obtidos para a alocação otimizada de banco de capacitores mostram que a função objetivo que visa minimizar as perdas do sistema de distribuição obtém melhores resultados. As funções objetivos serão analisadas com os capacitores fixos do sistemas de 13 nós e com a retirada desses capacitores do sistema. O impacto no perfil de tensão na presença dos capacitores fixos e na retirada desses elementos serão comparados sob a regulamentação da eletricidade de brasileiros Agência Reguladora de Energia Elétrica (ANEEL) e Operador de sistema elétrico (ONS).

Keywords: Capacitor Bank ;Voltage Profile; ANEEL; ONS; Genetic Algorithm.

Palavras-chaves: Banco de Capacitores;Perfil de Tensão; ANEEL;ONS;Algoritmo Genético.

1. INTRODUÇÃO

Um grande problema em um sistema de distribuição de energia é uma queda de tensão devido à carga muito alta e alta potência sistemas de distribuição e rápido crescimento de carga rede radial(KC and Regmi (2019)).

Uma possibilidade de reduzir esse problema é realizando a alocação de banco de capacitores. Vale ressaltar que os capacitores são amplamente utilizados em sistemas de distribuição para estabilização de tensão e potência reativa

compensação, bem como redução de potência ou energia, regulagem de tensão e liberação da capacidade do sistema.

Para atingir o objetivo de ter uma perda minimizada e um melhor perfil de tensão, a seleção adequada do tamanho do banco de capacitores e a posição em que está localizado deve ser realizada de maneira correta (B. and Z.A.ALAMIDY (2011)). Nesse contexto, que envolve a alocação otimizada de banco de capacitores, é importante destacar que a aplicação de algoritmos genéticos tem sido extensivamente investigada na literatura (Charlie and Routh (2015)).

^{*} Este estudo foi financiado em parte pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq).

Note que, os valores de tensão na Fase B para a rede simulada estão acima dos padrões da ANEEL. O que torna necessário uma análise para melhorar o perfil de tensão da rede.

Para solucionar esse problema, será utilizado uma alocação otimizada de BC para melhorar o perfil de tensão da rede. A alocação otimizada será analisada por meio de três casos específicos, a saber:

- Caso 1: Maximizando o fator de potência;
- Caso 2: Minimizando os Custos de Investimento;
- Caso 3: Minimizando as Perdas;

Vale ressaltar que, para cada caso serão feitas duas análises. A primeira análise será a alocação de BCs sem a presença dos BCs fixos nos nós 675 e 611 e a segunda análise será baseada na alocação de BCs com a presença do BCs fixos.

6. RESULTADOS E DISCURSÕES

6.1 Caso 1

O primeiro caso visa maximizar o fator de potência na saída da subestação, que é representado pelo nó 650 da figura 1. Embora o objetivo do caso 1 seja maximizar o fator de potência, a função objetivo nesse caso visa minimizar a diferença entre o valor unitário do fator de potência e o fator de potência na saída da subestação para obter um fator de potência mais próximo do fator de potência unitário.

$$\min \sum_{i=0}^{n_{int}} (1 - fp_i) \quad (1)$$

Onde, n_{int} é o número de interações realizadas no Algoritmo Genético para atingir a função objetivo. Os resultados obtidos no caso 1 estão expostos na tabela 5.

Tabela 5. Perfil de Tensão para o Caso 1.

Maximizando o Fator de Potência						
Sem os Capacitores Fixos da Rede				Com os Capacitores Fixos da Rede		
Fases						
Nó	A	B	C	A	B	C
650	1.0210	1.0420	1.0174	1.0210	1.0420	1.0174
632	1.0076	1.0461	0.9976	1.0105	1.0476	1.0044
633	1.0061	1.0452	0.9963	1.0102	1.0479	1.0043
634	1.0047	1.0443	0.9950	1.0099	1.0483	1.0043
635	1.0076	1.0416	0.9967	1.0105	1.0431	1.0035
645	1.0076	1.0408	0.9957	1.0105	1.0423	1.0025
646	0.9950	1.0557	0.9790	0.9979	1.0558	0.9895
671	0.9950	1.0557	0.9790	0.9979	1.0558	0.9895
680	0.9905	1.0562	0.9766	0.9941	1.0569	0.9878
692	0.9867	1.0567	0.9749	0.9909	1.0580	0.9869
675	0.9941	1.0557	0.9773	0.9969	1.0558	0.9885
652	0.9930	1.0557	0.9773	0.9958	1.0558	0.9885
611	0.9941	1.0557	0.9756	0.9969	1.0558	0.9875

Pela tabela 5, verifica-se que em ambos os casos os valores de tensão na fase B estão acima dos valores da ANEEL. Para o caso em sem os BCs fixos, verificou-se que foram alocados dois BC nos nós 632 e 634 e a potência total do conjunto de BC alocados foi de 356Kvar. Já para o caso em que os BC fixos são mantidos, verificou-se que foram alocados dois BCs nos nós 634 e 646 totalizando uma potência total do conjunto de 120 Kvar.

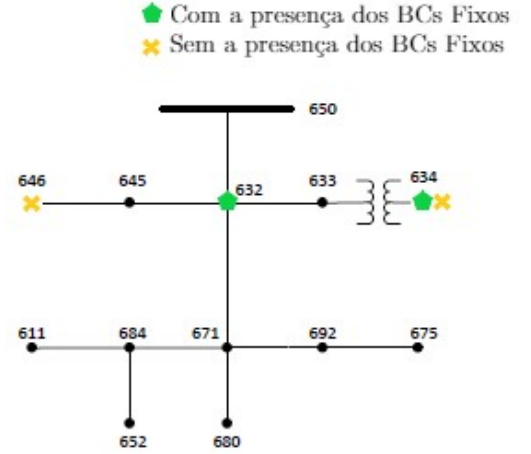


Figura 2. Ilustração da Alocação de BC para o caso 1

6.2 Caso 2

O segundo caso visa minimizar os custos de investimento da alocação de banco de capacitores (c_{bc}) e o custo da potência ativa fornecida pela subestação (c_{ps}).

$$\min \sum_{i=0}^{n_{int}} \sum_{j=0}^{n_{bc}} (c_{bc} * N_{bc} + c_{ps} * P_i^s) \quad (2)$$

Onde, n_{int} é o número de interações realizadas no Algoritmo Genético para atingir a função objetivo, N_{bc} é o número de BC alocados no caso 2. Os resultados obtidos no caso 1 estão expostos na tabela 6.

Tabela 6. Perfil de Tensão para o Caso 2.

Maximizando o Fator de Potência						
Sem os Capacitores Fixos da Rede				Com os Capacitores Fixos da Rede		
Fases						
Nó	A	B	C	A	B	C
650	1.0210	1.0420	1.0174	1.0210	1.0420	1.0174
632	1.0013	1.0396	0.9904	1.0061	1.0433	0.9995
633	1.0002	1.0391	0.9895	1.0049	1.0428	0.9986
634	0.9991	1.0385	0.9885	1.0038	1.0422	0.9976
635	1.0013	1.0351	0.9895	1.0061	1.0388	0.9986
645	1.0013	1.0342	0.9885	1.0061	1.0380	0.9976
646	0.9850	1.0453	0.9675	0.9945	1.0527	0.9857
671	0.9850	1.0453	0.9675	0.9945	1.0527	0.9857
680	0.9804	1.0458	0.9651	0.9907	1.0538	0.9841
692	0.9765	1.0464	0.9633	0.9875	1.0549	0.9832
675	0.9840	1.0453	0.9658	0.9935	1.0527	0.9847
652	0.9829	1.0453	0.9658	0.9924	1.0527	0.9847
611	0.9840	1.0453	0.9641	0.9935	1.0527	0.9837

Pela tabela 6, verifica-se que o caso em que há a presença dos BCs fixos os valores de tensão na fase B estão acima dos valores da ANEEL. Para o caso em sem os BCs fixos, verificou-se que foram alocados um BC no nó 634 de 60Kvar, além disso o perfil de tensão nesse caso está dentro dos padrões da ANEEL e mostrou um resultado bastante satisfatório. Já para o caso em que os BC fixos são mantidos, verificou-se que foram alocados dois BCs nos nós 634 e 646 totalizando uma potência total do conjunto de 120 Kvar.

6.3 Caso 3

O terceiro caso visa minimizar os perdas do sistema de distribuição e consequentemente promover uma alocação otimizada dos BC para os dois casos analisados.

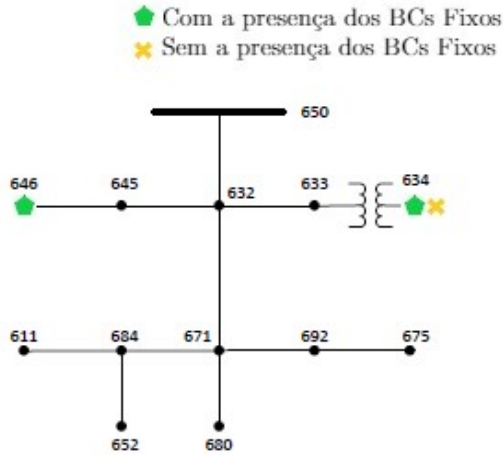


Figura 3. Ilustração da Alocação de BC para o caso 2

$$\min \sum_{i=0}^{n_{int}} (R_{linha} * I_{linha}^2) \quad (3)$$

Os resultados do perfil de tensão para o caso 3, estão expostos na tabela 7.

Pela tabela 7, verifica-se que em ambos os casos os valores de tensão na fase B estão acima dos valores da ANEEL. Para o caso em sem os BCs fixos, verificou-se que foram alocados dois BC nos nós 692 e 652 e a potência total do conjunto de BC alocados foi de 400Kvar.

Já para o caso em que os BC fixos são mantidos, verificou-se que foram alocados dois BCs nos mesmos nós totalizando uma potência total do conjunto de 400 Kvar e nesse caso foram obtidos os maiores valores de tensão entre os casos analisados. A ilustração da alocação desses capacitores na rede está exposta na figura 4.

Tabela 7. Perfil de Tensão para o Caso 3.

Minimizando as Perdas						
Sem os Capacitores Fixos da Rede				Com os Capacitores Fixos da Rede		
Fases						
Nó	A	B	C	A	B	C
650	1.0210	1.0420	1.0174	1.0210	1.0420	1.0174
632	1.0113	1.0436	0.9840	1.0147	1.0461	0.9921
633	1.0098	1.0427	0.9827	1.0132	1.0452	0.9907
634	1.0083	1.0418	0.9813	1.0117	1.0443	0.9894
635	1.0113	1.0391	0.9831	1.0147	1.0416	0.9912
645	1.0113	1.0382	0.9821	1.0147	1.0408	0.9902
646	1.0063	1.0544	0.9560	1.0131	1.0593	0.9721
671	1.0063	1.0544	0.9560	1.0131	1.0593	0.9721
680	1.0021	1.0560	0.9535	1.0097	1.0615	0.9705
692	0.9986	1.0576	0.9517	1.0068	1.0637	0.9695
675	1.0067	1.0544	0.9539	1.0135	1.0593	0.9707
652	1.0062	1.0544	0.9539	1.0129	1.0593	0.9707
611	1.0067	1.0544	0.9521	1.0135	1.0593	0.9697

7. CONCLUSÃO

Tendo em vista que o artigo proposto estudar a perfil de tensão da rede de 13 nós IEEE, por meio da alocação otimizada de BCs comparando a utilização de 3 diferentes tipos de funções objetivos através do uso de algoritmo genético e diante dos resultados obtidos para a alocação otimizada de banco de capacitores mostram que a função objetivo que visa minimizar as perdas do sistema de distribuição obtém melhores resultados. As funções objetivos foram analisadas com os capacitores fixos do sistemas de

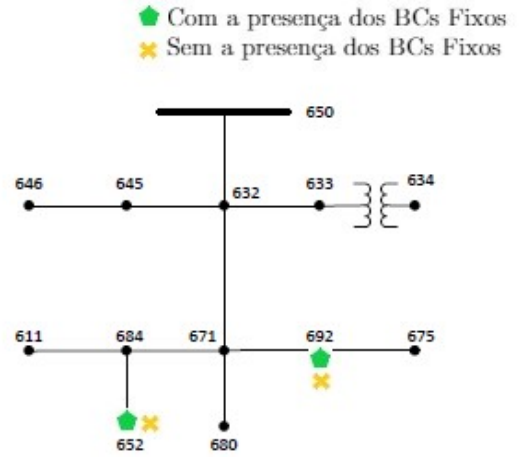


Figura 4. Ilustração da Alocação de BC para o caso 3

13 nós e com a retirada desses capacitores do sistema. O impacto no perfil de tensão sem a presença dos capacitores fixos da rede no caso que visava minimizar os custos de investimentos, mostrou-se a solução mais viável para a alocação de BC para a rede estudada. Não obstante, o caso de melhor resultado resultou em um potência bem menor do que os demais casos, o que confirma ainda mais o fato de ser a melhor opção entre os casos analisados.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) pelo apoio financeiro. Agradeço a Universidade Federal do Espírito Santo e um agradecimento especial ao Laboratório de Eletrônica de Potência e Acionamentos (LEPAC).

REFERÊNCIAS

- (2018). Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional (prodist) - módulo 8: Qualidade da energia elétrica. URL <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914>.
- B., A.S.B.M. and Z.A.ALAMIDY (2011). Reduction power losses on distribution feeders in electrical distribution systems. *Islamic university college*.
- Charlie, F. and Routh, M. (2015). Allocation of capacitor banks in distribution systems through a modified monkey search optimization technique. *International Journal of Electrical Power Energy Systems*, 73, 420–432.
- Kagan, N., Schmidt, H.P., and de Oliveira, C.C.B. (2009). *Métodos de Otimização Aplicados a Sistemas Elétricos de Potência*.
- KC, A.K. and Regmi, T.R. (2019). Optimal allocation of capacitor bank for loss minimization and voltage improvement using analytical method. *SCITECH Nepal*, 14(1).