

ANÁLISE DAS PERDAS ELÉTRICAS NAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO COM A ENTRADA DA GD

*Rodrigo Rodrigues da Cunha Paiva*¹

RESUMO: O presente artigo tem como finalidade apresentar uma ferramenta baseada no NSGA II e no método da Soma das Potências que resolva um problema multiobjetivo que seja capaz de avaliar qual o máximo valor de potência ativa que a GD consegue inserir na rede com o menor valor de perda por trecho sem violar as restrições de carregamento dos cabos e de limite de tensão.

PALAVRAS-CHAVE: NSGA II, Método da Soma das Potencias, Geração Distribuída e Sistemas de Distribuição.

ABSTRACT: This paper presents a tool based on NSGA II and the Powers Sum method that solves a multiobjective problem that is capable of evaluating the maximum value of active power that GD can enter the network with the lowest loss of value each way without violating the load restriction of cables and voltage limit.

KEYWORDS: NSGA II, Soma method of Powers, Distributed Generation and Distribution Systems.

¹ Mestre em Engenharia Elétrica Pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e professor do IFMT – Campus Cuiabá. *E-mail:* rodrigo.paiva@cba.ifmt.edu.br.

INTRODUÇÃO

O modelo de geração de energia elétrica na maioria dos países é centralizado, baseado em unidades geradoras de grande porte (tipicamente hidrelétricas, nucleares ou termoelétricas), instaladas onde se têm os melhores e mais vantajosos aproveitamentos das fontes primárias de energia (geralmente longe dos grandes centros consumidores) e conectada aos centros consumidores através de extensas linhas de transmissão.

No final do século XX este modelo foi marcado por uma reestruturação econômica, política e tecnológica. Muitos países adotaram a abordagem da modernização dos serviços e processos da geração, transmissão, distribuição e comercialização da energia elétrica. Um dos pontos de destaque desta mudança esta relacionada com a escassez dos grandes aproveitamentos hidroelétricos (principalmente nos países desenvolvidos) e o grande impacto ambiental causado pelas fontes termelétricas (carvão, óleo, etc) e nucleares (SILVA; FALCÃO; MIRANDA; ROSA, 2004).

A busca por soluções deste problema fez com que a Geração Distribuída (GD) se tornasse uma solução plausível (GOMES; SCHILLING; LIMA, 1999).

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E FONTES DE GERAÇÃO RENOVÁVEIS

É comum que a definição de Geração Distribuída esteja ligada com a definição das fontes de energia renováveis. Em muitos casos a Geração Distribuída é baseada em fontes de energia renováveis, porem é importante ressaltar que a Geração Distribuída também utiliza combustíveis convencionais (PASKA, 2007).

A Geração Distribuída não deve ser confundida com Fontes de Geração Renovável (PUTTGEN, MAC GREGOR; LAMBERT, 2003).

Pode-se, ainda, classificar as tecnologias de geração distribuída como:

- Renováveis

São as quais a utilização pela humanidade não representa qualquer variação significativa em seu potencial, que em muitos casos está avaliado para uma duração de vários milhões (ou bilhões) de anos (energia solar, gravitacional), e aquelas outras, cuja reconstituição pode ser feita

sem grandes dificuldades em prazos de apenas alguns anos e até menos, como no caso da biomassa I (SILVA, 2004).

- Não renováveis

São aquelas onde a reposição natural envolve milhares de anos e condições favoráveis (como é o caso do petróleo), enquanto que a reposição artificial quando não é impossível é absolutamente inviável, envolvendo um gasto de energia igual ou superior à quantidade de energia a ser obtida, ou custos proibitivos (como é o caso da energia nuclear) (SILVA, 2004).

A geração distribuída não tem uma única definição, pois cada país pode ter uma definição em função da sua capacidade de produção de energia elétrica (ACKERMANN; ANDERSON; SÖDERA, 2001).

O trabalho apresentado por COLLEGE, FERREIRA E MEDEIROS (2005) apresenta a definição de algumas instituições referentes a GD.

Para o CIGRE (Conseil International des Grands Réseaux Électriques), são unidades de geração com capacidade máxima de 50 a 100 MW, geralmente conectada à rede de distribuição e que não têm seu despacho centralizado.

Para o IEEE (Instituto de Engenharia Elétrica e Eletrônica) é uma unidade de geração com instalações suficientemente pequenas em relação às grandes centrais de geração permitindo sua conexão em um ponto próximo à rede elétrica existente, junto aos centros de carga.

Para o INEE (Instituto Nacional de Eficiência Energética) Geração Distribuída (GD) é uma expressão usada para designar a geração elétrica realizada junto ou próxima dos consumidores independente da potência, tecnologia e fonte de energia (INEE, 2009).

A GD é definida pela legislação do setor elétrico brasileiro através do decreto n. 5.163 de 30 de julho de 2004 pelo Art. 14 como sendo:

Art. 14. Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 8º da Lei nº 9.074, de 1995, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador.

VANTAGENS E DESVANTAGENS DA GD

A utilização da GD em sistemas elétricos traz inúmeros desafios tais como (BACKER; MELLO, 2000):

- A interface com o sistema;
- Os aspectos de controle e proteção;
- Os procedimentos operacionais e
- Os problemas de projeto e planejamento.

Para enumerar melhor as vantagens e desvantagens da utilização da GD foram destacados os seguintes itens:

Vantagens no uso da GD:

- ✓ Suporte de tensão (SIER; LEMOS; BAZANELLA; ROSA, 2001)
- ✓ Melhoria na qualidade do suprimento (SIER; LEMOS; BAZANELLA; ROSA, 2001)
- ✓ Redução nas perdas (SIER; LEMOS; BAZANELLA; ROSA, 2001)
- ✓ Melhoria no fator de potência (SIER; LEMOS; BAZANELLA; ROSA, 2001)
- ✓ Possibilidade de ilhamento (SIER; LEMOS; BAZANELLA; ROSA, 2001)
- ✓ Redução da necessidade de novas linhas de transmissão e de distribuição (DALY; MORRISON 2001)
- ✓ Operação nos horários de ponta (RIBEIRO; MEDEIROS; FERREIRA, 2005)
- ✓ Redução do carregamento da rede (GOMES; SCHILLING; LIMA, 1999)
- ✓ Melhora no perfil de tensão (GOMES; SCHILLING; LIMA, 1999)

Desvantagens no uso da GD

- ✓ Maior complexidade no nível de operação (DALY; MORRISON, 2001)
- ✓ Coordenação da proteção (SIER; LEMOS; BAZANELLA; ROSA, 2001)
- ✓ Subtensões (RIBEIRO, MEDEIROS; FERREIRA 2005)
- ✓ Flicker (SIER; LEMOS; BAZANELLA; ROSA, 2001)
- ✓ Aumento no nível de curto-circuito (SIER; LEMOS; BAZANELLA e ROSA, 2001)
- ✓ Flutuação de potência ativa (SIER; LEMOS; BAZANELLA; ROSA, 2001);
- ✓ Confiabilidade (GOMES; SCHILLING; LIMA, 1999).

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

OTIMIZAÇÃO

O problema de otimização consiste em minimizar ou maximizar uma função objetivo, sujeita, ou não, a restrições de igualdade, desigualdade. A função objetivo e as funções de restrições podem ser funções lineares ou não lineares (SARAMAGO, 2006).

As técnicas clássicas de otimização são conhecidas a mais de um século, servindo-se de ferramentas associadas às equações diferenciais.

Porém, estas técnicas podem apresentar algumas dificuldades numéricas e problemas de robustez relacionados com (SARAMAGO, 2006):

- Falta de continuidade das funções a serem otimizadas;
- Falta de continuidade das restrições;
- Funções não convexas;
- Multimodalidade;
- Existência de ruídos nas funções;
- Necessidade de se trabalhar com valores discretos para as variáveis,
- Existência de mínimos ou máximos locais, etc.

Assim, os estudos de métodos heurísticos, com busca randômica, reaparecem como uma forte tendência nos últimos anos, principalmente devido ao avanço dos recursos computacionais, pois um fator limitante destes métodos é a necessidade de um número elevado de avaliações da função objetivo (SARAMAGO, 2006).

QUANDO UTILIZAR UM ALGORITMO GENÉTICO

A literatura geralmente cita que os Algoritmos Genéticos (AG's) podem ser utilizados para praticamente todo tipo de problema, mas têm sido mais utilizados para solução de problemas de otimização onde tem mostrado confiáveis e eficientes. Para que os AG's tenham estes níveis de confiabilidade e eficiência deve-se levar em conta as seguintes características ao problema a ser resolvido (BRUN, 2005):

- O espaço de busca (possíveis soluções) do problema em questão deve estar delimitado dentro de uma certa faixa de valores.
- Deve ser possível definir uma função de aptidão (fitness) que indique quão boa ou ruim é uma determinada resposta. Função esta que servirá de métrica para a solução do problema.

PROBLEMA

Quando se faz a instalação de um gerador em um sistema, seja de distribuição, subtransmissão ou transmissão, este gerador irá mudar algumas das características da rede, mas estas mudanças não podem ir contra os requisitos de qualidade da rede que são: tensão estável, ausência de perturbações e a maior disponibilidade possível para o consumidor.

Estas mudanças de características na rede em alguns casos podem provocar conflitos entre os proprietários das unidades de GD e os responsáveis pela concessionária.

A base deste conflito está no fato de que a concessionária é cobrada pela ANEEL para manter os índices de qualidade e continuidade da rede, e tendo que conviver ao mesmo tempo com a presença da GD que em alguns casos, pode provocar uma grande queda nestes índices.

Alguns dos pontos deste conflito são:

- Por parte da concessionária
 - ✓ Manter os níveis de tensão dentro dos aceitáveis pela ANEEL.(resolução 456)
 - ✓ Manter os níveis de continuidade dentro dos aceitáveis pela ANEEL (resolução 024 e 075).
 - ✓ Não ter que realizar investimentos na rede provocados pela entrada da GD, seja estes investimentos em:
 - ✓ Proteção;
 - ✓ Troca de cabos;
 - ✓ Troca de equipamentos pela presença de fluxos reversos na rede.
- Por parte da GD
 - ✓ Injetar o máximo de potência ativa;

- ✓ Injetar o mínimo de potência reativa;
- ✓ Menor investimento.

Para auxiliar na redução de parte deste conflito elaborou-se um software em MATLAB, baseado no método da soma das potências, para resolução de um problema Multi-Objetivo que seja capaz de:

- Maximizar a geração de potência ativa das fontes de geração distribuída;
- Minimizar as perdas dos trechos do alimentador;
- Levando em conta as seguintes restrições de desigualdade:
- Limite máximo de tensão em cada nó do sistema de acordo com as normas da ANEEL para redes de distribuição;
- Limite máximo de potência ativa das unidades de geração distribuída presentes na rede de distribuição;
- Limite de corrente nos cabos dos trechos.

FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A formulação para o problema proposto está apresentada na equação 1:

$$\begin{aligned}
 \text{Max} \quad & \left(\sum_{i=0}^n Pg_i \right) e \left(- \sum_{i=0}^k Pl_i \right) \\
 \text{S.A:} \quad & V_i^4 + A_i(V_{i-1})^2 + B_i = 0 \\
 & Pg_i \leq Pg_i^{\text{Max}} \\
 & V_i \leq V_i^{\text{Max}} \\
 & I_i \leq I_i^{\text{Max}} \\
 & \forall i = 1, \dots, n
 \end{aligned}$$

em que:

Pg_i : Potência ativa gerada pelo gerador conectado ao nó i ;

Pg_i^{MAX} : Limite superior da potência ativa gerada pelo gerador conectado ao nó i ;

V_i : Módulo da tensão no nó i ;

V_i^{MAX} : Módulo do limite superior da tensão no nó i ;

V_{i-1} : Módulo da tensão no nó antecessor;

R_i : Resistência do trecho a montante do nó i ;

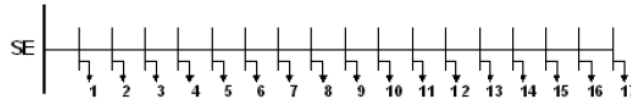
X_i : Reatância indutiva do trecho a montante do nó i ;

P_{ac_i} : Potência ativa acumulada no nó i ;
 Q_{ac_i} : Potência reativa acumulada no nó i ;
 P_i : Potência ativa da carga junto ao nó i ;
 Q_i : Potência reativa da carga junto ao nó i ;
 LP_{k+1} : Perda de potência ativa no trecho posterior;
 I_k : Corrente na linha k ;
 I_k^{MAX} : Limite superior da corrente na linha k

DESCRIÇÃO DOS ALIMENTADORES ANALISADOS

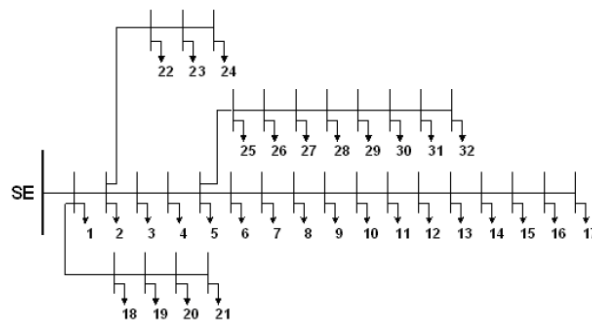
O primeiro descrito é um alimentador de 17 nós sem ramais laterais (Figura 1) que é a parte central do alimentador de 32 barras com ramais laterais (Figura 2), apresentado por Baran (BARAN e WU, 1989).

Figura 1 - Alimentador teste de 17 nós sem ramais laterais



Fonte (BARAN e WU, 1989)

Figura 2 - Alimentador de 32 nós

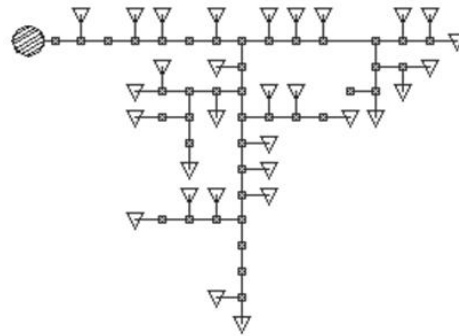


Fonte: (BARAN e WU, 1989)

Este alimentador tem uma carga instalada de 1505 kW e 740 kVAr, com tensão base de 12,66kV.

O segundo alimentador trata-se de um real de uma rede de distribuição de Portugal com 70 nós e com ramais laterais (Figura 3).

Figura 3 - Alimentador real de Portugal com 70 nós e ramais laterais



Fonte: Desenvolvida pelo autor

Este alimentador tem uma carga instalada de 1006,1 kW e 402,47 kVAr, com tensão base de 15 kV.

Tabela 1 - Dados dos alimentadores

Alimentador	Pot. Ativa (kW)	Pot. Reativa (kVAr)	Tensão base (kV)
17 nós	1505,00	740,00	12,66
70 nós	1006,10	402,47	15,00

Fonte: Desenvolvida pelo autor

PONTO DE CONEXÃO

A escolha do ponto de conexão da Geração Distribuída é baseada no nó mais próximo do aproveitamento primário de energia. Se próximo ao nó 8 de uma determinada rede de distribuição se encontra uma pequena queda d'água, então o ponto mais provável de conexão de uma futura Pequena Central Hidroelétrica (PCH) é o próprio nó 8. Assim os pontos de conexão foram todos escolhidos de forma aleatória, supondo que próximo ao ponto escolhido exista uma fonte primária.

RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados que foram obtidos a partir do programa implementados em MatLab e baseado no NSGA-II² e no método da Soma das Potências.

As simulações são realizadas em dois alimentadores para uma população de 100 indivíduos durante 100 gerações³. O limite máximo do gerador foi definido como sendo de 6MW.

RESULTADOS DO ALIMENTADOR TESTE DE 17 NÓS

As perdas iniciais do alimentador sem a presença da Geração Distribuída são de 49,00 kW, estas perdas podem ser vistas nos resultados como uma linha horizontal de referência.

Todos os valores que estão abaixo desta referência, indicam uma redução na perda, conseguida com a injeção de potência ativa da fonte de Geração Distribuída. Os acima desta referência significam que houve aumento na perda total do sistema em relação à rede sem a Geração Distribuída.

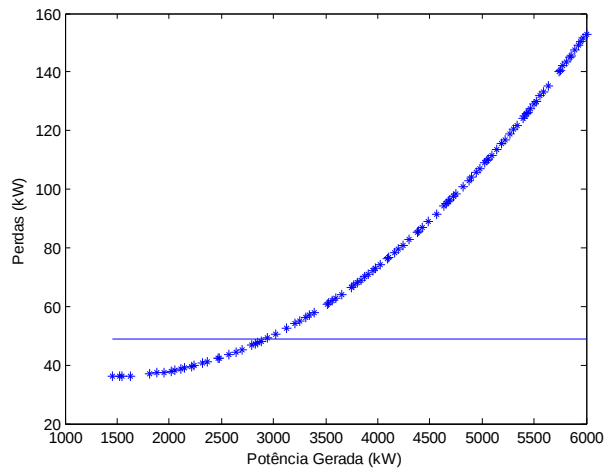
Para este alimentador, foram realizadas duas análises, uma com o gerador conectado ao nó 3 e outra com o gerador conectado ao nó 9.

Na Figura 4 temos os valores das potências geradas pela unidade no nó 3 bem como as perdas associadas a cada valor de potência gerada.

² Nondominated Sorting Genetic Algorithm-II.

³ A escolha dos valores dos indivíduos e das gerações foi feita de forma experimental onde foram testados diversos valores, os valores inferiores a 100 mostraram uma grande esparsidade nos resultados e os valores superiores a 100 tiveram um grande custo computacional para os mesmo resultados. Assim a melhor escolha foi uma população de 100 indivíduos durante 100 gerações.

Figura 4 - Perdas em relação à Potência Gerada



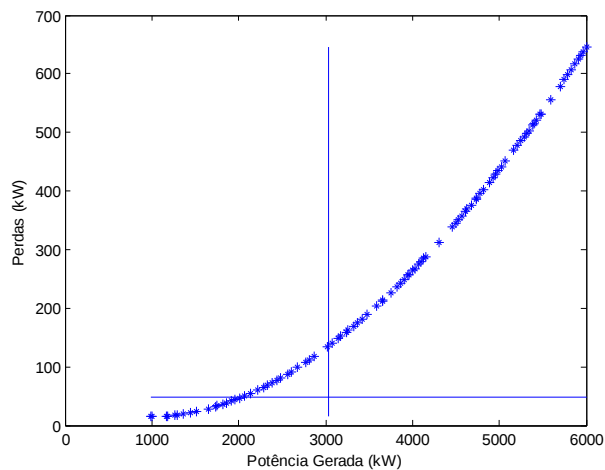
Fonte: Desenvolvida pelo autor

Os valores abaixo da linha de referência são valores onde a potência gerada contribui para a diminuição das perdas ativas totais, já os que estão acima desta linha contribuem para o aumento das perdas, mas podem ser injetados na rede, sem problema com o limite de tensão.

O tempo gasto para atingir as 100 gerações nesta análise foi de 5 minutos e 34 segundos.

A outra análise, que foi feita neste mesmo alimentador, é com o gerador conectado ao nó 9, no lugar do nó 3. Os resultados estão na Figura 5.

Figura 5 - Perdas em relação à Potência Gerada



Fonte: Desenvolvida pelo autor

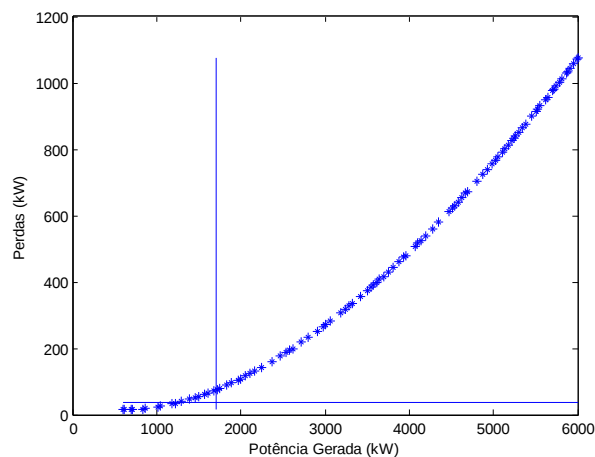
Como no caso anterior tem-se a mesma análise quanto a linha de referência horizontal, nesta figura também temos como auxílio uma linha vertical. Todos os valores que estão à direita desta linha de referência são considerados inapropriados para o alimentador, pois fazem com que a tensão fique acima do máximo permitido pela ANEEL (1,05pu).

O tempo gasto para atingir as 100 gerações nesta análise foi de 6 minutos e 58 segundos.

RESULTADOS DO ALIMENTADOR REAL DE 70 NÓS

As perdas iniciais sem a presença da Geração Distribuída é de 35,37 kW. Os valores das perdas em relação à potência gerado no nó 38 estão na Figura 6. O tempo gasto para atingir as 100 gerações foi de 44 minutos e 43 segundos.

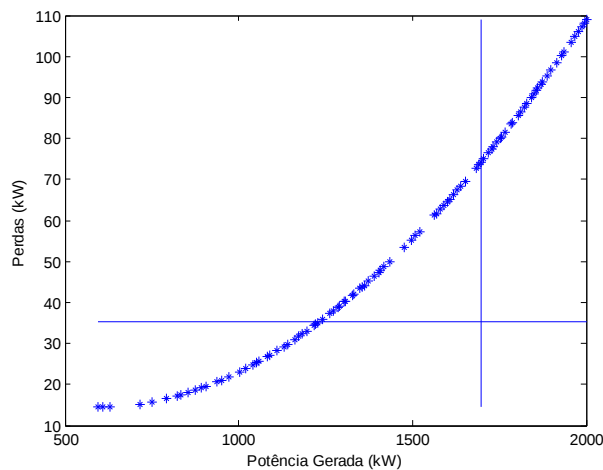
Figura 6 - Perdas em relação à Potência Gerada



Fonte: Desenvolvida pelo autor

Para melhor visualização da área de interesse de operação do alimentador, foi reduzido o limite máximo do gerador de 6 MW para 2 MW. Assim temos a Figura 7, onde todos os valores a direita da linha vertical são valores de injeção de potência ativa, que fazem com que a tensão fique acima de 1,05pu e os que estão abaixo da linha horizontal são valores os quais a injeção de potência ativa diminui as perdas em relação ao sistema sem a GD.

Figura 7 - Perdas em relação à Potência Gerada



Fonte: Desenvolvida pelo autor

O tempo gasto para atingir as 100 gerações nesta análise foi de 33 minutos e 16 segundos.

CONCLUSÃO

A ferramenta que foi implementada e de grande valia para auxiliar o decisor na sua tomada de decisão. Com os dados apresentados pode-se ter noção do impacto provocado pela GD no alimentador, assim estes dados servem de auxílio para a tomada de decisão da entrada ou não e da GD, bem como a quantidade de potência que a mesma irá operar.

FDGSD.

REFERÊNCIAS

ACKERMANN, T.; ANDERSSON, G.; SÖDER, L. Distributed Generation: a definition. Electric Power Systems Research. 2001.

ANEEL, Resolução n. 456, de 29 de novembro de 2000 publicada em 30 de novembro de 2000, Estabelece, de forma atualizada e consolidada, as condições gerais de fornecimento de energia elétrica. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, vol. 138, p. 35, 2000.

_____. Resolução n. 075, de 13 de Fevereiro de 2003. Altera dispositivos da Resolução n. 24, de 27 de janeiro de 2000, com prazo para republicação integral. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2003.

BAKER, P. P.; MELLO, R. W. Determining the impact of distributed generation on power systems. I. Radial distribution systems. In: Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE, 2000, pp. 1645-1656, vol. 3.

BRASIL, Decreto n. 5.163 de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, vol. 141, p. 31, 2004.

BRUN, A. L. Algoritmos Genéticos. 2005.

DALY, P. A.; MORRISON, J. Understanding the potential benefits of distributed generation on power delivery systems. Rural Electric Power Conference, 2001.

GOMES, P.; SCHILLING, M.; LIMA, J. Geração Distribuída: Vantagens, Problemas e Perspectivas. In: XV SNPTTE SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 1999.

INEE. Instituto Nacional de Eficiência Energética - INEE 2009. Disponível: http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp

PASKA, J. Distributed generation and renewable energy sources in Poland. In: Electrical Power Quality and Utilisation, 2007. EPQU 2007. 9th International Conference on, 2007, pp. 1-6.

PUTTGEN, H. B.; MACGREGOR, P.; LAMBERT, F. Distributed generation: Semantic hype or the dawn of a new era. Power and Energy Magazine, IEEE, vol. 1, pp. 22-29, 2003.

RIBEIRO, P.; MEDEIROS, F.; FERREIRA, F. Geração distribuída e impacto na qualidade de energia. In: VI SBQEE SEMINÁRIO Brasileiro sobre qualidade da energia elétrica, Belém-Pará-Brasil, 2005.

SARAMAGO, S. F. P. Algoritmos Genéticos: a otimização aplicando a teoria da evolução. Matemática e Atualidade, vol. 1, 2006.

SILVA, Armando M.; FALCÃO, Djalma M.; MIRANDA, Vladimiro e ROSA, Mauro. Impacto de Novas Tecnologias em Sistemas Elétricos de Potência. In: IX SEPOPE Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica, Rio de Janeiro-RJ-Brasil, 2004.

SILVA, E. P. Fontes renováveis de energia para o desenvolvimento sustentável. Com Ciência Revista Eletrônica de Jornalismo Científico, vol. Energia: ensino e alternativas, Dezembro 2004.

SPIER, E. B.; LEMOS, F. A.; BAZANELLA, A. S.; ROSA, M. A. Avaliação da conexão de produtores independentes em alimentadores radiais de sistemas de distribuição. In: IV SBQEE Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, 2001.