



**XXIII SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GPC/09  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO -V**

**GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA - GPC**

**RESTAURAÇÃO DE REDES DE ENERGIA UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS MULTIOBJETIVOS**

**Gisele Pinheiro da Silva (\*)**  
**CEMIG D**

**Eduardo Gontijo Carrano**  
**UFMG**

**RESUMO**

Neste artigo é proposta uma nova estratégia para restauração de sistemas de distribuição de energia. Devido à natureza de suas funções objetivo e restrições, a restauração será modelada como um problema de otimização não-linear multiobjetivo. Nesta proposta, um algoritmo genético multiobjetivo, SPEA2, foi implementado cujos objetivos são realizar varreduras e gerar soluções eficientes e não repetidas. Para comprovar sua eficiência, o algoritmo foi testado num sistema de 16 barras e depois aplicado a um sistema real da Cemig Distribuição de 703 barras. Como resultado obtém-se indivíduos decodificados em soluções sequenciais, que sempre recuperam a maior quantidade de carga do sistema.

**PALAVRAS-CHAVE**

Restauração de Energia, Algoritmos Genéticos multiobjetivo, Sistema elétrico de potência, SPEA2.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Os sistemas elétricos de potência frequentemente são submetidos a condições anormais de operação em função de eventos tais como curtos-circuitos, subtensões, sobretensões, descargas elétricas, dentre outros. Nestas situações torna-se necessário identificar a condição anormal e isolar o trecho afetado, de forma a permitir a continuidade do fornecimento de energia elétrica nas áreas sãs do sistema. Esta função é executada pelo sistema de proteção, que consiste de um conjunto de relés. Estes recebem informações dos transformadores de corrente e de tensão e, caso detectem alguma anormalidade, enviam comandos de abertura para um ou mais disjuntores de forma a isolar o defeito. Outra possível função do sistema de proteção é informar às equipes de operação qual o tipo e a estimativa da localização do defeito ou regime anormal de operação, com o objetivo de permitir sua rápida mitigação.

Além disso, devido à necessidade das concessionárias de atingirem as metas dos indicadores de continuidade coletivos (DEC, FEC) e individuais (DIC, FIC e DMIC) estabelecidas pela ANEEL, tornou-se crucial a automatização dos sistemas elétricos. Diversos métodos e propostas têm surgido para tentar resolver o problema do reestabelecimento de energia em tempo real através de procedimentos de reconfiguração.

Os algoritmos evolutivos (AEs) são técnicas alternativas que têm se demonstrado capazes de lidar com problemas desse tipo mesmo em redes de grande dimensão, como pode ser visto em (Barbosa, 2012).

A restauração da rede tem o principal objetivo de viabilizar uma configuração factível, após a ocorrência de contingências no sistema elétrico. Essa nova configuração deve ser capaz de atender de forma aceitável o maior número de consumidores e/ou as cargas mais importantes, reestabelecendo o funcionamento do sistema da melhor forma possível. Assim, a restauração pode ser entendida como um caso particular e emergencial da reconfiguração, que é necessária imediatamente após a ocorrência de uma ou mais faltas. Os requisitos e restrições do sistema devem ser atendidos de forma que a nova configuração possa ser implementada com segurança.

(\*) Gisele Pinheiro da Silva

O artigo discute o problema de otimização não-linear de restauração de um sistema teste de 16 barras e sistema de grande porte da Cemig Distribuição de 703 barras, nos quais foram simuladas falhas. Um algoritmo genético multiobjetivo SPEA2 (do inglês, Strength Pareto Evolutionary Algorithm) foi implementado com o objetivo de realizar varreduras e gerar soluções eficientes e não repetidas.

Este trabalho é dividido nas seguintes seções: na seção 2 são discutidos alguns trabalhos relacionados ao uso de técnicas de otimização na reconfiguração de redes; na seção 3 é apresentada a modelagem do problema em questão; o algoritmo implementado é discutido na seção 4 e; na seção 5 são apresentados os resultados obtidos; finalmente, as conclusões são apresentadas na seção 6.

## 2.0 - REVISÃO DA LITERATURA

Diversos métodos e propostas têm surgido para tentar resolver o problema do reestabelecimento de energia por meio de técnicas de otimização. O trabalho desenvolvido por El-werfelli (2009) descreve um novo algoritmo de restauração de sistemas de potência utilizando a associação de Algoritmos Genéticos (AG) e Sistemas Especialistas (SE). O AG é utilizado para obter o esqueleto otimizado da rede, enquanto o SE age como um operador de sistemas capaz de restringir eficientemente o espaço de soluções para o AG. A estratégia é testada para o caso do IEEE de 39 barras. As funções objetivos utilizadas são: Minimização do tempo de restauração e minimização dos limites de segurança, integrando o sistema de energia, tais como os limites de estabilidade e perfil de tensão. Os resultados comprovam que a aplicação do SE pode ser significativamente melhorada através da combinação proposta.

Em (Mendoza et al., 2006), os autores apresentam aplicações do NSGA (Srinivas and Deb, 1994) e SPEA (Zitzler and Thiele, 1999) (do inglês, Strength Pareto Evolutionary Algorithm) para o planejamento tendo em conta futuras restaurações do SD. Os autores utilizam duas funções objetivo: a redução do custo total envolvido e a minimização da área sem energia. O custo total é constituído do custo fixo, referente à construção das subestações e alimentadores e do custo variável, que relaciona as perdas do sistema existente com o sistema planejado. Um algoritmo de clustering baseado em conjuntos fuzzy (Bezdek, 1981,1999) foi utilizado para agrupar as soluções da população externa e facilitar o descarte de soluções quando o número de soluções não dominadas excede o tamanho do conjunto externo. Um sistema de distribuição radial com 41 barras e 2 subestações de 20MVA foi utilizado nos testes. Ambas as técnicas apresentaram resultados computacionais similares em relação ao tempo de processamento e às fronteiras de Pareto encontradas.

Em (Ramasmamy et. al., 2012) os autores utilizam um Algoritmo Genético (AG) básico e o NSGA-II para reconfiguração de um SD. Neste caso, os objetivos são: minimizar a perda de potência e minimizar os desvios de tensão. Os autores mostram que a utilização do NSGA-II é mais eficiente que utilizar somente o AG básico quando múltiplos objetivos são considerados. O método proposto foi testado em um sistema de 16 barras. Os resultados mostram que o AG simples é capaz de encontrar eficientemente o ótimo global para redes simples. Entretanto, o mesmo falha em problemas multiobjetivos ao tentar encontrar a fronteira Pareto ótima. Esta desvantagem pode ser superada com a utilização do NSGA-II o qual lida com soluções Pareto ótima.

## 3.0 - MODELAGEM DO PROBLEMA

O problema de restauração do sistema de distribuição de energia elétrica proposto foi modelado como um problema de otimização multiobjetivo, cujas funções objetivo são minimizar o número de manobras e a porcentagem de cargas não restauradas (1).

$$\min\{f_1, f_2\} \quad (1)$$

onde:

$$f_1 = \text{número de manobras};$$

$$f_2 = \sum \frac{Nu}{Nl} \times 100\%,$$

onde:

$$Nu = \text{número de cargas não religadas},$$

$$Nl = \text{número total de cargas que foram desligadas devido a contingência}.$$

A porcentagem de cargas não restauradas se refere somente aos blocos onde não ocorreram falhas. Dessa forma, é possível alcançar 100% de cargas restauradas em alguns casos. No entanto, essa taxa nem sempre é possível, pois podem não haver rotas entre a parte ativa do sistema e uma carga potencialmente restaurável.

Todas as soluções devem atender três restrições:

- topologia radial da parte ativa da rede;
- limite máximo de corrente nos condutores;
- limite mínimo de tensão nas barras de carga.

Existem dois limites para os valores de corrente e de tensão nas barras: o limite desejável, no qual a corrente deve ser menor ou igual a 1,00 p.u. e a tensão deve ser maior ou igual a 0,95 p.u.; e o limite aceitável, no qual a corrente

máxima pode chegar até 1,10 p.u. e a tensão não pode ser menor que 0,90 p.u.. Soluções que se encontrem abaixo do limite aceitável são consideradas infatíveis e desconsideradas. Já soluções entre os limites aceitável e desejável tem seus valores de função penalizadas, mas são aceitáveis. A escolha dessa estratégia se baseia no princípio que muitas vezes é melhor atender o cliente com menor qualidade de energia que deixar de atender e não se espera manter o sistema trabalhando por muito tempo em uma configuração emergencial. Vale ressaltar que estes parâmetros são configuráveis e é possível desabilitar a aceitação de soluções abaixo do limite desejável se esse for o desejo do operador.

#### 4.0 - ALGORITMO

Na situação esperada, onde a proteção está devidamente coordenada, a ocorrência de uma contingência implica na abertura da chave de proteção mais próxima da falta no caminho entre esta e o alimentador. Isso faz com que outras cargas que antes eram ligadas após o trecho da falha, no mesmo alimentador, também sejam desconectadas, uma vez que a parte ativa do sistema é geralmente radial.

Nessa situação, chaves de manobras devem ser acionadas de forma a reconectar o maior número de consumidores possíveis respeitando as restrições de tensão, corrente e topologia do sistema.

Para solucionar o problema de restauração foi proposto um algoritmo genético multiobjetivo, baseado no Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2 (SPEA2) [Zitzler, Laumanns, Thiele, 2001]. ver Figura 1.



FIGURA 1 – Fluxograma do algoritmo implementado

O SPEA2 se baseia nas ideias básicas de um AG clássico, porém sua estrutura apresenta algumas diferenças. Esse algoritmo utiliza duas populações: uma população regular e um arquivo externo, que contém as soluções não dominadas encontradas pelo algoritmo. Assim, a cada geração, as soluções não dominadas são armazenadas nessa população externa, respeitado um tamanho máximo.

Com o objetivo de facilitar a implementação do algoritmo e torná-lo mais eficaz, as barras entre chaves do sistema foram agrupadas em blocos.

As soluções do algoritmo são codificadas como permutações de NC elementos, onde NC é o número de chaves disponíveis para manobra. Essas soluções são decodificadas utilizando o algoritmo de decodificação proposto em Carrano et al. (2014).

O indivíduo é então decodificado em várias soluções, com manobras sequenciais, seguindo a permutação de chaves. A Figura 2 apresenta um pseudocódigo da decodificação.

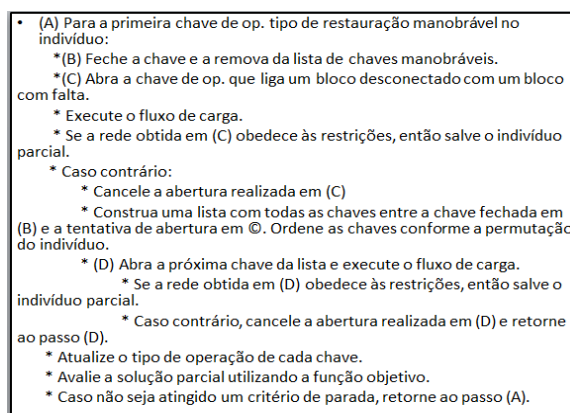


FIGURA 2 – Pseudocódigo da decodificação

No fluxo do algoritmo, inicialmente é criada uma população de  $N$  indivíduos aleatórios. O arquivo externo é inicialmente vazio e deverá conter também  $N$  indivíduos durante a evolução. Cada indivíduo da população é avaliado utilizando o processo de decodificação e sua fitness final é calculada pelo soma ponderada do valor da raw fitness e do seu indicador de diversidade.

A seleção dos indivíduos é feita por meio de torneio binário (Chakraborty, 1997). Se uma solução é não dominada em relação à população atual e a outra é dominada, a primeira é escolhida. Caso ambas as soluções sejam dominadas ou não dominadas, é escolhida aquela que possuir melhor valor de fitness. Esse procedimento é repetido até que uma nova população de  $N$  indivíduos seja criada.

Os indivíduos são divididos em pares e, para cada par, é verificado se ocorrerá ou não cruzamento com base em uma dada probabilidade  $p_{cr}$ . O operador de cruzamento utilizado é baseado no cycle crossover (Yoshikawa, 2008) e segue o mesmo procedimento proposto em Carrano et. al. (2014).

Após os ciclos de cruzamento, cada indivíduo da população de filhos pode sofrer mutação, cuja probabilidade de ocorrência  $p_{mut}$  também é dada a priori. Caso ocorra, a mutação pode ser do tipo swap ou reverse (Suliman, 2013), seguindo os mesmos procedimento e particionamento das chaves propostos em Carrano et. al. (2014).

O arquivo externo é, então, atualizado juntando-o à população. O arquivo criado é composto das soluções não-dominadas e das soluções dominadas com melhor fitness. Caso o número de soluções não-dominadas seja maior que o arquivo, as  $N$  soluções não-dominadas com melhor fitness são copiadas para o arquivo.

Foram considerados dois critérios de parada, sendo que o primeiro a ocorrer implica no fim do algoritmo: número máximo de avaliações de função e tempo limite de execução.

O algoritmo gera como resposta um arquivo contendo uma aproximação do conjunto Pareto, que contém várias soluções, no qual cada solução contém um conjunto de manobras e um percurso a ser seguido.

## 5.0 - RESULTADOS

Foi utilizado um sistema teste com 16 barras e um sistema de grande porte da CEMIG Distribuição composto de 703 barras agrupadas em 121 blocos, 132 linhas, 5 alimentadores, 116 chaves NF e 16 chaves NA, nos quais foram simulados conjuntos de falhas aleatórios. Estas faltas são geradas através de uma permutação randômica da topologia inicial como proposto em Carrano et. al. (2014).

A Figura 3 apresenta um esquema ilustrativo do sistema de 16 blocos, onde 1, 2 e 3 são alimentadores.

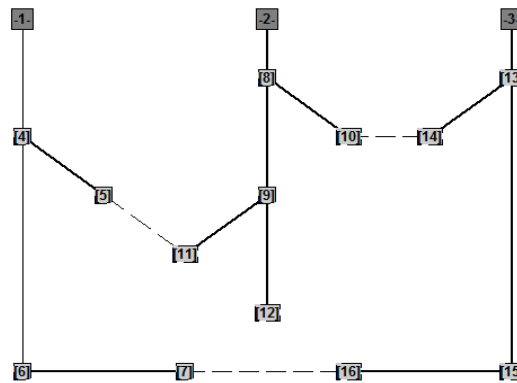


FIGURA 3 – Esquema ilustrativo para o sistema de 16 blocos.

Foram simuladas duas falhas no sistema, sendo uma na barra 2 e outra na 15. Após a ocorrência das falhas, o sistema de proteção atua abrindo a chave 13-15 e isolando o alimentador 2. A Figura 4 apresenta a fronteira Pareto encontrada pelo algoritmo. Essa fronteira contém um indivíduo que decodifica em duas soluções, uma com duas e outra com quatro manobras.

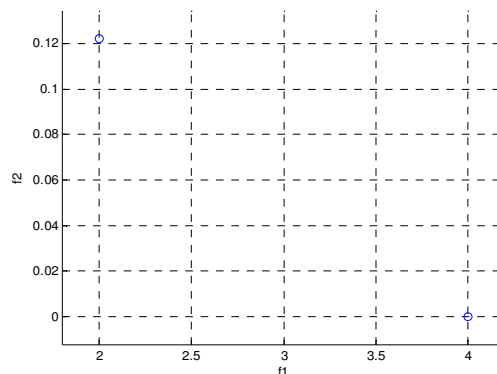


FIGURA 4 – Aproximação da fronteira Pareto para o sistema de 16 blocos.

A Figura 5 mostra o indivíduo que contém as duas soluções da fronteira Pareto. Esse indivíduo contém duas soluções sequenciais, ou dois estágios. No primeiro estágio, onde são realizadas duas manobras, a chave 2-8 abre e a chave 5-11 fecha, restando 88% das cargas desconectadas. No segundo estágio, onde são realizadas mais duas manobras (totalizando quatro com as duas realizadas no primeiro estágio), a chave 13-15 abre e a chave 7-16 fecha, consegue-se reduzir o impacto das falhas para 0%.

Como mencionado anteriormente essa fronteira Pareto possui um indivíduo e duas soluções. Essas soluções são sequenciais, ou seja, o segundo estágio só ocorrerá depois que o primeiro for executado.

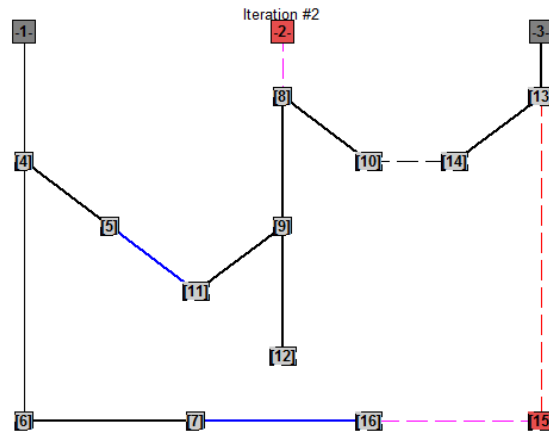


FIGURA 5 – Exemplo de solução para o SD de 16 blocos. A linha pontilhada vermelha indica a chave que foi aberta pela atuação da proteção. As linhas pontilhadas magentas indicam as chaves abertas durante as manobras. E as linhas contínuas azuis, indicam as chaves fechadas durante as manobras.

A Figura 6 apresenta um esquema ilustrativo do sistema de 703 barras agrupadas em 121 blocos. Os cinco alimentadores são os blocos 1, 14, 56, 90 e 101.

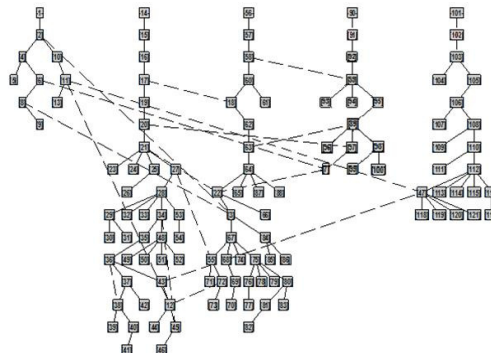


FIGURA 6 – Esquema ilustrativo para o sistema de grande porte da Cemig D.

Num primeiro cenário (C1), foram simuladas duas falhas: blocos 91 e 102. Neste caso, o sistema de proteção atuou abrindo chaves 101-102 e 90-91 isolando os alimentadores 101 e 90, respectivamente. A Figura 7 apresenta o conjunto de soluções encontrado pelo algoritmo.

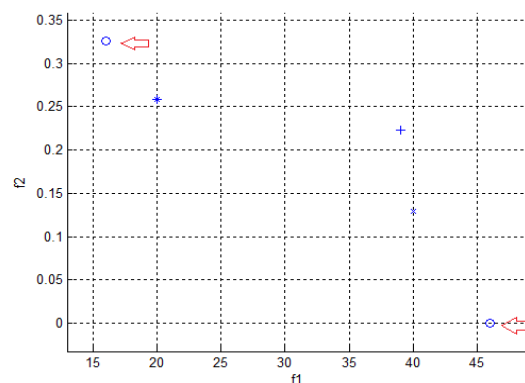


FIGURA 7 – Aproximação da fronteira Pareto para o sistema de grande porte da Cemig D – C1. As setas vermelhas indicam as soluções do indivíduo escolhido para a ilustração do exemplo.

A fronteira da Figura 7 contém dois indivíduos que decodificam em duas soluções, e dois indivíduos que decodificam em três soluções. Para ilustração das manobras escolheu-se o indivíduo que se decodifica em duas soluções sendo que a primeira delas recupera aproximadamente 68% das cargas reconectáveis em 16 minutos e a segunda recupera totalmente o sistema em 46 minutos.

A Figura 8 ilustra a configuração do sistema após a realização das manobras para o primeiro cenário.

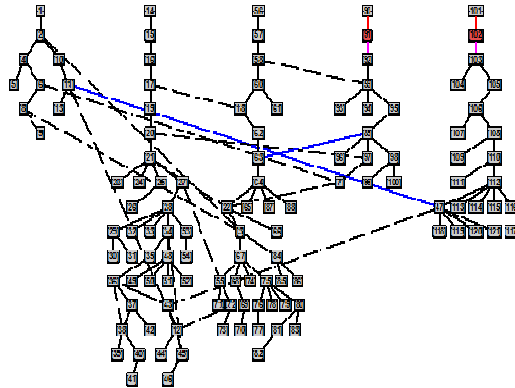


FIGURA 8 – Exemplo de solução para o sistema de grande porte da Cemig D – C1.

Em um segundo cenário (C2), foram simuladas sete falhas para o mesmo sistema, nos blocos 27, 32, 37, 91, 102, 117 e 121.

É importante ressaltar que, neste exemplo, foi considerado que a localização das falhas não é conhecida a priori (simulando uma notificação por telefone, por exemplo). Com isso, é necessário considerar que todos os blocos dentro do trecho de proteção da falha estão também com falha, fazendo com que essa se expanda.

Após a ocorrência das falhas, o sistema de proteção atua abrindo as chaves 14-15 isolando o alimentador 14, 90-91 isolando o alimentador 90 e a chave 101-102 isolando o alimentador 101.

A Tabela 1 apresenta as chaves que foram abertas e fechadas em cada estágio.

Tabela 1. Chaves abertas e fechadas por estágio.

Estágio	Chave(s) Aberta(s)	Chave(s) Fechada(s)
1	102-103	11-47
2	59-95	6-7
3	36-43	12-72
4	27-28	34-45
5	59-92, 59-93 e 59-94	59-58

A abertura de mais de uma chave no último estágio ocorre devido à violação de alguma das restrições.

A aproximação da fronteira Pareto obtida é apresentada na Figura 9.

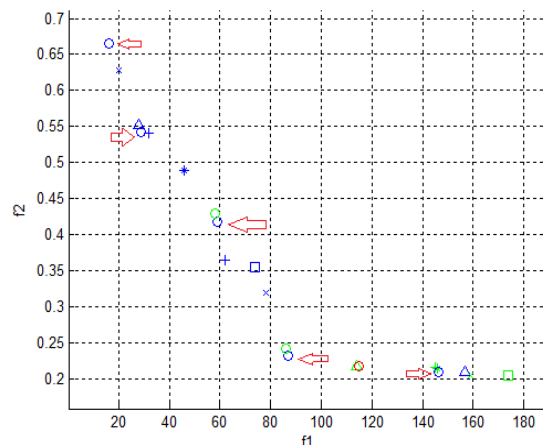


FIGURA 9 – Aproximação da fronteira Pareto para o sistema de grande porte da Cemig D – C2.

Para ilustração das manobras escolheu-se o indivíduo que se decodifica em cinco soluções. Na Tabela 2 estão indicadas a porcentagem de carga restaurada e o tempo gasto para cada uma das soluções.

Tabela 2. Porcentagem de carga restaurada e tempo gasto para cada solução.

Estágio	Carga (%)	Restaurada	Tempo (minutos)
1	34		16
2	46		29
3	59		59
4	77		87
5	79		144

Neste exemplo não é possível recuperar todas as cargas. Isso ocorre devido à ausência de rota para esses blocos. A configuração final para este sistema é apresentada na Figura 10.

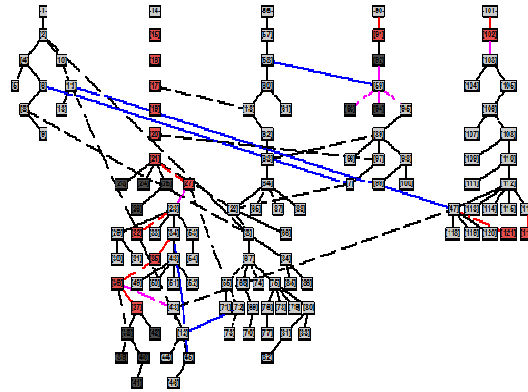


FIGURA 10 – Exemplo de solução para o SD de 40 barras – C2. A linha pontilhada vermelha indica a chave que foi aberta pela atuação da proteção. As linhas pontilhadas magentas indicam as chaves abertas durante as manobras. E as linhas contínuas azuis, indicam as chaves fechadas durante as manobras.

Interessante ressaltar que para esse exemplo o decisor pode optar por não realizar a última manobra, tendo em vista que o tempo estimado para sua execução quase dobra quando comparada à quarta solução aumentando apenas 2% da carga final restaurada. Nesse caso a concessionária pode preferir focar na solução do problema que ocasionou o problema.

Todas as simulações foram realizadas em um PC com processador Intel(R) Core(TM) i3-2330M CPU @ 2.20GHz, memória 4,00 GB, utilizando Windows 7 Home Premium Service Pack 1 e Matlab 2010a. Em todos os casos foi possível obter uma solução final, passível de implementação, em menos de 20 segundos. Vale ressaltar que este tempo ainda poderia ser drasticamente reduzido caso as ferramentas fossem implementadas em uma linguagem compilada (C ou C++ por exemplo) e as avaliações de função fossem realizadas em um ambiente de programação paralela síncrona, uma vez que essas respondem a mais de 99% do tempo de processamento do algoritmo.

## 6.0 - CONCLUSÕES

A cada dia o problema de reconfiguração de rede vem se tornando mais crucial para as concessionárias de energia elétrica. Isto ocorre devido à pressão sofrida por elas para atingirem as metas dos indicadores de continuidade estabelecidas pela ANEEL.

Foi discutido o problema de otimização não-linear de restauração de um sistema teste de 16 e um sistema real de grande porte da Cemig Distribuição de 703 barras, nos quais foram simuladas falhas. Um algoritmo genético multiobjetivo SPEA2 foi implementado com o objetivo de realizar varreduras e gerar soluções eficientes e não repetidas.

Em ambos os sistemas testes, o algoritmo gerou soluções satisfatórias em tempo médio de execução baixo, cerca de 20 segundos. Os resultados obtidos comprovaram, dessa forma, a eficiência da estratégia aqui apresentada.

Em trabalhos futuros a estratégia pode ser utilizada também, com outras funções objetivo, como por exemplo, minimização das perdas do sistema e minimização do tempo de execução do algoritmo.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Barbosa, C. H. N. R.; Ribeiro, R. S.; Vasconcelos, J. E. O.; Silva, M. G.; Silveira, T. A. G.; Cunha, T. B.; Pereira, E. C.; Vasconcelos, J. A.. "Reconfiguração Autônoma de Sistemas Primários de Distribuição de Energia Elétrica". In: Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2012, Goiânia. IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos. Goiânia: UFG, 2012. v. 4. p. 1-6.
- (2) Bezdek J. C., "Pattern Recognition With Fuzzy Objective Function Algorithms". New York: Plenum, 1981.

- (3) Bezdek J. C., Pal M. R., Keller J., Krisnapuram R., "Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing". Norwell, MA: Kluwer, 1999, p. 792.
- (4) Carrano, E. G. (2007). Algoritmos Evolucionários Eficientes para Otimização de Redes. PhD thesis, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil.
- (5) Carrano, E. G., Takahashi, R. H. C. (2014). Planejamento e Operação da Reconfiguração de Sistemas de Distribuição Utilizando Algoritmos de Otimização. Documento Técnico do Projeto P&D D369 da CEMIG-D, Companhia Energética de Minas Gerais.
- (6) Chakraborty, M.; Chakraborty, U. K., "An Analysis of Linear Ranking and Binary Tournament Selection in Genetic Algorithms". In International Conference, IEEE pp. 407-411 vol. 1. Sep. 1997.
- (7) Deb, K.; Pratap, A.; Agarwal, S.; Meyariva, T., "A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm NSGA-II". In IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 6, no. 2, April 2002.
- (8) El-werfelli, M.; Dunn, R.; Iravani, P.; "Backbone-network Reconfiguration for Power System Restoration using Genetic Algorithm and Expert System", In Sustainable Power Generation and Supply, pages 1-6, April 2009.
- (9) Mendoza, F.; Bernal-Agustin, J.L.; Dominguez-Navarro, J.A., "NSGA and SPEA Applied to Multiobjective Design of Power Distribution Systems," Power Systems, IEEE Transactions on , vol.21, no.4, pp.1938,1945, Nov. 2006.
- (10) Ramaswamy, P.C.; Deconinck, G., "Smart grid reconfiguration using simple genetic algorithm and NSGA-II," Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), 2012 3rd IEEE PES International Conference and Exhibition on, vol., no., pp.1,8, 14-17 Oct. 2012
- (11) Srinivas N.; Deb K., "Multi-objective optimization using non-dominated sorting in genetic algorithms," Evol. Comput., vol. 2, no. 3, pp. 221–248, Fall 1994.
- (12) Suliman, S. I.; Kendall, G.; Musirin, I., "Optimizing Channel Allocation in Wireless Communication Using Single-Swap Mutation Based Heuristic". In Advanced Communication Technology, in 15th International Conference, IEEE pp. 774-778 Jan. 2013.
- (13) Yoshikawa M.; Otsuka, K.; Terai H., "Dedicated Hardware Architecture for Cycle Crossover Operation". In Applications of Digital Information and Web Technologies, in First International Conference, IEEE pp. 338-341 Aug. 2008.
- (14) Zhu, J. Z. "Optimal Reconfiguration of Electrical Distribution Network Using the Refined Genetic Algorithm" Electric Power Systems Research 62, pp. 37- 42, 2002.
- (15) Zitzler E., Thiele L., "Multiobjective evolutionary algorithms: a comparative case study and the strength Pareto approach," IEEE Trans. Evol. Comput., vol. 3, no. 4, pp. 257–271, Nov. 1999.
- (16) Zitzler E., Laumanns M., Thiele L., "SPEA2: Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm" Evolutionary Methods for Design, Optimisation and Control, CIMNE, Barcelona, Spain 2002.

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Gisele Pinheiro da Silva  
 Av. Barbacena, 1200/8° B1, Santo Agostinho, Belo Horizonte - MG  
 Email: gisele.silva@cemig.com.br