

# ALGORITMO GENÉTICO MULTI OBJETIVO APLICADO AO PROBLEMA DE RECONFIGURAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Marco. A. S. Jardim <sup>1</sup>, Oriane. M. Neto <sup>1</sup>, Karla. V <sup>2</sup>

1. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos 6627, Pampulha, 31270-010, Belo Horizonte - MG – Brasil  
(031) 8629-2227, godmarcoantonio@yahoo.com.br, oriane@dee.ufmg.br
2. Centro de matemática, computação e cognição, universidade Federal do ABC  
Rua Santa Adélia, 166, Bangu, 09.210-270, Santo André – SP - Brasil  
karlav@hotmail.com

**Resumo** – Neste trabalho é tratada a reconfiguração de redes de distribuição de energia elétrica com o uso de um algoritmo genético multiobjetivo. Três funções objetivo são consideradas: os custos monetários da rede (instalação, manutenção e perdas resistivas), os custos de confiabilidade e o número de manobras. O algoritmo genético multiobjetivo usado é o NSGA II. Foram simuladas falhas nos ramos da rede e mudanças no perfil da carga atendida com o intuito de provocar a reconfiguração ótima do sistema. Dois sistemas testes foram utilizados: um de 21 barras e outro de 100 barras. Uma novidade apresentada neste trabalho é uma metodologia baseada em otimização para a escolha dos cabos reserva da rede.

**Palavras-chaves** – projeto de redes de distribuição, reconfiguração de redes de distribuição, otimização multiobjetivo.

## 1 Introdução

A utilização de técnicas de otimização para o projeto e reconfiguração de redes de distribuição de energia é justificada pela importância econômica e social destes sistemas. Cerca de 85% da população brasileira é consumidora de energia elétrica, o que corresponde a 40% de toda a energia consumida no país (Soares, 2001). Outra justificativa é o fato de o sistema de distribuição ser responsável pela maior parte das perdas ocorridas no sistema elétrico e os recursos disponíveis para sua manutenção e expansão do mesmo são limitados.

A reconfiguração das redes elétricas tem como finalidade: reduzir as perdas de energia, melhorar o perfil de tensão para os consumidores, aumentar os níveis de confiabilidade ou restabelecer o fornecimento de energia em situações de contingência.

Entre as técnicas para redução das perdas, a reconfiguração é uma das mais atrativas para a empresa distribuidora de energia elétrica, pois permite a utilização de recursos já existentes no sistema, assim o custo de implantação é menor e evita novos investimentos (Pereira et al., 2006; Pereira et al., 2008).

Pode ser desejável para a concessionária de energia em épocas de muitas chuvas e tempestades de raio, diminuir o custo de falhas aumentando a confiabilidade do sistema. A reconfiguração do sistema pode ser atrativa também nesse caso.

Ainda mais, a concessionária pode estar interessada no restabelecimento rápido do fornecimento de energia em caso de alguma falha. Aqui também a reconfiguração pode ser importante e neste caso deve ser observado o número mínimo de manobras necessárias para o restabelecimento.

A reconfiguração de sistemas de distribuição de energia elétrica é feita através da abertura e fechamento de chaves de interconexão, alterando a topologia da rede. A reconfiguração pode, inclusive, permitir a transferência de cargas de um alimentador fortemente carregado para outro menos carregado.

O problema consiste em encontrar um conjunto de configurações radiais que apresente o menor custo de perdas resistivas, o menor custo de confiabilidade e o menor número de manobras, respeitando sempre as restrições de níveis de tensão, capacidade de fluxo nas linhas e a potência nominal dos transformadores.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma otimização multiobjetivo para a reconfiguração de redes de distribuição de energia elétrica. Os três objetivos a serem minimizados são: custo de perdas resistivas, custo de falhas e número de manobras. O algoritmo genético multiobjetivo base usado na implementação é o NSGA II (Deb et al., 2002).

## 2 Formulação do problema

No presente trabalho é considerado o problema multiobjetivo do projeto de redes de distribuição de energia elétrica. Este problema pode ser representado por:

$$X^* = \arg_x \min \begin{cases} f^{mc}(N) \\ f^{fc}(N) \\ f^{nm}(N) \end{cases} \quad (1)$$

*Sujeito a* :  $X \in F_x \subset G_c$

onde:

$f^{mc}(N)$  é o custo monetário da rede  $N$  (dado em \$)

$f^{fc}(N)$  é o custo de faltas da rede  $N$  (dado \$)

$f^{nm}(N)$  é o número de manobras (adimensional).

## 2.1 FUNÇÃO CUSTO MONETÁRIO DA REDE

A equação (3) representa a função objetivo e as restrições para o problema de redes de distribuição de energia elétrica. Maiores detalhes e informações sobre as formulas podem ser encontradas em (Ramirez-Rosado e Bernal-Austin, 1998; Carrano et al., 2006; Willis et al., 1996).

$$f^{mc} = \sum_{i=1}^m Y_i^N . IC(N_i) + \sum_{t=1}^{at} \left\{ \sum_{i=1}^m Y_i^N [MC(N_i) + LC_i] \right\} (1 - \text{int}^{rt})^{t-1}$$

$$c_1 : \sum_{i=1}^m Y_i^N = |V| - 1$$

$$c_2 : \sum_{i=1}^m Y_i^N \leq |S| - 1$$

$$c_3 : I_i \leq I_{\max}(N_i) \quad \forall i \in N$$

$$c_4 : 0.94 \leq V_i^n \leq 1.08 \quad \forall i \in V \quad (2)$$

No presente trabalho a função custo monetário da rede é levado em consideração em sua totalidade (instalação, manutenção e perdas resistivas), no projeto da rede e na definição do tipo de cabo das chaves normalmente abertas (NA). A reconfiguração é levado em consideração apenas as perdas resistivas.

## 2.2 FUNÇÃO CUSTO DE FALTA NA REDE

A Equação (4) estima a confiabilidade do sistema através do custo causado por falhas no sistema. Maiores detalhes e informações sobre as formulas podem ser encontradas em (Ramirez-Rosado e Bernal-Austin, 1998; Carrano et al., 2006).

$$f^{fc}(N) = \sum_{t=1}^{at} \left\{ \sum_{i=1}^m Y_i^N \lambda(N_i) J_i [r(N_j) . P_i^A . \text{en}^{tax} + fl^{tax}] \right\} (1 - \text{int}^{rt})^{t-1} \quad (3)$$

## 2.3 FUNÇÃO NÚMERO DE MANOBRAS

O mínimo número de manobras necessárias para o restabelecimento do fornecimento nos sistemas de distribuição de energia, deve ser levado em consideração, porque está relacionado com a velocidade de restabelecimento do fornecimento de energia em casos de faltas ou reconfiguração devido alguma finalidade. Este consiste basicamente de uma grandeza adimensional que conta a quantidade de chaves NA e NF que foram acionadas mostrada na equação (5).

$$f^{nm} = \sum_{i=1}^{NNA} X_i^N + \sum_{i=1}^{NNF} Y_i^N \quad (4)$$

onde:

$NNA$  é o número de chaves NA;

$NNF$  é o número de chaves NF;

$X_i^N$  é 1 se tem conexão ou 0 caso contrário;

$Y_i^N$  é 0 se tem conexão ou 1 caso contrário.

## 3 Experimento para obtenção do diâmetro dos cabos reserva

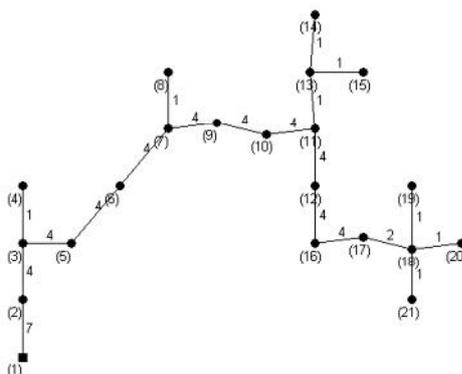
Este capítulo trata dos experimentos feitos no algoritmo para obtenção do projeto da rede inicial e do tipo de cabo reserva a ser utilizado nos dois casos de 21 barras e de 100 barras.

### 3.1 CASO 21 BARRAS

A rede inicial de 21 nós a ser tratada neste item é mostrada na figura 1. Ela foi obtida por meio de uma otimização que usou um algoritmo genético mono-objetivo. O objetivo minimizado foi o custo monetário total da rede que inclui a manutenção, instalação e perdas. O critério de parada utilizado foi o número de avaliações de função sem melhora do valor da função objetivo, estipulado para um milhão. O número dos nós são indicados entre parênteses e o número no meio da aresta que faz a ligação entre os nós indica o tipo de cabo, foi utilizado 9 diferentes tipos de cabos cujas características são mostradas na tabela 1. A subestação é o nó 1 indicado por um quadrado, os outros nós são indicados por círculos.

**Tabela 1** Características dos tipos de condutores

TC	Resistência ( $\Omega$ /km)	Reatância ( $\Omega$ /km)	Potência nominal (kW)
1	0.4853	1.6118	2817
2	0.4679	1.0145	3776
3	0.4505	0.6375	5115
4	0.4428	0.5205	5975
5	0.4331	0.4019	6860
6	0.4237	0.3184	7983
7	0.4026	0.2006	10828
8	0.3037	0.8220	4278
9	0.2567	0.2646	8652



**Figura 1** Projeto da rede inicial 21 barras

A partir da rede inicial foram definidas, para uso no procedimento de reconfiguração, as arestas que funcionarão como chaves NF (normalmente fechadas). Estas arestas estão mostradas na tabela 2. Elas contemplam a saída da subestação e o começo dos corredores da rede com maior número de nós.

**Tabela 2** Chaves NF do sistema

	NF1	NF2	NF3	NF4
NÓ1	1	3	7	11
NÓ2	2	5	9	12

Os ramos que funcionarão como chaves NA (normalmente abertas) também foram definidas a partir da rede inicial. Elas foram alocadas no final dos corredores de maneira que um corredor possa, quando necessário, ser conectado a outro. Elas foram também alocadas próximas à subestação para que sejam uma alternativa de fluxo de potência que evite a interrupção da energia para todo o sistema. Os ramos NA são mostrados na tabela 3.

**Tabela 3** Chaves NA do sistema

	NA1	NA2	NA3	NA4	NA5	NA6	NA7	NA8	NA9	NA10
NÓ1	1	4	5	7	8	10	11	14	15	20
NÓ2	5	5	7	10	9	12	16	15	19	21

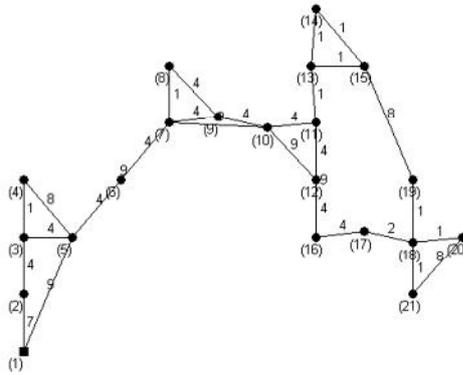
O tipo de cabo a ser utilizado nas arestas NF são os mesmos que estão na rede inicial, para o caso dos ramos NA a escolha do tipo de cabo é feita por meio de uma otimização multiobjetivo que minimiza o custo monetário total da rede (instalação, manutenção e perdas), custo de falhas e número de manobras. A otimização é feita a partir da retirada de cada uma das linhas do sistema, uma de cada vez, simulando falhas na rede. Para cada falta simulada o algoritmo de otimização promoverá reconfigurações da rede que fará uso dos cabos disponíveis nos ramos NA. O tipo de cabo usado em cada uma das arestas NA durante todo o procedimento de otimização será armazenado em uma matriz onde as linhas representam o tipo de

cabo e as colunas representam as arestas NA do sistema. A tabela 4 mostra a matriz obtida ao final do procedimento de otimização. O tipo de cabo que é escolhido para cada aresta NA é aquele que aparece o maior número de vezes na matriz. Se houver empate é escolhido o cabo de maior potência nominal.

**Tabela 4** Contagem dos tipos de cabos para cada chave NA

	NA1	NA2	NA3	NA4	NA5	NA6	NA7	NA8	NA9	NA10
TC1	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0
TC2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
TC3	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
TC4	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
TC5	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1
TC6	0	0	0	4	0	4	0	3	1	0
TC7	70	7	9	50	5	27	4	0	12	13
TC8	1	6	0	6	0	11	4	0	2	4
TC9	142	4	13	96	10	41	7	22	31	10

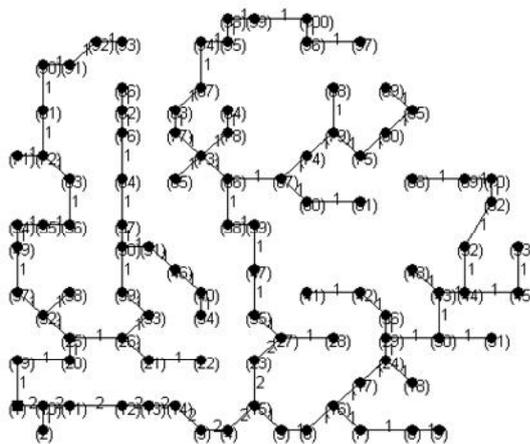
A figura 2 mostra a rede inicial com os cabos já selecionados para as arestas NA após o procedimento de otimização descrito.



**Figura 2** Sistema completo com seus respectivos tipos de cabos

### 3.2 CASO 100 BARRAS

A rede inicial de 100 nós a ser tratada neste item é mostrada na figura 3. Ela foi obtida de maneira similar ao caso de 21 barras, utilizando mesmo algoritmo de otimização, função objetivo, tipos de cabos e representações de nós. A partir da rede inicial foram definidas as arestas NF a serem utilizadas no procedimento de reconfiguração de maneira igual maneira ao item anterior. Estas arestas são mostradas na tabela 5. Os ramos que iram funcionar como chaves NA(normalmente abertas) também foram definidas a partir da rede inicial idêntico ao item anterior. Os ramos NA são mostrados na tabela 6. O tipo de cabo a ser utilizado nas arestas foi definido de maneira similar ao caso de 21 barras com a diferença que a retirada das linhas do sistema para otimização é realizada por amostragem. A tabela 7 mostra a matriz obtida ao final do procedimento de otimização.



**Figura 3** Projeto da rede inicial 100 barras

**Tabela 5** Chaves NF do sistema

	NF1	NF2	NF3	NF4	NF5	NF6	NF7	NF8	NF9	NF10	NF11	NF12	NF13	NF14
NÓ1	1	1	5	7	26	27	29	32	44	50	67	72	73	75
NÓ2	10	19	15	16	33	35	36	37	52	57	74	81	77	79

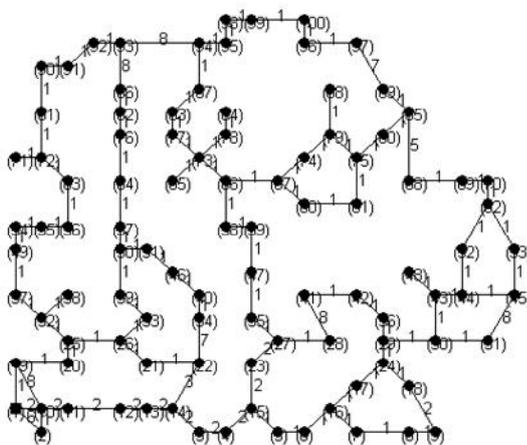
**Tabela 6** Chaves NA do sistema

	NA1	NA2	NA3	NA4	NA5	NA6	NA7	NA8	NA9	NA10	NA11	NA12	NA13
NÓ1	1	9	10	14	22	28	31	53	61	68	86	89	93
NÓ2	2	18	19	22	34	41	45	62	75	85	93	97	94

**Tabela 7** Contagem dos tipos de cabos para cada chave NA

	NA1	NA2	NA3	NA4	NA5	NA6	NA7	NA8	NA9	NA10	NA11	NA12	NA13
TC1	4	8	2	4	12	12	2	24	18	13	24	6	30
TC2	8	14	4	2	10	13	0	4	10	6	26	5	40
TC3	2	7	7	11	13	4	6	4	16	3	21	2	25
TC4	5	6	3	8	4	29	1	6	10	3	27	8	23
TC5	1	10	3	10	5	13	4	3	11	14	12	7	30
TC6	9	8	2	4	6	9	0	3	16	6	26	1	14
TC7	2	2	3	4	14	7	2	2	2	6	14	16	13
TC8	5	13	28	5	5	35	8	9	11	11	49	11	55
TC9	2	5	21	2	11	18	2	0	17	13	38	8	34

A figura 4 mostra a rede inicial com os cabos já selecionados para as arestas NA após o procedimento de otimização descrito.



**Figura 4** Sistema completo com seus respectivos tipos de cabos

## 4 Resultados e análise de resultados

Neste capítulo serão apresentados e comentados os resultados da reconfiguração a partir dos sistemas iniciais de distribuição de energia elétrica de 21 barras e de 100 barras descritas no capítulo anterior. Serão simuladas falhas em alguns ramos das redes e mudanças no perfil de carga em alguns nós. As mudanças no perfil de carga vão se dar em nós aleatórios da rede para simular um aumento de carga local devido, por exemplo, à implantação de uma indústria. E vão se dar também em nós folha da rede para simular de forma simplificada, uma expansão da rede de distribuição. Serão consideradas três funções objetivo a serem minimizadas: função custo monetário da rede (FMC), função custo de falhas (FFC) e função número de manobras (FNM). Na função custo monetário da rede, serão consideradas apenas os custos relacionados às perdas resistivas.

### 4.1 Simulação de falha para o sistema de 21 barras

Será considerada uma falha para o sistema de 21 barras: uma falha no ramo entre os nós 7 e 9 em uma região central, sendo esta região mais provável de ocorrerem falhas. Simulação desta falha será descrita no item 4.1.1 a seguir.

#### 4.1.1 Falha no ramo entre os nós 7 e 9

Foi simulada falha no ramo entre os nós 7 e 9. A tabela 8 mostra os valores das funções objetivo para cada uma das redes que compõem o conjunto pareto. A tabela 9 mostra as chaves que foram manobradas nas reconfigurações encontradas.

**Tabela 8** Valores das funções objetivo das reconfigurações

RESULTADO	FMC	FFC	FNM
REC1	468319.26	6684112.37	6
REC2	494084.42	6666425.69	6
REC3	496425.29	6556106.22	8
REC4	518961.25	7948807.12	4
REC5	545076.51	7931296.63	4
REC6	689470.16	12997197.65	2

**Tabela 9** Chaves NA e NF manobradas nas reconfigurações

	CHAVES NA E NF MANOBRADAS
REC1	NF2,NF3,NF4,NA1,NA4,NA6
REC2	NF1,NF3,NF4,NA1,NA4,NA6
REC3	NF1,NF2,NF3,NF4,NA1,NA2,NA4,NA6
REC4	NF2,NF3,NA1,NA4
REC5	NF1,NF3,NA1,NA4
REC6	NF3,NA4

#### 4.2 Simulação de mudança de perfil de carga para o sistema de 21 barras

Serão considerados duas mudanças no perfil de carga para o sistema de 21 barras conforme será descrito nos itens 4.2.1 e 4.2.2 a seguir.

##### 4.2.1 Aumento de carga em um dos ramos

Aqui foi triplicada a carga nos nós 3,5 e 6 do sistema que formam um ramal importante do mesmo, a reconfiguração ótima leva a 7 soluções. A tabela 10 mostra os valores das funções objetivo para cada uma das redes que compõem o conjunto pareto. A tabela 11 mostra as chaves que foram manobradas nas reconfigurações encontradas.

**Tabela 10** Valores das funções objetivo das reconfigurações

RESULTADO	FMC	FFC	FNM
REC1	557526.98	7103206.09	6
REC2	602628.14	7012054.59	6
REC3	609004.05	6901837.78	8
REC4	609398.01	8368569.87	4
REC5	655022.47	8277678.50	4
REC6	690100.54	11054246.89	2
REC7	736547.91	10963993.41	2

**Tabela 11** Chaves NA e NF manobradas nas reconfigurações

	CHAVES NA E NF MANOBRADAS
REC1	NF2,NF3,NF4,NA1,NA4,NA6
REC2	NF1,NF3,NF4,NA1,NA4,NA6
REC3	NF1,NF2,NF3,NF4,NA1,NA2,NA4,NA6
REC4	NF2,NF3,NA1,NA4
REC5	NF1,NF3,NA1,NA4
REC6	NF2,NA1
REC7	NF1,NA1

##### 4.2.2 Aumento de carga em um dos nós folhas

Foi triplicada a carga no nó 20 do sistema inicial. A tabela 12 mostra os valores das funções objetivo para cada uma das soluções. A tabela 13 mostra as chaves que foram manobradas nas reconfigurações encontradas.

**Tabela 12** Valores das funções objetivo das reconfigurações

RESULTADO	FMC	FFC	FNM
REC1	530991.52	7216831.76	6
REC2	558207.32	7199247.76	6
REC3	560555.88	7088928.32	8
REC4	592712.65	8641886.86	4
REC5	620362.60	8624531.48	4
REC6	683725.47	11495904.47	2
REC7	712023.59	11479071.98	2

**Tabela 13** Chaves NA e NF manobradas nas reconfigurações

	CHAVES NA E NF MANOBRADAS
REC1	NF2,NF3,NF4,NA1,NA4,NA6
REC2	NF1,NF3,NF4,NA1,NA4,NA6
REC3	NF1,NF2,NF3,NF4,NA1,NA2,NA4,NA6
REC4	NF2,NF3,NA1,NA4
REC5	NF1,NF3,NA1,NA4
REC6	NF2,NA1
REC7	NF1,NA1

#### 4.3 Simulação de falha para o sistema de 100 barras

A simulação de um sistema de distribuição de energia elétrica de 100 barras é muito importante pelo fato de que um sistema desta dimensão já é muito próximo de um grande número de sistemas reais de distribuição de energia serão simuladas falha e mudanças no perfil de carga do sistema inicial de 100 barras com o propósito de que sejam obtidos reconfigurações ótimas nos moldes descritos no início deste capítulo.

### 4.3.1 Falha no ramo entre os nós 72 e 81

A reconfiguração para esta falha leva a um conjunto de pareto com 6 soluções. A tabela 14 mostra os valores das funções objetivo das soluções do conjunto de pareto. Em uma análise das soluções à rede REC6(reconfiguração6) mostrada na tabela 14 prevê apenas 2 manobras e presume ser usada quando se desejar um restabelecimento rápido do sistema após a falta, neste caso os custos da rede relativos às perdas resistivas e às falhas são maiores do que são para as outras soluções. A rede REC1(reconfiguração1) apresenta o menor custo relativo às perdas resistivas, um custo razoável de falhas comparado com as outras soluções, mas exige um número de 14 manobras e sugere que ela deva ser usada para aumentar a vida útil dos equipamentos e quando o tempo de restabelecimento não for prioridade. A rede referente a solução REC2(reconfiguração2) apresenta o menor custo relativo às falhas, um custo razoável de perdas resistivas comparado com as outras soluções, mas exige um número de 14 manobras e sugere que ela deva ser usada, por exemplo, em períodos chuvosos com muitas tempestades de raio e quando o tempo de restabelecimento não for prioridade. As demais soluções são soluções intermediárias entre as soluções REC1, REC2 e REC6 em termos dos valores das funções objetivo. A tabela 15 mostra as chaves que foram manobradas nas reconfigurações encontradas. A análise dos demais resultados deste capítulo segue de maneira análoga a este.

**Tabela 14** Valores das funções objetivo das reconfigurações

RESULTADO	FMC	FFC	FNM
REC1	1357034.78	72171495.95	14
REC2	1668624.95	54851711.52	14
REC3	1706936.18	82187305.37	6
REC4	1729501.11	82608918.24	4
REC5	1832152.16	80055579.96	8
REC6	1923221.81	86787633.36	2

**Tabela 15** Chaves NA e NF manobradas nas reconfigurações

	CHAVES NA E NF MANOBRADAS
REC1	NF1,NF5,NF6,NF7,NF9,NF12,NF14, NA1,NA6,NA8,NA10,NA11,NA12,NA13
REC2	NF1,NF4,NF5,NF6,NF7,NF12,NF14, NA1,NA2,NA6,NA10,NA11,NA12,NA13
REC3	NF7,NF12,NF13,NA6,NA11,NA13
REC4	NF12,NF13,NA11,NA13
REC5	NF2,NF7,NF12,NF13,NA3,NA6,NA11,NA13
REC6	NF12,NA11

### 4.4 Simulação de mudança de perfil de carga para o sistema de 100 barras

Serão considerados duas mudanças no perfil de carga para o sistema de 100 barras conforme será descrito nos itens 4.4.1 e 4.4.2 a seguir.

#### 4.4.1 Aumento de carga em um dos ramos

Aqui foi triplicada a carga nos nós 72,81,90,91,92 e 93 do sistema que formam um ramal importante do mesmo, a reconfiguração ótima para as três funções objetivo consideradas leva a 4 soluções não dominadas. A tabela 16 mostra os valores das funções objetivo para cada uma das redes que compõem o conjunto pareto. A tabela 17 mostra as chaves que foram manobradas nas reconfigurações encontradas.

**Tabela 16** Valores das funções objetivo das reconfigurações

RESULTADO	FMC	FFC	FNM
REC1	2193050.30	58866053.05	10
REC2	2372605.17	101480156.46	6
REC3	2376361.38	98805296.12	4
REC4	2393588.56	99214260.76	2

**Tabela 17** Chaves NA e NF manobradas nas reconfigurações

RESULTADO	FMC	FFC	FNM
REC1	2193050.30	58866053.05	10
REC2	2372605.17	101480156.46	6
REC3	2376361.38	98805296.12	4
REC4	2393588.56	99214260.76	2

#### 4.4.2 Aumento de carga em um dos nós folhas

Foi triplicada a carga no nó 41 do sistema inicial. A tabela 18 mostra os valores das funções objetivo para cada uma das redes que compõem o conjunto pareto. A tabela 19 mostra as chaves que foram manobradas nas reconfigurações encontradas.

**Tabela 18** Valores das funções objetivo das reconfigurações

RESULTADO	FMC	FFC	FNM
REC1	1354751.08	70703135.45	10
REC2	1423174.49	61536859.68	16
REC3	1751931.73	86281405.60	2
REC4	2086732.52	70431094.72	8

**Tabela 19** Chaves NA e NF manobradas nas reconfigurações

	CHAVES NA E NF MANOBRADAS
REC1	NF2,NF3,NF9,NF10,NF11,NA6,NA9,NA10,NA11,NA13
REC2	NF1,NF2,NF3,NF4,NF5,NF6,NF9,NF12, NA1,NA2,NA4,NA5,NA8,NA10,NA11,NA13
REC3	NF13,NA13
REC4	NF2,NF9,NF10,NF11,NA9,NA10,NA11,NA13

## 5 Conclusão

A reconfiguração multiobjetivo apresentada neste trabalho pode ser de grande interesse por parte das concessionárias de energia elétrica uma vez que ela torna clara as possibilidades ótimas disponíveis. Ficará a critério do decisor, que poderá ser ajudado por técnicas de decisão, escolher o ponto de equilíbrio desejado entre as funções objetivo tratadas.

Os resultados obtidos neste trabalho sugerem que os sistemas de energia elétrica devem ter topologias diferentes para diferentes condições climáticas durante o ano. Topologias diferentes podem ser obtidas por meio da reconfiguração. Em situações de contingências, a reconfiguração do sistema pode ser feita com o interesse direto de se ter um rápido restabelecimento da energia. Essas questões e várias outras de grande importância para o bom funcionamento dos sistemas de distribuição de energia podem ser tratadas, de maneira simultânea, pela reconfiguração multiobjetivo.

Os sistemas testes usados aqui, em particular o de 100 barras, já dão uma boa aproximação do que são os sistemas de distribuição de energia reais.

A metodologia baseada em otimização apresentada para a escolha dos cabos reserva parece ser inovadora e bastante útil.

## Agradecimentos

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro.

## Referências Bibliográficas

- Carrano, E. G.; Soares, L. A. E.; Takahashi, R. H. C.; Saldanha, R. R.; Neto, O. M. (2006). Electric distribution multiobjective network design using a problem-specific genetic algorithm. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 21:995–1005.
- Déb, K; Pratap, A.; Agarwal, S.; Meyarivan, T. (2002). A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2): 182-197.
- Pereira, F. S; Vittori, K; da Costa, G. R. M. Reconfiguração de redes de distribuição baseado no comportamento de colônia de formigas. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos*, Vol 1, págs 1-6, 2008.
- Pereira, F. S; Vittori, K; da Costa, G. R. M. Reconfiguração de sistemas de distribuição para redução de perdas ativas baseada no comportamento de colônias de formigas. *XVI Congresso Brasileiro de Automática*, Vol 1, págs 1956-1961, 2006.
- Ramírez-Rosado, I.; Bernal-Agustín, J. (1998). Genetic algorithms applied to the design of large power distribution systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 13(3):696–702.
- Soares, L. A. E. (2001). Uma abordagem multi-critério no planejamento ótimo de sistemas de distribuição de energia. Master's thesis, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil.
- Willis, H. L.; Tram, H.; Engel, M. V.; Finley, L. (1996). Selecting and applying distribution optimization methods. *IEEE Computer Applications in Power*, 9(1):12–17.