

ALGORITMO EVOLUTIVO COM REPRESENTAÇÃO NÓ-PROFUNDIDADE APLICADO PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE RESTABELECIMENTO DE ENERGIA UTILIZANDO CHAVES AUTOMÁTICAS

HENRIQUE FERNANDES BORGES¹, DANILO SIPOLI SANCHES², ALEX ANDRIUS CECCHIM BOZZ¹, ALEXANDRE CLÁUDIO B. DELBEM¹, JOÃO BOSCO A. LONDON JR.¹

1. *Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador São-Carlense, 400, São Carlos, São Paulo, Brasil
E-mails: henriquehfb@usp.br, alexbozz@usp.br, acbd@icmc.usp.br,
jbalj@sc.usp.br*

2. *Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Av. Alberto Carazzai, 1640, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil
E-mails: danilosanches@utfpr.edu.br*

Abstract— Recently a very efficient methodology to treat service restoration problem in Distribution Systems (DSs) was developed. Basing on Multi-Objective Evolutionary Algorithms and on the graph encoding called Node-Depth Representation, the methodology allows the treatment of large-scale DSs (DSs with thousands of switches and buses) without requiring any simplification of the network, considering all the objectives and constraints of the problem. However, this methodology does not prioritize the operation of automatic switching. Consequently it does not allow the obtaining of service restoration plans considering only automatic switches. This paper proposes to extend this methodology, in order to obtain a methodology that allows the obtaining of service restoration plans considering only automatic switches. The extend methodology works in two stages. In the first it considers only automatic switches and the second stage considers any kind of switches, automatic or not. An example will be presented in order to demonstrate how the extended methodology works.

Keywords— Optimization in Distribution System, Network Reconfiguration, Service Restoration, Evolutionary Systems, Node-Depth Encoding.

Resumo— Recentemente foi desenvolvida uma metodologia bastante eficiente para tratamento do problema de restabelecimento de energia em Sistemas de Distribuição (SDs). Fazendo uso de Algoritmos Evolutivos Multi-Objetivos e da codificação denominada Representação Nó-Profundidade, essa metodologia possibilita o tratamento de SDs de grande porte (com milhares de chaves e barras) sem exigir simplificação alguma da rede elétrica, considerando todos os múltiplos objetivos e múltiplas restrições do problema. Entretanto, essa metodologia não prioriza a utilização de chaves automáticas e dessa forma não possibilita a obtenção de planos de restabelecimentos a partir da utilização apenas de chaves automáticas. Este trabalho propõe uma extensão dessa metodologia, no sentido de a mesma possibilitar a obtenção de planos de restabelecimento de energia a partir exclusivamente de chaves automáticas. A metodologia estendida, ou seja, a metodologia aqui proposta trabalha em duas etapas. Através de um exemplo didático demonstrar-se-á como a metodologia proposta funciona.

Palavras-chave— Otimização em Sistemas Elétricos, Reconfiguração de Redes, Restabelecimento de Energia Elétrica, Sistemas Evolutivos, Representação Nó-Profundidade.

1 Introdução

Os desafios englobando a diminuição da quantidade de desligamentos nos Sistemas de Distribuição (SDs) têm consumido grande parte dos investimentos em novas tecnologias. Soluções aplicando o conceito de redes inteligentes (*Smart Grids*) é exemplo desta busca constante pela redução dos índices relacionados à frequência de desligamentos. Por mais que se invista na redução de desligamentos, as características operacionais dos SDs os fazem susceptíveis a tais eventos. Em razão disso, essas redes são projetadas com possibilidade de transferência de blocos de cargas entre circuitos, por meio da Reconfiguração de Redes (RR), que consiste basicamente na alteração da topologia do sistema elétrico através de mudanças de estado (aberto/fechado) das chaves seccionadoras. Desta forma, as concessionárias de energia vêm investindo não apenas em minimizar a quantidade de consumidores que ficam sem energia, mas também o tempo de desligamento destes consumidores.

Atualmente, na grande maioria das concessionárias de energia, o processo de restabelecimento de energia, no circuito alimentador afetado por uma ou múltiplas faltas permanentes, é realizado por operadores, através do direcionamento das equipes de campo para inspeção do trecho desligado. Devido à dificuldade de visualização das variáveis, à grande quantidade de soluções possíveis e ao tempo necessário para um ser humano determinar uma solução factível do problema, o processo de restabelecimento de energia fica baseado nas características pessoais de cada operador, destacando que diversas soluções podem ser encontradas para um mesmo desligamento, podendo ainda, em alguns casos, nenhuma delas se aproximar da solução ótima.

Face ao exposto, este artigo propõe uma metodologia para restabelecer a energia por meio da RR nos trechos sem defeito do SD que foram isolados devido a uma ou múltiplas faltas permanentes. A metodologia proposta trabalha em duas etapas. Na primeira considera apenas as chaves automáticas do SD, e na segunda considera todas as chaves, automáticas ou

não. Dessa forma, essa nova metodologia apresenta ao operador uma solução com agilidade suficiente para caracterizar a operação como sendo em tempo real. Para isso, utiliza-se de Algoritmos Evolutivos (AEs), pois os resultados obtidos através desses algoritmos para tratamento de problemas de RR são bastante animadores. Entretanto, a maioria dos AEs demanda um alto custo computacional (tempo de execução), quando aplicados em SDs de grande porte (Carreno et al. 2008), (Santos et al. 2010).

A fim de melhorar o desempenho dos AEs nos problemas de RR, o Algoritmo Evolutivo Multi-Objetivo (AEMO) utilizado nesta metodologia, denominado AEMT-SND – apresentado na seção 4, usa uma nova estrutura de dados, denominada Representação Nó-Profundidade (RNP), e seus operadores genéticos (A. Delbem et al. 2004). Como foi mostrado em (Sanches et al. 2012), a RNP pode melhorar o desempenho obtido pelos algoritmos evolutivos em problemas de RR devido às suas seguintes propriedades: (i) A RNP e seus operadores produzem exclusivamente configurações factíveis, isto é, redes radiais capazes de fornecer energia para todas as partes do sistema que possuem chaves para conexão com partes sem defeito; (ii) A RNP pode gerar muito mais configurações factíveis em relação às outras estruturas de dados para um mesmo período de tempo, tendo em vista que a RNP apresenta uma complexidade computacional de ordem $O(\sqrt{n})$, onde n é o número de nós do grafo; (iii) Cada configuração gerada pela RNP e seus operadores possui todos os nós ordenados de acordo com uma relação conhecida como Modelo Pai-Filho (MPF), possibilitando, assim, a execução de um algoritmo de fluxo de carga de varredura direta/inversa de forma mais eficiente. Trabalhando com outras estruturas de dados e operadores, antes de aplicar um algoritmo de fluxo de carga é necessário executar um algoritmo de ordenação, toda vez que uma nova configuração for gerada, para organizar os nós de acordo com o MPF (Shirmohammadi et al. 1988).

2 Representação Nó-Profundidade

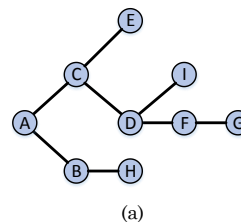
Um grafo G é um par $(N(G), E(G))$, onde $N(G)$ é um conjunto finito de elementos denominados nós, e $E(G)$ é um conjunto finito de elementos denominados arestas. Um SD pode ser representado por grafos, onde os nós representam os setores, e as arestas interligando os setores são as chaves seccionadoras.

A RNP (A. Delbem et al. 2004) é uma representação de árvore de grafos¹ baseado nos conceitos de nó e profundidade de um nó² de uma árvore de grafo e consiste basicamente de uma lista contendo os nós da árvore e suas respectivas profundidades, formando pares do tipo (nx, px) , onde nx é o nó da árvore e px a profundidade do nó. A ordem em que os pares são

¹ Uma árvore de grafo é um subgrafo conexo e acíclico de um grafo.

² A profundidade de um nó é a distância do caminho único a partir da raiz da árvore até o respectivo nó.

dispostos na lista é importante. A representação de uma árvore é obtida a partir de uma busca em profundidade (a árvore geradora do grafo, ou seja, que possui todos os nós dos grafos, apresentada na Figura 1(a) está armazenada na RNP apresentada na Figura 1(b), assumindo o nó A como raiz). Para representar uma floresta possuindo " nA " árvores, teremos um conjunto de " nA " RNPs.



nó	A	C	E	D	I	F	G	B	H
profundidade	0	1	2	2	3	3	4	1	2

Figura 1: Exemplo de uma árvore com 9 nós e sua respectiva RNP.

Para facilitar a manipulação da floresta armazenada em RNPs, com baixo tempo de processamento computacional, criaram-se dois operadores (PAO - *Preserve Ancestor Operator*) e (CAO - *Change Ancestor Operator*). Estes realizam poda ou enxerto nas árvores da floresta. Mais informações sobre RNP e seus operadores, aplicados no processo de RR, podem ser encontrados em (Santos et al. 2010).

3 Formulação do Problema

Nesta seção apresentar-se-á uma formulação geral para problemas de RR em SDs, porém o foco deste trabalho é o problema de restabelecimento de energia, que envolve a minimização de cargas fora de serviço e do número de chaveamento, sem a violação das restrições operacionais do sistema. Porém, fazendo uso de uma Estrutura de Dados Adequada (EDA) para representação computacional da topologia elétrica dos SDs, isto é, de uma estrutura que armazena as barras de acordo com o Modelo Pai-Filho (MPF) e que produza apenas configurações factíveis, um problema genérico de reconfiguração de redes pode ser formulado da seguinte forma (Sanches et al. 2012):

$$\text{Min. } E(F) + |\Omega(F)|$$

s. a.

Calcular o fluxo de carga através da EDA (1)
 F é dado pelos operadores da EDA,

Sendo que, F é a floresta de grafo correspondente a uma configuração do sistema, onde: cada nó representa um setor³ e as arestas, interligando os nós, representam chaves seccionadoras. Consequentemente

³ Setor são aglomerados de barras de carga e linhas do SD separados por chaves seccionadoras.

te, cada árvore representa um alimentador ligado em uma subestação ou em uma área fora de serviço. A função objetivo corresponde a $E(F)$, e $I(F)$ são restrições de desigualdade representando as restrições operacionais da rede. O símbolo Ω é uma matriz diagonal cujos elementos são fatores de penalidade para as configurações da rede que violarem as restrições operacionais $I(F)$ e $|\cdot|$ é a norma finita usual de um vetor⁴.

A função $E(F)$ contém, em geral, os componentes: $\phi(F)$, que representa a quantidade de cargas fora de serviço para uma determinada topologia radial da rede (uma floresta F); o componente $\varphi(F)$, que são as perdas resistivas no sistema para F ; e $\psi(F, F^0)$, que corresponde ao número de operações de chaveamento necessário para obter uma configuração F , a partir da configuração original F^0 .

As restrições operacionais $I(F)$ para problemas de RR em SDs geralmente incluem: um limitante superior para magnitude de corrente \bar{x}_j , para cada magnitude de corrente de linha x_j , na linha j . A maior razão $X(F) = x_j/\bar{x}_j$ é denominada **carregamento da rede** da configuração F ; a máxima magnitude de injeção de corrente \bar{b}_i possível para cada subestação i . A maior razão $B(F) = b_i/\bar{b}_i$ é denominada **carregamento da subestação** da configuração F ; um limitante inferior para magnitude de tensão nodal. Seja v_k a magnitude de tensão nodal na barra k e v_b a tensão base do sistema, a menor razão $V(F) = 1 - v_k/v_b$ é denominada a razão de tensão da configuração F .

O vetor de tensão v é dado por $Y_v = b$, sendo que Y é a matriz de admitância nodal, que pode ser calculada por meio da expressão $Y = AY_x A^t$, sendo Y_x a matriz de admitância diagonal, e b contém as correntes complexas nas barras ($b_k \leq 0$) ou injetadas nas subestações ($b_k > 0$). A matriz diagonal Ω é dada como segue, destacando que os pesos w_{11} , w_{22} , w_{33} são valores positivos:

$$w_{11} = \begin{cases} w_x, se, X(F) > 1 \\ 0, caso contrário; \end{cases}$$

$$w_{22} = \begin{cases} w_s, se, B(F) > 1 \\ 0, caso contrário; \end{cases}$$

$$w_{33} = \begin{cases} w_v, se, V(F) > 0.1 \\ 0, caso contrário; \end{cases}$$

Em (Mansour et al. 2010) a RNP é utilizada como uma EDA. Como os operadores da RNP geram somente configurações factíveis, não é necessário utilizar uma rotina especificada para verificar e corrigir configurações infactíveis. De acordo com a literatura especializada, usar uma função agregação similar a equação 1, para tratar problemas multi-objetivos, restringe o espaço de busca, podendo assim limitar a qualidade das soluções encontradas

(Deb 2001), (Kumar et al. 2008). Em (Mansour et al. 2010) a função agregação é decomposta e o problema (ver equação 1) é reformulado da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Min. } E &= [e_1(F) + |\Omega I'(F)|] \\ &\text{s. a.} \end{aligned} \quad (2)$$

Calcular o fluxo de carga com EDA
 F é dado pelos operadores da EDA,

Sendo, E um vetor de duas funções objetivo: $e_1(F)$ é o número de operações de chaveamentos; e $|\Omega I'(F)|$ é uma função agregação composta pelas demais restrições operacionais e objetivos.

4 AEMT com RNP e Soluções Não Dominadas

O Algoritmo Evolutivo Multi-Tabelas com RNP e Soluções Não Dominadas (AEMT-SND) apresentado em (Sanches et al. 2012) será utilizado como base para o desenvolvimento deste trabalho. Este método combina as principais características dos métodos AEMT (Santos et al. 2010) e NSNP (Mansour et al. 2010), que é uma versão modificada do NSGA-II (do inglês, *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm*) combinado com a RNP.

Assim como o método AEMT, o AEMT-SND é baseado na ideia de tabelas de subpopulações. Contudo, o AEMT-SND utiliza novas tabelas de subpopulação não dominadas que usam uma técnica de não dominância para inserir diversidade entre as soluções, como no método NSNP. Essas tabelas armazenam soluções não dominadas obtidas durante as avaliações.

As tabelas de subpopulação relacionadas com as funções objetivo e restrições operacionais são preenchidas conforme proposto no método AEMT. No entanto, as tabelas de não dominância são preenchidas de acordo com o grau de não dominância de cada solução, isto é, soluções que não são dominadas por nenhuma outra solução são armazenadas na tabela F_1 ; soluções que são dominadas apenas pelas soluções contidas na tabela F_1 são armazenadas na tabela F_2 ; e soluções que são dominadas apenas pelas soluções contidas nas tabelas F_1 e F_2 são armazenadas na tabela F_3 . A função distância de multidão proposta em (Deb 2001) é usada a fim de assegurar a diversidade entre as soluções contidas nas tabelas de subpopulação não dominadas. Alguns parâmetros devem ser estabelecidos:

- G_{max} é o número máximo de indivíduos (topologia do SD) gerados pelo AEMT-SND. É também utilizado como o critério de parada;
- S_{pi} é o tamanho da tabela de subpopulação P_i , indicando quantos indivíduos podem ser armazenadas em P_i , com $i = 1, \dots, 5$. As cinco tabelas de subpopulação P_i são: P_1 - indivíduos com as menores perdas de potência; P_2 - indivíduos com as menores taxas de tensão; P_3 - indivíduos com os menores carregamentos de rede; P_4 - indivíduos com os menores carregamentos da subesta-

⁴ A norma finita usual (norma L_1) de um vetor z de tamanho n é dada por $\sum_{r=1}^n |z_r|$.

ção; e P_5 - indivíduos com os menores valores de função agregação. Essa função agregação envolve perdas de potência, número de operações de chaveamento e restrições operacionais (queda de tensão, carregamento de rede e carregamento de subestação).

- S_{fi} é o tamanho da tabela de subpopulação não dominada F_i , ou seja, indica quantos indivíduos podem ser armazenados em F_i , com $i = 1, 2, 3$.

5 Metodologia Proposta

Após a ocorrência de uma ou múltiplas faltas permanentes em um SD, a metodologia proposta trabalha em duas etapas. Na **Etapa 1** elabora um plano de restabelecimento para as partes sãs⁵ do SD que ficaram sem energia, para isso, considera apenas as chaves seccionadoras automáticas para fazer a reconfiguração da rede, usando informações de equipamentos automáticos (sistema de proteção, chaves automáticas e suas localizações) e da topologia da rede. Nesta etapa são considerados os setores automáticos, que são formados por um conjunto de barras, linhas e chaves não automáticas, sendo que os limites desses setores são as chaves seccionadoras automáticas. Nesta etapa, o grafo de setores que considera apenas as chaves automáticas é definido como SD Automático.

Na **Etapa 2** a metodologia inspeciona o setor automático isolado na etapa anterior, elaborando um novo plano de restabelecimento a partir da solução obtida anteriormente. Esta inspeção é necessária, pois quando se utiliza apenas chaves automáticas, pode ocorrer à formação e isolamento de “grandes setores” – que são setores com grande quantidade de barras de carga, linhas e chaves não-automáticas, e isso ocorre principalmente quando o SD possui poucas chaves automáticas. Portanto, esta inspeção tem por finalidade, identificar se dentro deste “grande setor” em falta, existam ainda partes sãs que podem ser restabelecidas utilizando para isso chaves não-automáticas. Assim, esta etapa utiliza a definição convencional de setores, que são formados por um conjunto de barras e linhas do SD, sendo limitado por qualquer chave seccionadora (automáticas ou não). Vale ressaltar que esses setores (convencionais) estão dentro dos setores automáticos, como se fossem subsetores. Para evitar confusão o grafo de setores automáticos utilizado na Etapa 1 será chamado de SD Automático e o grafo dos setores convencionais utilizado na Etapa 2 é nomeado SD Completo.

Para permitir o desenvolvimento da metodologia proposta, foi necessário o desenvolvimento de uma ferramenta para possibilitar um *link* entre estas duas maneiras distintas de representar o SD. Essa ferramenta foi definida como “Conversor de RNP”, que permite que o AEMT-SND encontre duas soluções sucessivas para o problema de restabelecimento, uma

de forma emergencial, não necessitando de equipes técnicas em campo para inspeção (Etapa 1), e outra solução que possibilita restabelecer a energia em mais partes sãs do SD (Etapa 2), minimizando ainda mais a área fora de serviço.

De acordo com as informações das concessionárias de energia do Brasil, a quantidade de chaves automáticas alocadas nos SDs ainda são poucas em relação às chaves não-automáticas, podendo existir a possibilidade que na Etapa 1 não seja encontrado nenhuma solução factível para resolver o problema. Caso isso ocorra, a metodologia não encontra solução alguma ara Etapa 1, executando em seguida a Etapa 2, a fim de encontrar uma solução factível considerando todas as chaves do SD.

6 Conversor de RNP

Depois de executado a Etapa 1, o AEMT-SND fornecerá uma solução factível para o problema, e esta solução corresponde a uma topologia do SD Automático de alguma geração do processo evolutivo, sendo esta geração armazenada em uma variável chamada “*ind_sol*” – topologia da melhor solução factível encontrada.

Esta solução “*ind_sol*” corresponderá a topologia inicial da Etapa 2, mas tratando a modelagem dos setores de forma diferente, justificando a necessidade de um código que faça o *link* de um modelo para outro. Portanto, o Conversor de RNP tem a função de converter e atualizar as RNPs dos alimentadores do SD Automático para o SD Completo. Para que a conversão e atualização das RNPs sejam possíveis, o Conversor de RNP utiliza as seguintes características:

- Lista de Relação de Setores: contem a relação de correspondência entre setores automáticos e convencionais. Como exemplo, os setores 2, 6 e 7 (Figura 3) correspondem ao setor automático 2 (Figura 5).
- Matriz *pra*: esta matriz armazena o histórico das alterações realizadas nas RNPs dos alimentadores do SD Automático durante todo o processo da Etapa 1. É responsável por fornecer as informações necessárias para atualizar as profundidades das RNPs do SD Completo.
- Vetor de Ancestralidade: é responsável por armazenar as soluções predecessoras a solução “*ind_sol*”, ou seja, o processo evolutivo da topologia inicial até chegar a melhor solução factível.

7 Estudo de Caso – Testes e Resultados

A fim de comparar esta nova metodologia com uma metodologia tradicional para tratar o problema de restabelecimento de energia, utiliza-se o SD apresentado em (Kagan 1999), já dividido em setores (Figura 3). Este SD possui 3 subestações, 8 alimentadores, 86 barras, 28 chaves seccionadoras e tensão primária de 13,8kV. E para tornar viável a utilização

⁵ Partes sãs são as partes do SD que não possuem nenhum defeito, mas ocasionalmente foram isoladas devido à falta permanente.

do método, foram alocadas chaves seccionadoras telecomandadas, sendo das 28 chaves, 13 são automáticas e 15 não-automáticas. As simulações foram realizadas utilizando-se um computador com processador Core 2 Quad 2.4GHz, 8GB de memória RAM, Sistema Operacional Linux Ubuntu versão 12.04, e a linguagem de compilador C gcc-4.4.

Para todas as simulações é considerado uma falta permanente em uma barra que está localizada no setor automático 2, e coincidentemente esta barra em falta está no setor convencional 2, ressaltando ser uma mera coincidência, não necessariamente uma barra em falta que está no setor automático x , também estará no setor convencional x . Nas figuras que são apresentadas nas próximas seções as chaves automáticas do SD Completo são representadas pelas arestas que possuem a letra "A". No SD Automático todas as arestas são definidas como chaves automáticas.

7.1 Metodologia tradicional

Simulando esta falta para o SD em análise, utiliza-se o AEMT-SND de forma tradicional, no qual considera apenas o SD Completo, os seguintes resultados para chegar à melhor solução foram encontrados:

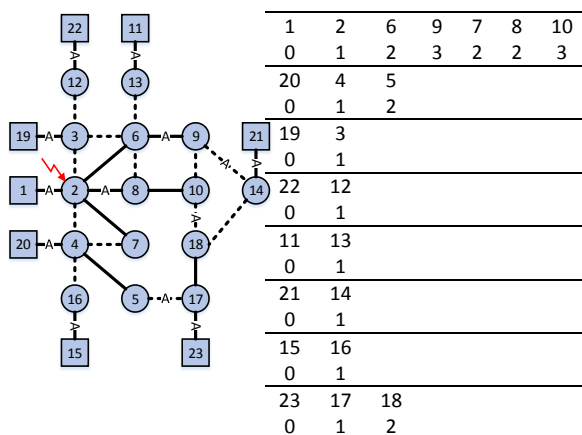


Figura 3: Topologia inicial (SD Completo) e sua RNP.

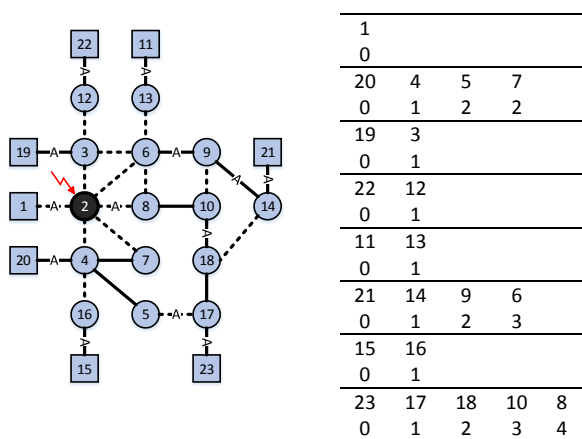


Figura 4: Topologia final (SD Completo) e suas RNPs.

- Para restabelecer os setores "sãos" 6, 9, 7, 8 e 10 (Figura 3) depois de isolado a falta, foi necessário manobrar 1 chave não-automática e 2 chaves automáticas.
- O tempo computacional para chegar à solução foi em média 10 ms, mas o importante é o tempo gasto pelas equipes de campo realizarem as manobras, pois enquanto isso as partes sãs do SD permanecem desligadas esperando as habilidades técnicas dos operadores.

7.2 Metodologia proposta

Simulando a mesma falta para o SD em análise, utiliza-se o AEMT-SND juntamente com o Conversor de RNP, no qual considera o SD Automático na primeira etapa, e o SD Completo na segunda etapa. Na Etapa 1, os resultados para obtenção da solução *ind_sol* foram:

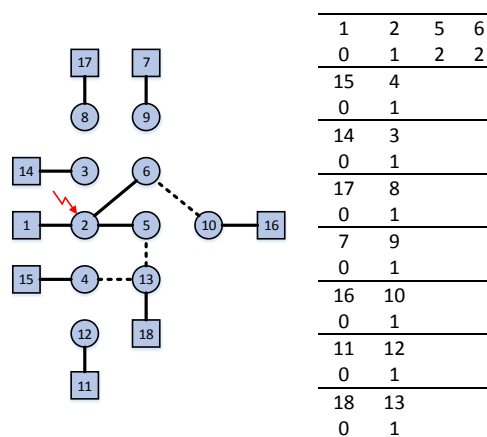


Figura 5: Topologia inicial (SD Automático) e suas RNPs.

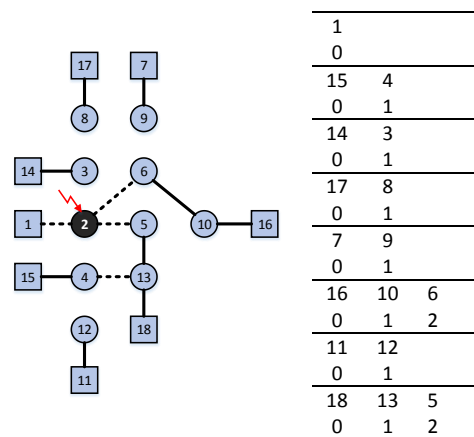


Figura 6: Topologia *ind_sol* (SD Automático) e suas RNPs.

- Para restabelecer os setores automáticos "sãos" 5 e 6 (Figura 5) depois de isolado a falta, foi necessário manobrar 2 chaves automáticas.
- O tempo computacional para chegar nesta solução foi em média 7 ms, destacando que todas estas manobras foram feitas remotamente por

equipamentos automatizados, dispensando equipes de campo para realizar tais manobras.

Portanto, chega-se a uma solução emergencial utilizando apenas chaves automáticas. E para melhorar ainda mais a solução, aplica a Etapa 2 (depois de ser realizado o *link* pelo Conversor de RNP), pois ainda pode existir subsetores (setores convencionais) do setor automático 2 que podem ser restabelecidos, como mostra a Figura 7, os setores 6 e 7, são partes que ainda podem ser restabelecidas por chaves automáticas e/ou não automáticas. E depois de aplicado esta etapa, a solução final encontrada pela metodologia proposta foi a mesma encontrada na metodologia tradicional (Figura 4).

Na Etapa 2, os resultados para obter a melhor solução foram:

- Para restabelecer os setores completos “sãos” 6 e 7 (Figura 7) depois de isolado a falta, foi necessário manobrar 1 chave não-automática e 1 chave automática.
- O tempo computacional para obter a solução foi em média 8 ms.

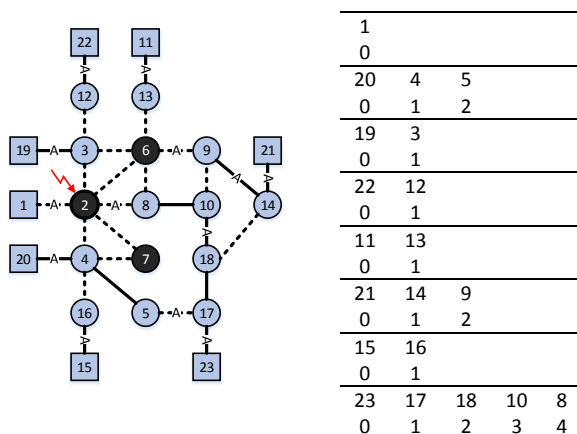


Figura 7: Topologia *ind_sol* (SD Completo) e suas RNPs.

8 Conclusões

Nesse artigo foi apresentada uma extensão da metodologia AEMT-SND, que possibilita, num primeiro momento, a obtenção de planos de restabelecimento de energia considerando apenas chaves automáticas. Em seguida, a fim de diminuir o número de consumidores afetados pela falta, a metodologia estendida possibilita ainda a obtenção de planos de restabelecimento fazendo uso de chaves automáticas e não automáticas.

Para possibilitar a extensão do AEMT-SND, foi desenvolvido um *link* entre as duas maneiras distintas de representar um SD, que é o Conversor de RNP. Essa ferramenta permite que o AEMT-SND encontre duas soluções sucessivas para o problema tratado.

Desta forma, depois de concluído as duas etapas do processo de restabelecimento, o trecho em falta isolado é o menor possível, e com a grande vantagem de que em um primeiro instante (Etapa 1) o AEMT-

SND estendido isola a falta e restabelece as partes sãs utilizando somente chaves automáticas. Dessa forma, não necessita de equipes de campo para realizar as manobras, este procedimento otimiza muito o processo de restabelecimento. Outra grande vantagem é que depois deste primeiro instante, em que o problema é resolvido de forma emergencial, o AEMT-SND é executado novamente para isolar a menor parte possível do “grande setor” em falta, assim, não prejudicando os “subsetores” sem defeito que foram isolados emergencialmente.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, e à FAPESP pelo apoio financeiro dado para esta pesquisa.

Referências Bibliográficas

- Carreno, E. M., Romero, R., & Padilha-Feltrin, A. (2008). An Efficient Codification to Solve Distribution Network Reconfiguration for Loss Reduction Problem. *Power Systems, IEEE Transactions on*, 23(4), 1542–1551.
- Deb, K., 2001. Multi-objective optimization using evolutionary algorithms.
- Delbem, A., De Carvalho, A., Policastro, C., Pinto, A., Honda, K., & Garcia, A. (2004). Node-Depth Encoding for Evolutionary Algorithms Applied to Network Design. In K. Deb (Ed.), (Vol. 3102, pp. 678–687). Springer Berlin / Heidelberg.
- Kagan, N., 1999. Configuração de Redes de Distribuição através de Algoritmos Genéticos e Tomada de Decisão Fuzzy.
- Kumar, Y., Das, B., & Sharma, J. (2008). Multi-objective, Multiconstraint Service Restoration of Electric Power Distribution System With Priority Customers. *Power Delivery, IEEE Transactions on*, 23(1), 261–270.
- Mansour, M.R. et al., 2010. Node-depth Encoding and Evolutionary Algorithms applied to service restoration in distribution systems. *Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE*, pp.1–8.
- Sanches, D.S. et al., 2012. Análise Comparativa entre Algoritmos Evolutivos Multi-Objetivos Aplicados ao Problema de Redução de Perdas em Sistemas de Distribuição de Grande Porte. In *Congresso Brasileiro de Automática - CBA 2012*. pp. 1–8.
- Santos, A.C. et al., 2010. Node-Depth Encoding and Multiobjective Evolutionary Algorithm Applied to Large-Scale Distribution System Reconfiguration. *Power Systems, IEEE Transactions on*, 25(3), pp.1254–1265.
- Shirmohammadi, D. et al., 1988. A compensation-based power flow method for weakly meshed distribution and transmission networks. *Power Systems, IEEE Transactions on*, 3(2), pp.753–762.