

Leonardo Henrique Tomassetti Ferreira Neto	Daimon Engenharia e Sistemas	lferreira@daimon.com.br
André Meffe	Daimon Engenharia e Sistemas	andre.meffe@daimon.com.br
Rodrigo Carareto	Daimon Engenharia e Sistemas	rodrigo.carareto@daimon.com.br
Carlos César Barioni de Oliveira	Daimon Engenharia e Sistemas	barioni@daimon.com.br
Alden Uherara Antunes	Daimon Engenharia e Sistemas	alden@daimon.com.br
Daniel Desidério Grego	Daimon Engenharia e Sistemas	daniel@daimon.com.br
Alvaro de Freitas Garcez Neto	Companhia Sul Sergipana de Eletricidade	alvaro.garcez@sulgipe.com.br

Modelo Robusto para Determinação do Sequenciamento Ótimo de Manobras em Redes Primárias de Distribuição

Palavras-chave

Otimização

Reconfiguração

Sequenciamento Ótimo de Manobras

Área de Influência

Resumo

Este artigo tem como objetivo apresentar uma ferramenta computacional de apoio ao planejamento do sistema de distribuição desenvolvida em projeto de pesquisa e desenvolvimento da empresa Sulgipe, tendo como principal foco a busca por uma nova configuração de rede, que atenda critérios técnicos pré-estabelecidos, obtidos por métodos heurísticos, juntamente com a determinação da sequência viável de manobras, que não transgrida aos critérios técnicos principais de carregamento dos transformadores de subestações, níveis de tensão e carregamento da rede de distribuição e desligamento de clientes prioritários. Em suma, a utilização desta ferramenta computacional permite uma análise detalhada do processo de sequenciamento de manobras visando a garantia da qualidade e conformidade dos serviços prestados durante todo o processo de manobra da rede.

1. Introdução

Ao longo dos anos, o crescimento acentuado da carga (que muitas vezes apresenta-se elástico em relação ao crescimento econômico) bem como a existência pregressa de cenários de escassez financeira para viabilizar a expansão otimizada do sistema de distribuição, pode conduzir a situações onde o atendimento de um determinado

conjunto de cargas não se configura pelas melhores opções de circuitos primários existentes. Visando a minimização das consequências de tais ações, e a melhoria do desempenho técnico correspondente em termos de volume de perdas, perfil de tensão e limites de carregamento admissíveis, diversas metodologias de reconfiguração de rede foram estudadas e aperfeiçoadas.

Entretanto persiste uma dificuldade fundamental para as distribuidoras no momento de efetivá-las, uma vez dada uma configuração de circuitos de distribuição final a ser efetuada em campo, não é conhecido o sequenciamento de manobras que minimiza os impactos operativos e sua quantidade de desligamentos. Neste contexto, há situações onde o conjunto requerido de reconfigurações a serem efetuadas para se obter a otimização operativa dos alimentadores primários determinada por um algoritmo de simulação que não tenha ponderado esses critérios restritivos, pode conduzir a quantidade de desligamentos ou a situações proibitivas de carregamento dos circuitos que tornam, na prática, inexecutável a correspondente operação.

Desta forma, o presente trabalho se destina à conceituação e desenvolvimento de uma metodologia robusta de planejamento que visa integrar o processo de obtenção da rede alvo com seu sequenciamento ótimo de manobras para sua efetivação. Dentre as inúmeras possibilidades de obtenção da rede alvo, destaca-se a metodologia do estabelecimento da área de influência otimizada das subestações. Há algoritmos clássicos que se apoiam basicamente na respectiva distância do conjunto de cargas (em geral, representadas por quadrículas de dimensões pré-definidas) até as respectivas fontes (subestações). Não havendo, assim, uma vinculação efetiva com a rede de distribuição existente.

Buscando uma melhor flexibilidade e diversidade de aplicações deste método, foi proposto um modelo mais robusto que conjuga esta concepção com o caminhar elétrico existente até as subestações, tanto no que tange ao comprimento de rede correspondente até a fonte, quanto em relação à impedância elétrica total resultante. Desta forma, o algoritmo visa otimizar, tanto a localização das subestações (o conjunto de clientes atendidos deve ser tal que a subestação se situe próximo ao respectivo centro de carga) quanto à configuração dos respectivos circuitos de modo a viabilizar um atendimento adequado.

Visando a obtenção de diversos cenários e diversificação da rede final, permitindo assim melhores opções de escolha para o planejador, implementou-se também a metodologia de reconfiguração via algoritmos genéticos, sendo esta uma classe de algoritmos de otimização que empregam mecanismos probabilísticos de busca de soluções, baseado no processo de evolução biológico, combinando aspectos da mecânica da genética e da seleção natural de indivíduos. Tal concepção metodológica e respectivo desenvolvimento computacional proporcionam relevantes contribuições à atividade de planejamento das concessionárias como:

- Estudos de otimização do sistema de distribuição, fornecendo as orientações para a busca de configurações ideais dos circuitos em conformidade com a respectiva área de influência das subestações;
- Obtenção do sequenciamento das manobras requerido, que minimiza o número de desligamentos e impacto operacional.
- Melhoria da qualidade de fornecimento de energia elétrica;

2. Desenvolvimento

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, as seguintes diretrizes metodológicas foram seguidas:

- Caracterização do perfil da carga atendida pelos alimentadores no que tange a presença de clientes prioritários, em particular, os que apresentem cargas sensíveis, ou da classe industrial que não podem prescindir do fornecimento contínuo de energia elétrica.
- Concepção da metodologia de determinação da rede alvo.

- Concepção da metodologia de determinação do melhor sequenciamento de manobras da rede.

Quanto ao fato da caracterização do perfil de carga, foi realizado o levantamento das redes da Sulgipe, bem como a de seus consumidores, verificando assim padrões e características, no que tange ao número de clientes prioritários, características de consumo, presença de cargas sensíveis, clientes industriais e respectivos processos produtivos, para minimizar o número de desligamentos da mesma. Assim, verificou-se também a quantidade de transformadores de distribuição que atendem os grupos A4, B1 e iluminação pública, e a quantidade de consumidores por atividade.

Concepção da metodologia de determinação da rede alvo.

Foram implementadas duas metodologias de determinação da rede alvo, sendo elas:

- Estudo pela área de influência, modelo em que é necessário que o planejador realize as obras na rede até ser atingida uma topologia satisfatória.
- Estudo por reconfiguração, modelo em que a determinação das manobras é determinada pela heurística do algoritmo genético.

A área de influência de subestações é um modelo utilizado para estudos de planejamento por áreas geográficas, para isso a área de estudo é recortada em quadriculas com formas e tamanhos apropriados para o planejador. Cada quadricula associa a totalidade de consumidores de sua região e indica, de forma gráfica, qual subestação alimenta este conjunto de consumidores. Sendo assim, o modelo contém uma divisão do mapa da região de concessão da Sulgipe em quadriculas fixas, localizadas geograficamente através das informações espaciais de seus vértices, como mostra a Figura 1.

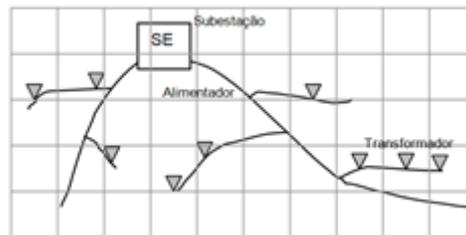


Figura 1 - Representação das quadriculas

Foram desenvolvidas três alternativas de determinação da área de influência: menor distância geográfica com penalidade, menor caminho de rede e menor caminho de rede ponderado pela resistividade do cabo.

O método tradicional de cálculo da área de influência realiza a vinculação de quadriculas de forma a minimizar a distância geográfica à subestação. Nesta etapa deve-se considerar o carregamento das subestações para que não haja sobrecarga de nenhuma delas. O processo de otimização é realizado seguindo os seguintes passos:

1. Verificar se a potência total de todas as subestações é maior ou igual à potência da carga, para garantir a convergência do algoritmo;
2. Admite-se que todas as subestações possuam potência infinita, e em seguida, associa-se cada quadricula a subestação mais próxima;
3. Para esta configuração, verifica-se qual subestação ultrapassou o volume de carga suportável, considerando sua potência nominal;
4. Para as subestações sobrecarregadas, penalizam-se as distâncias elevando-se a altura geográfica onde se encontra a subestação, desta forma, as quadriculas que estão à borda de sua área de influência passam a ficar mais longe;
5. Associam-se, novamente, as quadriculas à subestação mais próxima; (nesta etapa as quadriculas que

ficaram mais longe de uma dada subestação, devido ao passo anterior, foram transferidas para as subestações vizinhas);

6. Repetem-se as etapas 3,4 e 5 até que todas as subestações estejam com níveis de carregamento admissíveis.

Visando um melhor aproveitamento e diversificação das aplicações de tal ferramenta, foram realizadas modificações na metodologia tradicional, permitindo que a otimização seja realizada através do caminho de rede, considerando assim a distância elétrica entre a quadrícula e a subestação, uma vez que devido à forma como a rede foi construída, a menor distância geográfica entre uma quadrícula e a subestação nem sempre corresponde a uma menor distância elétrica. Tendo isto em mente foram propostas duas formulações distintas.

Para a implementação destas duas variantes, a rede é representada por uma lista de adjacências, que é uma forma de representação de grafo na qual cada nó armazena uma lista com todos os outros nós ligados a ele. Nela, cada barra é representada por um nó, e a distância de cada subestação a todos os nós é determinada pelo algoritmo de Dijkstra, que calcula o caminho de custo mínimo entre vértices de um grafo. A metodologia segue o seguinte princípio:

1. Uma subestação ainda não verificada da rede é selecionada para análise e definida como nó de partida.
2. Determina-se a distância entre a subestação e cada nó que possua ligação com o de partida e ainda não tenha sido um, atualizando o valor caso a distância obtida seja menor que alguma já determinada anteriormente.
3. Dentre os nós cujas distâncias foram determinadas no passo anterior, toma-se aquele cuja distância é a menor como nó de partida e repete-se o passo II, até que todos os nós da rede sejam escolhidos.

As duas metodologias desenvolvidas apresentam o mesmo conceito. A associação das quadrículas é feita levando-se em conta os circuitos que as atravessam, de modo que cada quadrícula é associada à subestação cujo circuito seja o mais curto dentre os existentes. Entretanto em um dos casos a distância elétrica é ponderada pela resistividade do cabo, de forma que circuitos que possuam cabos de maior diâmetro terão uma distância aparente menor que circuitos de mesmo comprimento, mas com diâmetros menores.

Em ambos os casos o processo é feito conforme os seguintes passos:

1. Considerar todas as chaves existentes na rede como estando fechadas.
2. Identificar os circuitos que passam por cada quadrícula.
3. Determinar as distâncias às subestações seguindo cada circuito até a subestação correspondente.
4. Associar cada quadrícula à subestação que apresentar a menor distância dentre as determinadas anteriormente.

Uma vez calculada a área de influência da subestação, metodologia que apresenta um indicativo da melhor distribuição de carga para a subestação, é necessário que o planejador realize as obras pertinentes para obter uma topologia alvo. Tais obras são sugeridas de forma que a rede final seja igual, ou o mais próximo possível, da rede otimizada. As obras sugeridas são: inserção de chaves e extensão de rede, permitindo assim a manobra de blocos específicos da rede. De forma a complementar tal processo, a reconfiguração via algoritmo genético foi desenvolvido.

O algoritmo genético é uma classe particular de algoritmos evolutivos que usa técnicas inspiradas pela biologia evolutiva de seleção natural de Darwin. Representam uma classe de algoritmos de otimização que empregam mecanismos probabilísticos de busca de soluções, baseado no processo de evolução biológico, combinando aspectos da mecânica da genética e da seleção natural de indivíduos. Os elementos que definem um estado do problema formam uma população, representados por cromossomos. Estes por sua vez, são representados por genes. Assim, utilizando-se

alguns conceitos de hereditariedade como cruzamento, mutação e seleção natural dos mais aptos após algumas gerações, espera-se encontrar as melhores soluções.

O algoritmo genético pode utilizar um número fixo de indivíduos na população de cada geração, sendo que cada um deles designa uma combinação de reforços candidatos no planejamento. Na presente análise cada indivíduo é representado matematicamente por meio de uma string em que cada posição ou bit assume valores 1 ou 0 identificando, respectivamente, a implementação ou não do reforço candidato. O funcionamento do algoritmo pode ser sintetizado a partir dos passos básicos apresentados no fluxograma da Figura 2.

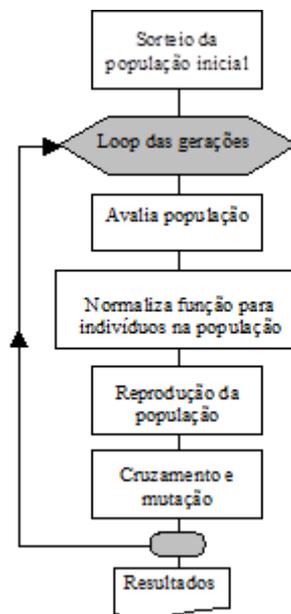


Figura 2 - Passos básicos do algoritmo genético.

A simulação de uma rede de distribuição de energia elétrica pode ser realizada através da representação de uma string. Na analogia com a Genética, a string seria o cromossomo, enquanto que o bit, por sua vez, seria o gene. Assim, a informação contida no gene corresponderia ao tipo de ramo (com chave fechada: bit = 1, ou com chave aberta: bit = 0), utilizando a codificação binária convencional. Uma rede de distribuição, desta forma, é representada, para cada configuração, com uma sequência de genes (bits) de "0" e "1".

Concepção da metodologia de determinação do melhor sequenciamento de manobras da rede.

O processo de sequenciamento de manobras visa, por meio da análise das características técnicas e físicas da rede de distribuição, garantir que em nenhum momento da operação das manobras diversos critérios sejam infringidos, sendo eles:

- Desempenho operacional: Respeito aos critérios técnicos de planejamento e operação;
- Minimização de trechos sujeitos a desligamentos a partir da análise do perfil da carga;
- Configuração atual da rede de distribuição e propriedades de seus dispositivos de manobra: Chaves com ou sem automação, interligação de alimentadores e constituição física dos circuitos;
- Minimização da quantidade de chaves a ser manobrada;
- Garantia da radialidade do sistema em todo processo de manobra;

Para a avaliação do desempenho operacional é necessária a utilização do cálculo de fluxo de carga, optou-se pela utilização do Método da Varredura, uma vez que, entre as premissas do problema, em nenhum momento a radicalidade da rede pode ser violada e tal método é uma ferramenta rápida e precisa para o cálculo de redes com esta propriedade.

Devido à característica de crescimento exponencial das soluções, é impossibilitada a utilização de processos de

otimização que visam a enumeração explícita do problema, sendo necessárias, portanto, ferramentas mais sofisticadas para a obtenção da resposta desejada e que não demandem de um tempo de processamento computacional excessivo. A solução encontrada para realizar esta tarefa, foi a utilização da metodologia da busca Branch-and-Bound, que permite a busca somente de parte do espaço de soluções implicitamente.

Este processo de otimização tem como princípio básico a obtenção da solução ótima enumerando apenas parte do conjunto de soluções possíveis, dividindo, assim, o problema em subproblemas, encontrando as soluções deles, e então combinando elas, obtém a solução global. O método inicia-se considerando o problema original com todas as possíveis soluções, dito nó raiz, de uma representação em grafo. Em seguida, são aplicados procedimentos que calculam limitantes superior e inferior para o nó raiz. Se estes limites forem iguais, então uma solução ótima foi encontrada e o procedimento termina. Caso contrário, o problema é dividido em subproblemas, para cada nó filho, como representado pela Figura 3.

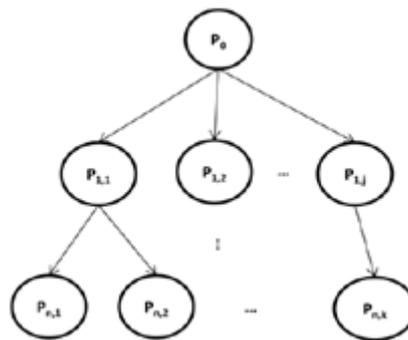


Figura 3 - Árvore de subproblemas

O algoritmo é aplicado recursivamente, gerando assim a árvore de subproblemas. Quando a solução ótima de um subproblema é encontrada, os demais subproblemas deixam de ser considerados. A decisão de criar ou não novos subproblemas, depende das soluções dos subproblemas associados aos nós da árvore.

No âmbito do sequenciamento, cada subproblema é representado por uma manobra a ser realizada. A função objetivo é definida como a minimização da quantidade de clientes interrompidos durante o processo de reconfiguração. E As restrições aplicadas são de sobrecarga de equipamentos, queda de tensão e atendimento de clientes prioritários. Normalmente, a restrição de sobrecarga é rígida, não é permitido nenhum percentual de sobrecarga nos elementos da rede, para reconfiguração em regime normal de operação, e flexível em situações de contingência, ou seja, ela não é desejável, mas até certo nível pode ocorrer. Já a restrição de queda de tensão está relacionada à qualidade de energia elétrica. Como não é necessária a determinação do sequenciamento de manobras ótimo (global), bastando a determinação de um sequenciamento que viabilize a obtenção da configuração pretendida, pode ser, então, aplicado o algoritmo B&B para busca de uma única solução ótima.

Para a determinação da sequência de manobras da rede, é necessário avaliar todas as manobras, até que se atinja a configuração de rede desejada. Para cada configuração (cada subproblema) verifica-se o atendimento de clientes prioritários, caso haja o desligamento destes, esta configuração considerada inviável. Em seguida é verificada a satisfação das outras restrições através do cálculo de fluxo de potência, também se excluindo caso algum dos critérios seja desrespeitado. Esta metodologia avalia cada configuração de rede pela busca em profundidade na árvore de subproblemas, ou seja, é analisado o subproblema que acabou de ser inserido na árvore. Com isso, se o nó resolvido não for podado (atingir um critério limitante) o próximo nó escolhido será um de seus filhos. Caso não se chegue à configuração desejada (uma solução ótima) ou se encontre uma configuração indesejada (solução infactível), retorna-se à última configuração (subproblema pai) e escolhe-se outra configuração de rede (subproblema irmão), como apresenta a Figura 4.

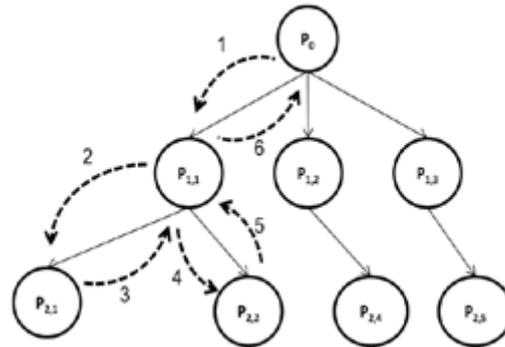


Figura 4 - Processo de caminho na árvore de subproblemas

Estudo de Caso

Para o estudo em pauta, a região elétrica escolhida foi toda rede fornecida pela Sulgipe, o que inclui, no total, seis subestações e vinte e cinco circuitos.

A primeira etapa a ser realizada é a identificação da rede alvo, para tal pode-se utilizar ambas as metodologias implementadas, inicialmente realizaremos pelo método de área de influência e, para tal é necessário, de antemão, ajustar os parâmetros de cálculo: tamanho da quadrícula e o carregamento máximo das subestações. O tamanho da quadrícula é responsável pelo grau de detalhamento e sensibilidade da resposta, por sua vez ajustar o carregamento máximo da subestação permite simular as melhores configurações para diversas potências. Após esta etapa é possível selecionar a metodologia de cálculo (distância euclidiana ou distância elétrica), na Figura 5a e Figura 5b apresentam as respostas de tais métodos.

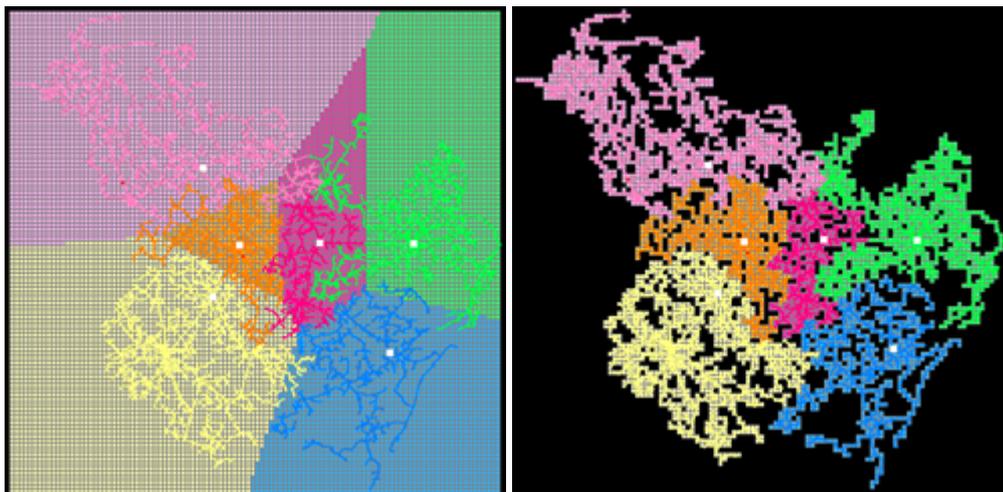


Figura 5 - a) Rede após o cálculo da área de influência pela distância euclidiana. b) Rede após o cálculo da área de influência pela distância elétrica

Nota-se que, cada subestação é vinculada a uma cor, e, em determinados locais, a rede de uma subestação ultrapassa sua área de influência, nestes pontos são sugeridas a realização de obras, como visualizada na Figura 6.

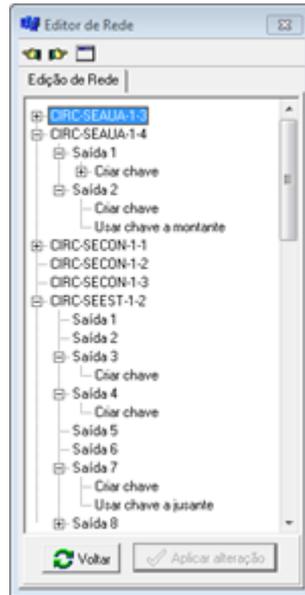


Figura 6 - Editor de rede

Para cada obra realizada é realizada a validação da rede atual, verificando assim novas sugestões de obras, em possíveis novos pontos de transgressão da área de influência, desta forma a rede tende a se assemelhar cada vez mais à área de influência otimizada. Observa-se que nesta metodologia é de suma importância os conhecimentos técnicos do planejador, uma vez que, cabe a ele verificar se a obra sugerida é factível e necessária para obter os objetivos desejados.

Uma vez atingida a rede alvo, por meio da realização das obras sugeridas, dá-se início à etapa principal do estudo, ou seja, o cálculo e a validação do sequenciamento. Existem duas possíveis respostas para esta etapa:

- A viabilidade do sequenciamento, e, portanto, uma sequencia de manobras, Figura 7;
- A inviabilidade do sequenciamento.

Código Chave	Estado Inicial	Estado Final	Sequência
7CF220085	Fechada	Aberta	1
chv.6	Aberta	Fechada	2
7CF720069	Fechada	Aberta	3
chv.4	Aberta	Fechada	4
7CF720067	Fechada	Aberta	5
chv.3	Aberta	Fechada	6
7CF220084	Fechada	Aberta	7
chv.1	Aberta	Fechada	8

Figura 7 - Sequencia de manobras

Uma vez que não há sequencia viável, é apresentado o relatório do sequenciamento, Figura 8a e Figura 8b, que detalham os pontos de transgressão dos limites técnicos que inviabilizaram o sequenciamento, indicando assim os motivos e possíveis soluções para a viabilização do mesmo. Conhecendo tais motivos, é possível corrigir e/ou realizar novas modificações/obras para solucionar tais problemas, e conseqüentemente, viabilizar as manobras.

Nota-se que, neste caso, sem a existência da metodologia de sequenciamento seria impossível verificar que as manobras desejadas implicariam em situações indesejáveis na rede elétrica. Alternativamente à metodologia de área de influência, outra opção para a utilização do sequenciamento é através da reconfiguração, que é realizada de forma independente. E, diferentemente deste processo, que possui como base de estudo as subestações, a reconfiguração realizando todas as análises tendo como base os alimentadores.

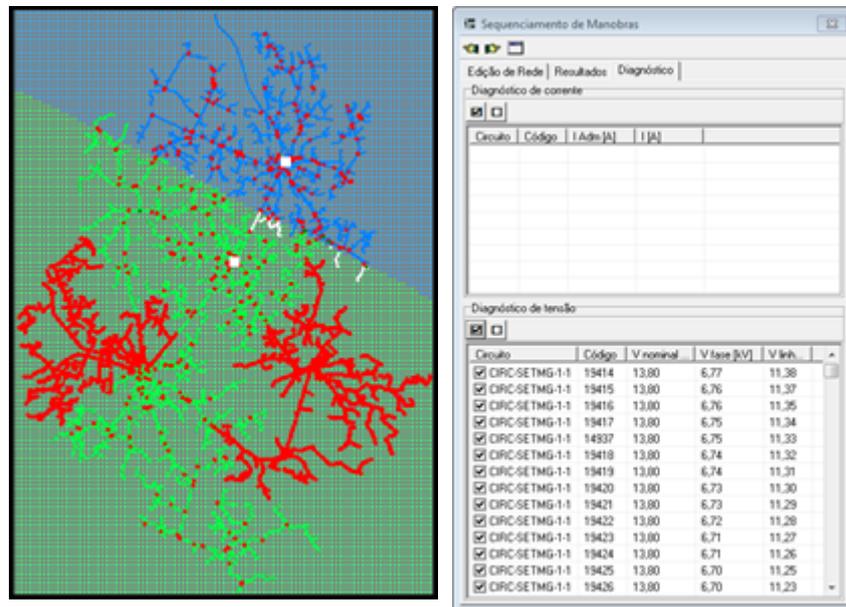


Figura 8 - a) Rede com transgressão dos limites técnicos. b) Diagnóstico das transgressões

Nesta metodologia o operador não possui o controle da rede alvo, sendo ela calculada para minimizar a função objetiva, que pode ser parametrizada conforme as necessidades e demandas da distribuidora, sendo seus parâmetros:

- Custos de investimentos e perdas;
- Carregamento da rede;
- Nível de tensão nas barras;
- Índices de confiabilidade do sistema;

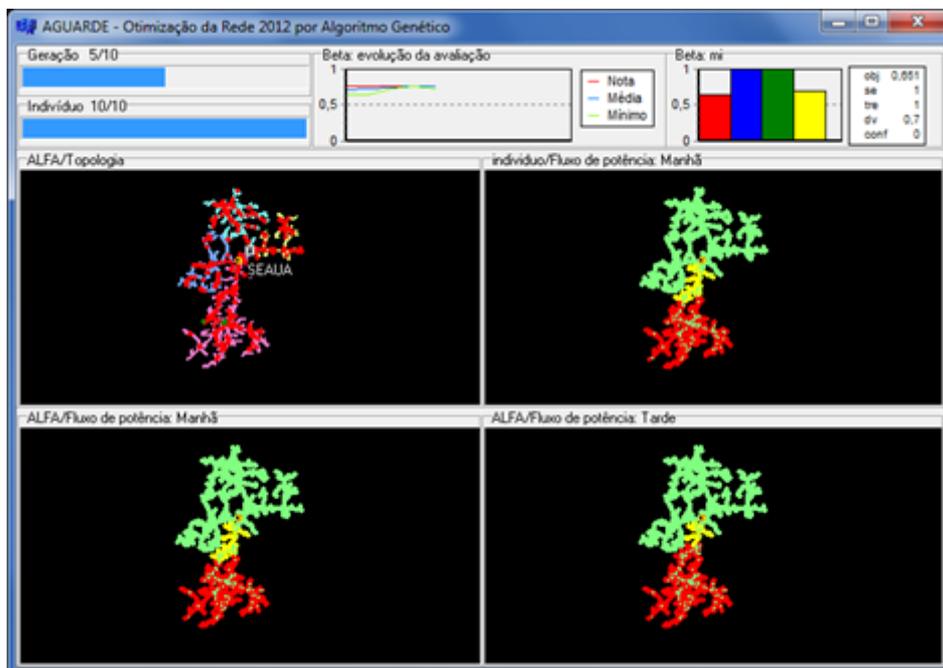


Figura 9: Processo de reconfiguração

Durante todo o processo de cálculo, é mostrada a configuração atual da rede, assim como seu fluxo de potência, Figura 9. Ao término da reconfiguração é mostrada a configuração final, e conseqüentemente as chaves que devem ser manobradas para atingir tal topologia. Desta forma é possível dar início ao processo de sequenciamento, que possui as mesmas propriedades de cálculo e configurações de resposta que no caso do cálculo via área de influência.

3. Conclusões

A ferramenta computacional desenvolvida neste projeto provou ser uma potente ferramenta de análise para que o planejador tenha a indicação da melhor seqüência de manobras a serem realizadas, a identificação das restrições operativas, a criação de cenários de estudo pela edição da rede e aplicação virtual de obras.

O funcionamento da metodologia foi validado pela aplicação em redes de teste com diversas características comprovando os resultados esperados e o desempenho desejado em termos de processamento. Os testes em área piloto foram separados por cada técnica. A área de influência foi aplicada em todas subestações simultaneamente, apresentando ótimos resultados pela distância dos conjuntos de cargas (balanceamento ótimo do carregamento entre as subestações). Já para o caminho elétrico, não houve uma alteração significativa, visto a necessidade da conectividade da rede (existência de chaves de manobra entre circuitos). A reconfiguração de rede foi aplicada em cada subestação separadamente, também apresentando propostas de melhores configurações topológicas. O sequenciamento de manobras foi aplicado em cada técnica, contudo não foram encontradas soluções viáveis devido às restrições técnicas. Assim foram identificados os locais que necessitam de obras de melhorias para viabilização das manobras.

Ressalta-se que existem na literatura técnica diversos trabalhos que versam sobre o problema de reconfiguração de redes primárias, porém, a grande maioria dos modelos fornece como principal resultado o estado final das chaves de seccionamento e manobra (condição aberta ou fechada) não indicando, entretanto, o sequenciamento das ações requeridas para se atingir tal configuração, o que indica a grande relevância deste projeto.

Os produtos desenvolvidos proporcionam benefícios diretos para todos os agentes envolvidos (instituições de pesquisa, concessionária e setor elétrico) não havendo restrições quanto ao âmbito de aplicação, dado que podem ser utilizados nas áreas de planejamento e pré-operação das distribuidoras, e como instrumentos de análise em serviços de consultoria pelas executoras. Em particular, o software desenvolvido poderá ser implantado em qualquer distribuidora brasileira, bastando realizar as modificações necessárias nas interfaces com os sistemas corporativos, pois, dada a dinâmica evolutiva do sistema de distribuição, a busca de configurações otimizadas dos alimentadores primários representa a ação de planejamento de curto prazo mais relevante visando mitigar as violações de critérios técnicos, bem como situações de suprimento das cargas por fontes menos propícias.

4. Referências bibliográficas

BALAS, E., "Optimum Seeking with Branch and Bound," *Manage. Sci.* 13:B176-B185, (1966)

LAWLER, E. L.; WOOD, D. E. "Branch-and-Bound Method: A Survey," *Oper. Res.* 14:699-719, 1966.

KOHLER, W. H.; STEIGLITZ, K. "Characterization and Theoretical Comparison of Branch-and-Bound Algorithms for Permutation Problems," *JACM* 21:140-156, 1974.

BENITO, B. R.; SILVA, L. G. W.; MANTOVANI, J. R. S., "Metaheurística GRASP Dedicada à Solução do Problema de Alocação e Realocação de Chaves de Manobras em Alimentadores e Radiais de Distribuição de Energia Elétrica", XVII Congresso Brasileiro de Automática, Juiz de Fora-MG, Set. 2008.

CARRENO, E. M.; MOREIRA, N.; ROMERO, R., "Distribution Network Reconfiguration Using an Efficient Evolutionary Algorithm", IEEE PES General Meeting, 2007.

KAGAN, N.; OLICEIRA, C. C. B., "Reconfiguração de Redes de Distribuição de Energia Elétrica através de Ferramenta para Solução de Problemas de Decisão com Múltiplos Objetivos e Incertezas", *SBA Controle & Automação*, Vol. 9, no 1, pp. 18-30, Jan., Fev., Mar. e Abr. 1998.

ELETROBRÁS - CODI, "Planejamento de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. São Paulo", Edgard Blücher, 1983.

ARAÚJO, A. S.; AMORIM, J. M. S.; GUSMÃO, F.; SAUVÉ, J. P.; FIGUEIREDO, J. C. A.; ROCHA NETO, E.; NICOLETTI, P. S., "Smart Action – Determinação Inteligente de Ações para Recomposição da Rede de Transmissão de Energia", IV CITENEL (Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, Araxá-MG, 2007.

BONTRIDDER, Koen M.J.; LAGEWEG, B.J. ; LENSTRA, J. K.; JORLON, J. B.; STOUGIE, L; "Branch-and-Bound Algorithms for the Test Cover Problem". *ESA 2002, LNCS 2461*, pp. 223–233, 2002. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002.
