



**XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil**

Dário Takahata	Nerivaldo Santos Pires	Matias Soares Neto
Daimon Engenharia e Sistemas	Companhia Energética do Maranhão	Companhia Energética do Maranhão
dario@daimon.com.br	nerivaldo.pires@cema- ma.com.br	matias.neto@cema- ma.com.br

Mario Miguel Filho	Anderson Hitoshi Uyekita	Leonardo Henrique Tomassetti Ferreira Neto
Daimon Engenharia e Sistemas	Daimon Engenharia e Sistemas	Daimon Engenharia e Sistemas
mario@daimon.com.br	anderson.uyekita@daimon.com.br	lferreira@daimon.com.br

Otimizador de Manobras em Redes de Distribuição Usando Alimentadores em Configuração Radial ou Paralela

Palavras-chave

Busca em profundidade
Manobra de chaves
Otimização

Resumo

Este artigo apresenta uma metodologia para a otimização de manobras na rede de distribuição de energia elétrica por ocasião de um defeito, ou para a realização de um desligamento programado. Adicionalmente, além de estudar um modelo teórico para a solução do problema de otimização de manobras, foi desenvolvido um correspondente software para estudos de viabilidade de alternativas de manobras emergenciais e programadas em redes de distribuição, considerando possibilidades de interligação em paralelo de alimentadores.

A metodologia e particularmente o software, foi desenvolvido procurando-se levar em conta, na medida do possível, as particularidades, tanto do mercado atendido, dos dispositivos de manobra utilizados pela concessionária, bem como seus procedimentos operacionais. Desta forma, foi elaborada a ferramenta

computacional denominada CemOp para os propósitos específicos deste projeto os quais são: agilidade para a solução do problema, sinergia entre turmas de operação e COD e alternativas de manobras.

1. Introdução

As interrupções no fornecimento de energia elétrica surgem quando ocorre um defeito, como por exemplo, um curto-circuito fase-terra devido ao rompimento de um condutor, ou para que sejam realizados serviços de manutenção preventiva nos componentes da rede. Nos dois casos, deve-se dispor de um plano de manobras para restringir-se ao mínimo, a área a permanecer desenergizada. De uma maneira geral, as seguintes ações devem ser tomadas quando ocorre um defeito num ponto qualquer da rede:

- Identificação do local onde o defeito ocorreu. Em redes não automatizadas, esta atividade é feita por uma equipe de manutenção, que percorre a rede até visualizar o defeito e/ou o dispositivo de proteção que operou;
- Isolar a menor parte possível do sistema, pela abertura das chaves mais próximas;
- Sinalizar chaves normalmente abertas que não podem ser operadas enquanto o defeito não for sanado, através da colocação de bandeirolas de aviso. Esta ação tem por objetivo garantir a segurança da equipe de manutenção que irá fazer os reparos na rede;
- Manobrar chaves que permitam restabelecer o suprimento à montante e/ou à jusante do bloco isolado. Obviamente, estas manobras não são efetuadas se a rede puder ser recuperada rapidamente;
- Correção do problema;
- Novas manobras de chaves para retornar ao estado normal do sistema (ocasião em que o paralelismo de circuitos poderá ocorrer).

Com os estudos e pesquisas realizados para solucionar a questão da otimização de manobras, chegou-se ao modelo de otimização da configuração topológica da rede de distribuição, que está apresentado no item E.

A solução do problema da reconfiguração de redes elétricas foi encontrada, utilizando-se uma metodologia mista, compreendendo um processo de busca de soluções, utilizando-se a técnica de busca em profundidade pelo método do gradiente, aliada a um ranqueamento de alternativas baseada na programação linear inteira mista.

Adicionalmente, para auxiliar na busca de soluções foi utilizada a estratégia construtiva. Ressalte-se que o procedimento da busca de soluções, sob o ponto de vista da topologia da rede de distribuição, pode ser dividido em duas etapas:

I. Inicialmente, deve-se efetuar as manobras de chaves necessárias para isolar o bloco da rede onde ocorreu o defeito, bem como a sinalização das chaves NA de socorro interno ou externo que se ligam ao bloco e que não podem ser fechadas enquanto o defeito não for sanado. Em seqüência, deve-se reconfigurar o restante do sistema;

II. Para esta segunda etapa, o problema foi modelado utilizando-se uma estratégia, na qual atribui-se o estado NA para todas as chaves que podem ser utilizadas, e se procede a um fechamento sucessivo de chaves até se alcançar uma possível solução com rede radial.

2. Desenvolvimento

A. Dados de Entrada

Os dados de entrada para a elaboração da ferramenta CemOp foram os seguintes:

- Rede de média tensão da CEMAR a partir do acesso à base de dados GEOREDE, que possui os dados topológicos da rede;
- Também foram obtidas as informações de consumo mensal dos transformadores de distribuição, demandas contratadas/medidas nos consumidores primários através do sistema comercial da concessionária;
- As leituras de medições de correntes dos alimentadores na saída da respectiva subestação, para ajuste da demanda dos consumidores, foram obtidas dos sistemas NOTUS e ELIPSE da concessionária. O aplicativo CemOp irá assim, comparar o resultado do carregamento obtido pelo programa de fluxo de potência, baseado nas curvas de carga das unidades consumidoras, com as medições na saída dos alimentadores, e reajustar automaticamente o carregamento em todos os ramais e tronco, de forma que o carregamento na saída da subestação reflita o valor medido;
- Dados operacionais em tempo real da rede de distribuição da CEMAR (estado das chaves de manobra e localização dos consumidores VIP's) obtidos do sistema OPER.

B. Estrutura Funcional do Software

Está apresentado a seguir, na Figura 1, a estrutura básica funcional do fluxo de dados/informações para a realização da ferramenta computacional CemOp.

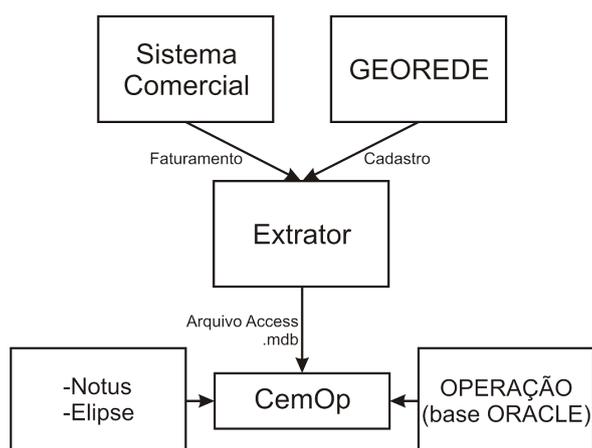


Figura 1: Estrutura Funcional do Simulador de Manobras CemOp.

C. Funcionalidades

São descritas neste item as ações e operações necessárias ao atendimento das ocorrências na rede de distribuição da CEMAR. Estas ações são importantes para o entendimento da metodologia de reconfiguração aplicada ao problema real da operação da rede.

As ações e funcionalidades sequenciais são:

- I. Visualização da rede de média tensão em tempo real, a partir do acesso à base de dados GEOREDE.

São lidos não só os dados topológicos da rede, mas também as informações de consumo mensal dos transformadores de distribuição, demandas contratadas/medidas nos consumidores primários.

As leituras de medições de correntes dos alimentadores na saída da respectiva subestação, para ajuste da demanda dos consumidores, são obtidas dos sistemas ELIPSE e NOTUS da concessionária.

II. Ao receber a confirmação da localização do defeito, o usuário informará, através da interface do modelo computacional, qual o trecho onde ocorreu o defeito. A partir desta etapa, o sistema é capaz de analisar uma possível reconfiguração da rede.

III. O módulo é capaz de, com base em critérios técnicos configuráveis de carregamento, tensão, número de consumidores e corrente máxima permitida no relé da barra inicial do alimentador, indicar quais as melhores manobras e referentes chaves, de forma a isolar o defeito.

IV. O usuário pode também simular manobras manualmente e gerar uma seqüência de abertura e fechamento de chaves.

V. Ressalta-se que a base de dados das instalações (GEOREDE) e o sistema de gerenciamento da rede de distribuição (OPER) não são alterados em nenhuma circunstância, e que possíveis alterações nessas bases deverão ser sempre “espelhadas” para o sistema GEOREDE, pela área de informática da CEMAR.

VI. O sistema então apresenta ao usuário a rede reconfigurada, destacando quais chaves estão temporariamente manobradas (estado normal diferente do estado atual).

D. Métodos de Otimização (KAGAN & KAGAN & SCHMIDT & OLIVEIRA, 2009)

Um problema de busca pode ser visto como um processo de se determinar um percurso, através de uma estrutura em forma de árvore, para se alcançar um estado meta, a partir de um estado inicial.

Uma árvore de busca é um grafo orientado, constituída por nós e arcos, na qual cada nó representa um estado do problema, e cada arco representa como se relacionam os estados referentes aos nós por ele interligados.

Os problemas de busca podem ser divididos em duas categorias: problemas nos quais, soluções viáveis são almeçadas, e problemas que envolvem a otimização de uma ou mais funções objetivo.

Existem inúmeras técnicas de busca, muitas delas sendo variantes de outras.

Algumas delas são sucintamente apresentadas a seguir:

I. Busca em amplitude (breadth-first search): a partir do nó raiz da árvore de busca, que representa o estado inicial do problema, são gerados todos os seus nós sucessores, pela utilização de todas as regras ou operadores possíveis de serem aplicados. Este processo se repete para todos os nós sucessores, até que a aplicação de alguma regra ou operador resulte num estado que corresponda à meta do problema. A Figura 2 a seguir, apresenta o desenvolvimento da árvore de busca. Em problemas de configuração de redes, normalmente é necessário gerar um número muito grande de níveis da árvore, até se alcançar a solução, não sendo portanto uma boa técnica a ser utilizada.

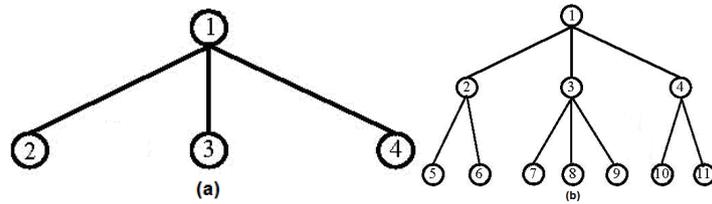


Figura 2: Busca em Amplitude. a) primeiro nível; b) segundo nível

II. Busca em profundidade (depth-first search): a partir do nó raiz da árvore de busca, em cada nível é gerado um único nó sucessor. A pesquisa é feita percorrendo-se a árvore através de um único caminho, até que a solução do problema seja alcançada ou que uma decisão de interromper o caminho seja tomada. Um caminho é interrompido quando se alcança um nó terminal (nó que não corresponde à solução e que não possui sucessores), quando um nó representa um retorno a um estado anterior, ou quando se alcança um estado considerado “pior” (p. ex. mais longo, de maior custo) que algum valor ou solução de referência. Em qualquer destes casos, um procedimento de retrocesso (backtrack) é realizado, retornando-se ao nó imediatamente anterior para a geração de um outro caminho. A Figura 3 apresenta o desenvolvimento da árvore de busca quando esta técnica é utilizada.

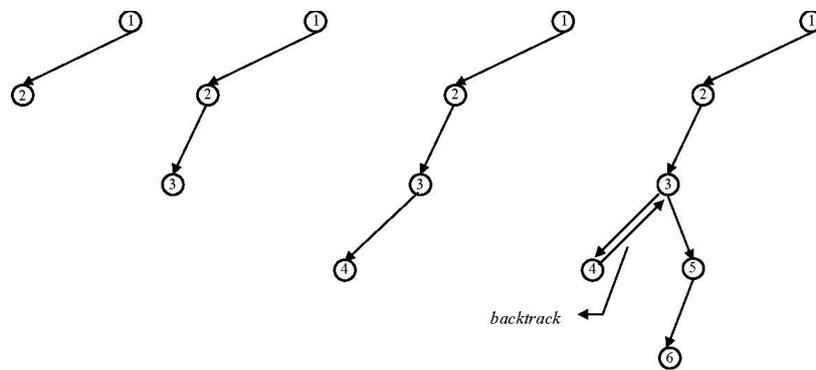


Figura 3: Busca em Profundidade

III. Gerar e testar (generate-and-test): variante da técnica de busca em profundidade, em que se procura avançar por um caminho na árvore de busca, e ao final se verifica se o estado alcançado representa uma solução para o problema. Esta técnica também possui variantes, basicamente definidas pela maneira como os caminhos a serem percorridos são escolhidos. Quando esta escolha é feita de forma randômica, a técnica também é conhecida por *British Museum*, em uma referência a se encontrar uma obra em um museu andando por ele ao acaso.

IV. Escalada da montanha (hill climbing): outra variante da técnica de busca em profundidade, em que se utiliza alguma função heurística para direcionar o processo de busca. Seu nome faz uma alusão a alguém que está perdido e que precisa chegar ao topo de uma montanha; mesmo sem saber o caminho, sabe que se continuar subindo estará indo na direção correta. Nesta técnica, em cada nó da árvore de busca utiliza-se uma função para se avaliar o quanto o estado representado pelo nó está distante do estado-meta. A partir do nó inicial gera-se um sucessor pela aplicação de um operador. Se o nó sucessor representar um estado melhor que o estado corrente, avança-se por este caminho; caso contrário, aplica-se outro operador em busca de um nó mais promissor, e assim por diante.

V. Gradiente (gradient search): variante da técnica de *hill climbing*. Neste caso, em cada nível da árvore de busca, todos os possíveis nós sucessores são avaliados, e o melhor deles é escolhido para ser expandido, desde que represente um estado que seja melhor que o estado

Por outro lado, a utilização de heurísticas deve ser criteriosa pois, com a sua utilização, geralmente não se pode mais garantir que a solução “ótima” seja encontrada e, o que é mais grave, a utilização de heurísticas inadequadas pode levar a soluções errôneas ou mesmo impossibilitar a resolução do problema.

E. Metodologia Concebida para a Otimização de Manobras na Rede de Distribuição (Daimon, 2009)

O problema da reconfiguração de redes elétricas pode ser dividido em duas etapas:

- Inicialmente, deve-se efetuar as manobras de chaves necessárias para isolar o bloco da rede onde ocorreu o defeito, bem como a sinalização das chaves NA de socorro interno ou externo que se ligam ao bloco e que não podem ser fechadas enquanto o defeito não for sanado;
- Em seqüência, deve-se reconfigurar o restante do sistema.

Para a segunda etapa, o problema pode ser modelado de duas maneiras distintas, com a utilização de estratégias construtiva ou destrutiva. Na estratégia construtiva, atribui-se a todas as chaves que podem ser utilizadas o estado NA, e se procede a um fechamento sucessivo de chaves até se alcançar a solução. A estratégia destrutiva utiliza procedimento dual, ou seja, atribui-se a todas as chaves que podem ser utilizadas o estado NF, e se busca a solução através da abertura de chaves até se alcançar a solução.

Para o processo de busca de soluções, utilizou-se a técnica de busca em profundidade pelo método do gradiente.

Para se estabelecer o plano de manobras para a restauração da rede, quatro atributos de otimização foram considerados:

I. O objetivo principal foi o de maximização do número de unidades consumidoras manobradas, para mitigar a abrangência do desligamento;

II. O segundo objetivo considerado como relevante, diz respeito ao tipo de consumidor que será afetado pela transferência de carga;

III. O terceiro objetivo, também considerado como relevante, diz respeito à maximização do atributo operacional, que leva em conta:

- A quantidade de chaves manobradas, e;
- A forma de acionamento da chave (manual local ou através de comando remoto). Ressalta-se que neste último tópico, uma chave telecomandada que estivesse temporariamente desabilitada, por exemplo, devido a algum problema de telecomunicação, teria a mesma nota que uma chave-faca com abertura através de ferramenta load-buster (ambas seriam abertas localmente).

IV. O quarto objetivo, considerado como de menor importância (por se tratar da avaliação de variáveis em um período de curta duração), diz respeito à maximização de um índice técnico de qualidade, que leva em conta os perfis de tensão e o carregamento do sistema resultante, incluindo os alimentadores vizinhos que (eventualmente) tenham recebido parte da carga do alimentador em análise.

F. Avaliadores de Alternativas

O problema assim definido é um problema com múltiplos objetivos. Para a avaliação das soluções, utilizou-se o método da média ponderada, atribuindo-se graus de importância distintos (através de pesos) às quatro

funções objetivo.

Os atributos de otimização foram assim modelados:

I. Quantidade de unidades consumidoras manobradas (Q.C.): Para avaliar este critério proposto, foram atribuídos “índices” para a quantidade de unidades transferidas. Assim:

- Transferência de até 50 UC's: Nota baixa (valor 0);
- Transferência de 51 a 500 UC's: Nota média (valor 5), e;
- Transferência superior a 500 UC's: Nota alta (valor 10).

Assim sendo, *Q.C.* poderá assumir os valores 0, 5 ou 10.

II. Tipo de consumidor afetado pela manobra (T.C.): Para avaliar este critério proposto, foram atribuídos os seguintes “índices”:

- Manobra de carga para alimentador sem consumidor VIP : Nota alta (valor 10), e;
- Manobra de carga para alimentador com consumidor VIP : Nota média (valor 5).

Assim sendo, *T.C.* poderá assumir os valores 10 ou 5.

Ressalta-se que este item foi elaborado para contemplar os efeitos em alguns tipos de carga, que são susceptíveis a variações momentâneas de carga, bem como a quedas significativas de tensão, que poderão causar transtornos, quer seja em regime permanente (podendo causar perda de produção, funcionamento inadequado de aparelhos para suporte de vida, etc.), quer seja durante este transitório (queima de aparelhos, equipamentos, etc.).

III. Atributo operacional (I.O.): Este atributo é composto pelas seguintes variáveis:

- Quantidade de chaves manobradas, e;
- Forma de acionamento das chaves manobradas.

Desta forma, o índice é então calculado pela equação (1):

$$I.O. = \frac{p_{qc} \cdot N_{qc} + p_{fa} \cdot N_{fa}}{p_{qc} + p_{fa}} \quad (1)$$

Onde :

- N_{qc} e N_{fa} : Notas de quantidade de chaves manobradas e forma de acionamento, respectivamente;
- p_{qc} e p_{fa} : Pesos atribuídos para quantidade de chaves manobradas e forma de acionamento, respectivamente.

As notas relativas à quantidade de chaves manobradas e forma de acionamento, por sua vez, são calculadas por:

$$N_{qc} = \frac{N_{qc1} \cdot S_{qc1} + N_{qc2} \cdot S_{qc2}}{S_{qc1} + S_{qc2}} \quad (2)$$

$$N_{fa} = \frac{N_{fa1} \cdot S_{fa1} + N_{fa2} \cdot S_{fa2}}{S_{fa1} + S_{fa2}} \quad (3)$$

E sendo:

- N_{qc1} e N_{qc2} : Notas atribuídas para a quantidade de chaves manobradas:
 - Até 3 chaves manobradas: Nota alta (valor 10), e;
 - Mais de 3 chaves manobradas: Nota baixa (valor 5)
- N_{fa1} e N_{fa2} : Notas atribuídas para o tipo de acionamento das chaves:
 - Remoto: Nota alta (valor 10), e;
 - Local: Nota baixa (valor 5).
- S_{qc1} e S_{qc2} : Cargas manobradas com até 3 chaves ou com mais de 3 chaves;
- S_{fa1} e S_{fa2} : Cargas à jusante da manobra que foi realizada remotamente ou localmente;

IV. *Índice técnico de qualidade (I.T.)*: Este índice é calculado pela média ponderada entre duas notas e seus respectivos pesos:

- *Nível de tensão*: A nota é obtida pela distribuição da carga em função de 3 faixas de tensão (crítica, precária e adequada);
- *Carregamento*: A distribuição dos carregamentos também é dividida em 3 faixas (alto, médio, baixo).

Desta forma, o índice é então calculado pela equação (4):

$$I.T. = \frac{p_v \cdot N_v + p_c \cdot N_c}{p_v + p_c} \quad (4)$$

Onde :

- N_v e N_c : São as notas de tensão e carregamento, respectivamente;
- p_v e p_c : São os pesos atribuídos para tensão e carregamento, respectivamente.

As notas de tensão e de carregamento, por sua vez, são calculadas por (5) e (6):

$$N_v = \frac{N_{v1} \cdot S_{v1} + N_{v2} \cdot S_{v2} + N_{v3} \cdot S_{v3}}{S_{v1} + S_{v2} + S_{v3}} \quad (5)$$

$$N_c = \frac{N_{c1} \cdot S_{c1} + N_{c2} \cdot S_{c2} + N_{c3} \cdot S_{c3}}{S_{c1} + S_{c2} + S_{c3}} \quad (6)$$

E sendo:

- N_{v1} , N_{v2} e N_{v3} : Notas atribuídas para as faixas de tensão 1 (crítica), 2 (precária) e 3 (adequada): Valores 0, 5 ou 10, respectivamente;
- N_{c1} , N_{c2} e N_{c3} : Notas atribuídas para as faixas de carregamento 1 (carregamento inferior a 70%), 2 (carregamento entre 70% e 100%) e 3 (carregamento superior a 100%): Valores 10, 5 ou 0, respectivamente;
- S_{v1} , S_{v2} e S_{v3} : Cargas atendidas nas faixas de tensão 1, 2 e 3, respectivamente;
- S_{c1} , S_{c2} e S_{c3} : Cargas atendidas nas faixas de carregamento 1, 2 e 3, respectivamente.

Poder-se-ia contemplar um outro critério, qual seja, perdas técnicas. Porém, para os objetivos deste projeto de P&D, a questão das perdas não será considerada, visto que as manobras realizadas para a mitigação dos desligamentos irão reconfigurar alimentadores por apenas algumas horas (tempo necessário para encontrar o defeito, realizar manobras e promover o reparo do item com defeito, no caso de atendimento emergencial).

Finalmente, o Índice de Mérito (I.M.) de uma alternativa é calculado pela equação (7):

$$I.M. = \frac{p_q \cdot Q.C. + p_t \cdot T.C. + p_{I.O.} \cdot I.O. + p_{I.T.} \cdot I.T.}{p_q + p_t + p_{I.O.} + p_{I.T.}} \quad (7)$$

Onde :

- Q.C., T.C., I.O. e I.T : São os atributos de otimização, relativos a quantidade de consumidores manobrados, tipo de consumidor afetado pela manobra, índice operacional e índice técnico de qualidade, respectivamente;
- PQ, PT, P.I.O. e P.I.T. : São os graus de importância dos atributos, representados por peso.

Ressalta-se que o peso atribuído aos índices de mérito será avaliado no decorrer dos testes de implementação, através de consultas à concessionária para mensurar se os parâmetros adotados estão produzindo soluções compatíveis com a realidade.

Na ferramenta de otimização também serão consideradas algumas restrições que limitarão o tipo de solução a ser avaliada, tais como:

- As soluções candidatas sempre contemplarão o retorno às suas configurações normais;
- O paralelismo entre alimentadores será contemplado somente através de chaves que estão à montante de reguladores de tensão.

Adicionalmente, já na etapa de campo, ressalta-se que após a apresentação das soluções candidatas pelo simulador de manobras, a concessionária também deverá observar algumas restrições de caráter operacional, que limitarão o tipo de solução a ser avaliada, tais como:

- Descartar a(s) solução(ões) em que há falha/perda de telecomunicação entre o COD e as equipes de emergência, ou entre o COD e os equipamentos de manobra remotamente telecomandados;
- Descartar solução(ões) em que não foram verificadas as condições operativas dos alimentadores envolvidos, instantes antes da manobra de paralelismo, evitando-se assim casos de religamento de circuitos que estavam interrompidos, minutos antes.

G. Caso Exemplo

A seguir, são ilustradas as ações propostas para a reconfiguração de um sistema de distribuição.

Como exemplo de aplicação do software CemOp, está apresentado a seguir, um caso de socorro realizado pelo alimentador RNC-01C4 (em rosa) da subestação RNC, devido a um defeito ocorrido no bloco “33806” do circuito SLF-01C4 (em azul), da subestação SLF, ambos localizados na área da Grande São Luís – MA, conforme apresentado na Figura 5 a seguir.

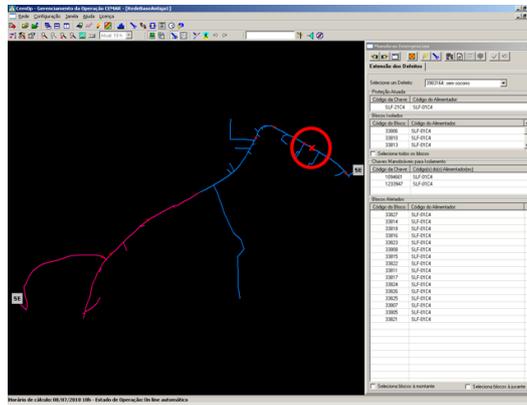


Figura 5: Simulação de Defeito no Bloco “33806”, do Alimentador SLF-01C4.

As Figura 6a e 6b mostram os blocos atingidos à montante e à jusante, respectivamente.

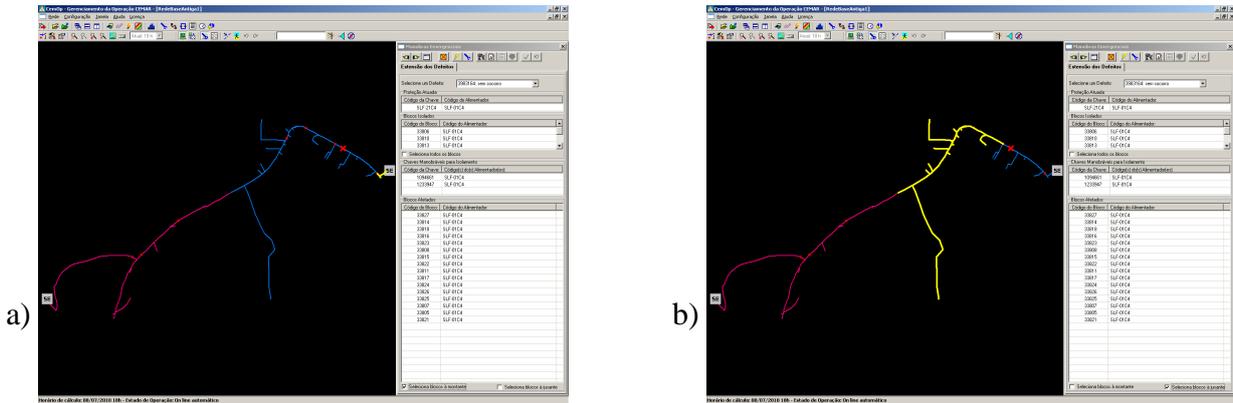


Figura 6: a) Blocos à Montante Afetados pelo Defeito no Alimentador SLF-01C4; b) Blocos à Jusante Afetados pelo Defeito no Alimentador SLF-01C4.

Clicando-se no botão de reconfiguração automática (), o aplicativo CemOp apresentou como melhor solução, a Alternativa #1, conforme apresentado na Figura 7a, com as seguintes manobras : Fechamento da chave 0022144, Abertura da chave 1233947 e Abertura da chave 1094661. Executando-se as manobras descritas pela Alternativa #1, ao clicar-se o ícone  tem-se a nova configuração proposta conforme a figura 7b.

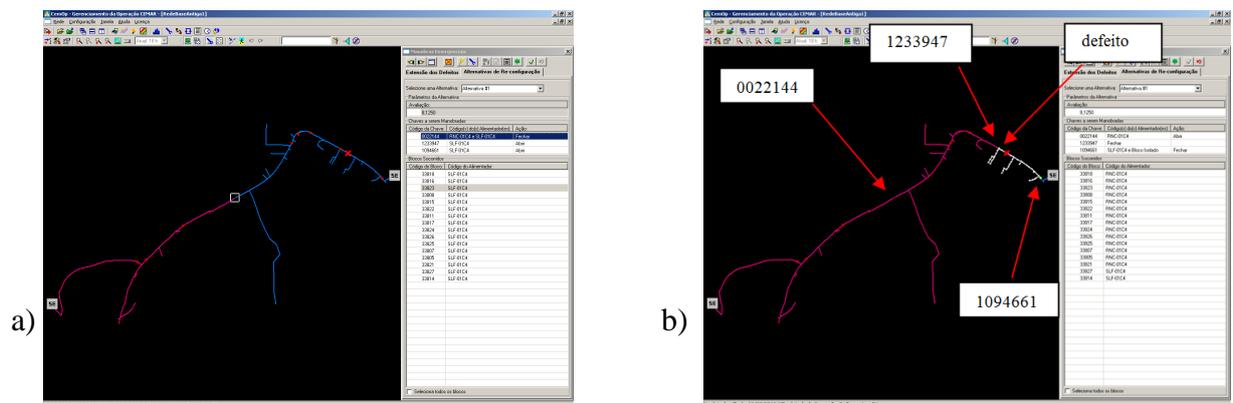


Figura 7: a) Manobras Sugeridas da Alternativa #1 para Recompôr o Sistema; b) Nova Configuração, Conforme Manobras Sugeridas pela Alternativa #1.

Verifica-se que o alimentador RNC-01C4 socorre o alimentador SLF-01C4, adquirindo as cargas

compreendidas entre a chave de interligação 0022144 e a chave 1233947. Neste caso, as cargas localizadas entre a chave 1233947 e a chave 1094661 serão restabelecidas após o conserto do defeito.

3. Conclusões

O aplicativo CemOp apresenta uma evolução na operação em tempo real do COD da CEMAR, uma vez que apresenta alternativas de manobra de forma imediata em resposta aos registros de ocorrências de interrupção registrados pela concessionária.

Dessa forma, permite-se que dados tipicamente de Planejamento, como carregamento, níveis de tensão e perdas, devidamente corrigidos pelos dados de medições na saída dos alimentadores nas subestações, sejam agregados a dados de caráter operacional, como quantidade de consumidores afetados por manobras, quantidade e tipo de chaves manobradas, além de levar em consideração a importância dos consumidores envolvidos nas manobras, possam ser relevados através de pesos atribuíveis a cada uma das variáveis, de forma a indicar qual(is) a(s) melhor(es) manobra(s) que possa(m) isolar um determinado defeito.

Adicionalmente, vislumbra-se a possibilidades de novos desenvolvimentos e continuidade da pesquisa sobre o tema abordado, de forma a aprimorar as alternativas de manobra da ferramenta, quer sejam de caráter emergencial ou programado. Neste âmbito, vislumbra-se a alternativa adicional das manobras realizadas nos barramentos das subestações, que podem socorrer alimentadores supridos por outros barramentos de média tensão. Logicamente, esta solução deve contemplar também, a capacidade de carregamento do transformador de potência remanescente, cuja condição operativa poderá ser proibitiva, tornando, na prática, inexecutável a operação.

4. Referências bibliográficas

Esta seção apresenta as referências bibliográficas que deram suporte técnico e/ou científico ao trabalho.

Livros:

KAGAN, N.; KAGAN, H.; SCHMIDT, H. P.; OLIVEIRA, C. C. B. "Métodos de Otimização Aplicados a Sistemas Elétricos de Potência ", Editora Blucher, 2009.

Relatórios Técnicos:

DAIMON - Engenharia e Sistemas, "RT-4 : Especificação do Modelo de Análise de Manobras Emergenciais", Projeto de P&D : Simulador de Manobras Emergenciais em Redes de Distribuição Usando Alimentadores em Paralelo – CEMAR, São Paulo, julho de 2009.