



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

ADILSON VIEIRA	Carlos Eduardo Ferreira Soares	Anderson Hitoshi Uyekita
Companhia Energética de Pernambuco	Companhia Energética de Pernambuco	Daimon Engenharia e Sistemas
avieira@celpe.com.br	carlos.soares@celpe.com.br	anderson.uyekita@daimon.com.br

Dario Takahata	Andre Meffe	Saulo Cabral e Silva
Daimon Engenharia e Sistemas	Daimon Engenharia e Sistemas	Companhia Energética de Pernambuco
dario@daimon.com.br	andre.meffe@daimon.com.br	scabral@celpe.com.br

Alocador Otimizado de Chaves Automatizadas em Redes de Distribuição de Energia

Palavras-chave

Algoritmo Genético
Alocação Otimizada
Chaves Automáticas
Índices de Confiabilidade

Resumo

Para melhorar a eficiência na distribuição de energia elétrica, bem como promover uma melhor satisfação no atendimento aos consumidores, o uso de automação nas chaves atualmente, vem se tornando cada vez mais comum nas empresas distribuidoras do setor elétrico. Desta forma, neste projeto foi realizado o desenvolvimento de uma ferramenta computacional de alocação de chaves automatizadas em uma área piloto da concessionária, na qual foram instaladas 10 chaves. Eventualmente, este software poderá ser utilizado na alocação de outras chaves automáticas na área de concessão da CELPE, em futuras simulações. A alocação otimizada de chaves automáticas foi embasada na avaliação dos níveis de tensão das barras, no carregamento dos trechos, nos índices de confiabilidade, nas perdas, compensações pecuniárias individuais pagas às unidades consumidoras interrompidas e na consideração da interrupção em consumidores VIP's. O processo de alocação de chaves automatizadas teve como processo de otimização, o Algoritmo Genético que

fornece resultados e avaliações da melhor localidade de instalação das chaves e, com base nesses resultados, promover o melhoramento dos índices de confiabilidade da concessionária.

1. Introdução

Atualmente, a maioria dos dispositivos de manobra das concessionárias de energia elétrica são operadas manualmente, os quais em caso de falta necessitam de equipes de manutenção que percorrerão o alimentador em busca do local da falta. Após a identificação do local da falha, há uma comunicação (via rádio VHF, satélite, celular, etc.) com o Centro de Operações para determinar os procedimentos das ações em campo e coordenação da seqüência de abertura e fechamento das chaves. Ressalta-se que o deslocamento das equipes de manutenção é passível de interferências externas, tais como: tempestades, congestionamentos, quebra de veículos, acidentes de trabalho, falhas de comunicação, longas distâncias e vias de acessos difíceis, podendo assim, tornar esse procedimento muito demorado e causando um aumento no tempo de atendimento e, conseqüentemente, na duração da interrupção.

Com o advento da Resolução nº 024 (ANEEL, 2000), revogada pela Resolução nº 345 (ANEEL, 2008), e posteriores atualizações da mesma, houve um aumento do interesse na melhoria dos índices de qualidade, pois as transgressões desses índices tornaram-se passíveis de multas regulatórias. Uma das soluções para minimizar o impacto das interrupções pode ser o uso de chaves automáticas, as quais transferirão cargas entre alimentadores de forma remota, em caso de falhas, diminuindo a duração da falha. O emprego dessas chaves poderá melhorar a confiabilidade do sistema, principalmente em áreas longe das sedes de manutenção ou de difícil acesso, ou seja, áreas que normalmente possuem tempos de atendimento muito elevados. Devido ao alto custo de cada chave automatizada, não é viável economicamente a alocação generalizada desse tipo de equipamento e, dentro de um orçamento muitas vezes escasso, a alocação de poucas chaves automatizadas deve ser realizada de forma otimizada (SPERANDIO, 2008).

Nota-se que há muitas possibilidades de pontos candidatos para a alocação dessas chaves e a análise combinatória desse tipo de problema é muito complexa, tornando o problema computacionalmente dispendioso e, em alguns casos, com tempo inviável (ARANHA NETO & SPERANDIO & SICA & COELHO & CAMARGO & RAMOS, 2006). No cenário nacional, a utilização de chaves automatizadas e, particularmente daquelas com inteligência intrínseca, não é muito difundida devido ao pouco conhecimento ou custo elevado acerca desse tipo de chave. Adicionalmente, a falta de metodologia para avaliação dos benefícios impossibilita uma avaliação técnico-econômica adequada.

2. Desenvolvimento

O estudo do estado da arte de alocação de chaves automáticas deste trabalho analisou diversas metodologias para alocação de chaves automáticas, optando-se pelo Algoritmo Genético como método de otimização devido aos princípios de aleatoriedade e grande facilidade de fuga de mínimos locais. Algumas referências bibliográficas, do uso desta metodologia, podem ser encontradas nos trabalhos de (CAMPITELLI & SILVA & PEREIRA & MANTOVANI, 2006), (WENYU & JIAN & JIANMIN & HAIPENG & MENG, 2004), (GONÇALVES & LAUBE & HOLSBACH & KAGAN & EL HAGE & KAGAN & ALMEIDA, 2008), (CARRENO & MOREIRA & ROMERO, 2007) e (OLIVEIRA & KAGAN & SCHMIDT KAGAN, 2009).

a) Algoritmo Genético

Trata-se de uma otimização combinatorial na qual buscará uma solução otimizada baseada na Teoria da Evolução, proposto por Charles Darwin, cujos fundamentos teóricos de otimização foram inicialmente apresentados por John Henry Holland em 1975. A Figura 1 apresenta um fluxograma sucinto do algoritmo na qual se tem n gerações.

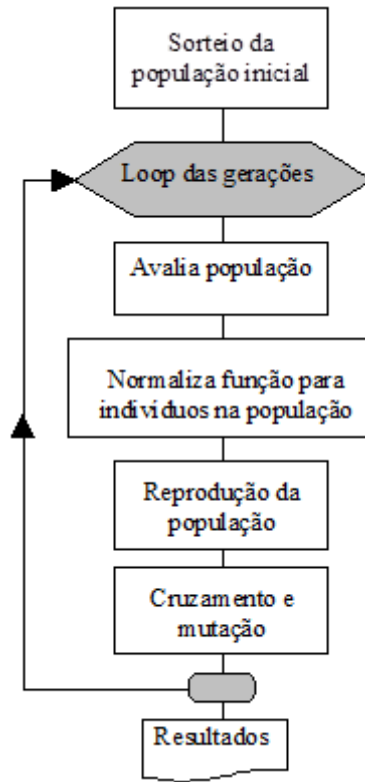


Figura 1. Fluxograma do Algoritmo Genético

O princípio é análogo à adaptação dos seres vivos nos diversos ambientes. Primeiramente, faz-se um sorteio inicial de indivíduos, no qual será feita a população. Desta, selecionam-se os melhores seres adaptados e aplica-se a possibilidade de mutação e cruzamento. Finalmente, avaliam-se todos os indivíduos desta geração e, caso seja atingido o número máximo de gerações, é encontrado o indivíduo mais adaptado. Caso contrário, o ciclo será reiniciado a partir da seleção dos melhores adaptados.

I. Codificação

Define-se como sendo um indivíduo o conjunto dos estados de chaves de uma configuração específica de rede, que será representado por um vetor de tamanho finito. Note-se que a quantidade de configurações possíveis de uma rede implicará diretamente no tempo computacional, para uma dada uma população (isto é, um conjunto de indivíduos). Assim sendo, correspondendo com a genética às boas características de cada configuração correspondem analogamente aos bons genes dos cromossomos. A codificação do algoritmo genético será feito através de um vetor (cromossomo), no qual será dividido em duas partes: Reconfiguração e Chaves Novas. A Figura 2 apresenta o vetor de forma simplificada para um caso de n candidatos e m chaves novas.

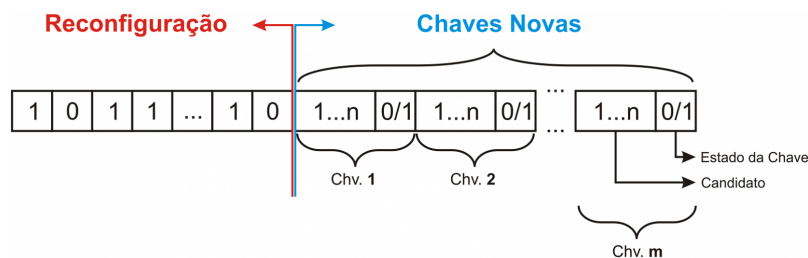


Figura 2. Codificação do Algoritmo Genético

A primeira parte do vetor de codificação será composta das chaves de rede (exceto as de proteção), na qual o estado da chave será definido como 0 ou 1 (aberto ou fechado). A segunda parte será composta pelas novas chaves, nota-se que a estrutura será diferente, pois para cada nova chave instalada será necessário 2 campos do vetor. Isso se deve à aleatoriedade dos candidatos (n candidatos) e do estado da chave (aberto ou fechado).

II. Seleção de Trechos e Chaves Candidatos

O processo de seleção de candidatos poderá ser feito manualmente ou automaticamente.

Manual

O processo manual será realizado selecionando se os trechos e chaves candidatos através do Interplan.

Automático

O processo automático utilizará o conceito de blocos (porção de rede elétrica entre duas chaves ou proteções), conforme apresentado na Figura 3.

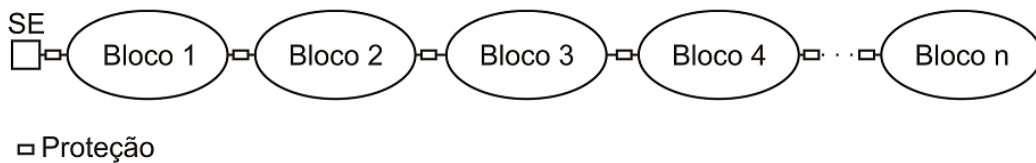


Figura 3: Alimentador Representado pelos seus Blocos

A seleção automática de trechos é baseada na significância do bloco perante o número de falhas total, consumidores total e energia total do bloco. As equações (1), (2) e (3) apresentam o critério de relevância do bloco, caso nenhum dos critérios seja atingido o bloco será desconsiderado.

$$\frac{Falha_{Bloco}}{Falha_{Total}} \geq \Delta_{Mínimo} \begin{cases} \text{Se Verdadeiro, considera - se o Bloco} \\ \text{Se Falso, desconsidera - se o Bloco} \end{cases} \quad (1)$$

Onde:

$Falha_{Bloco}$: total de falhas no bloco do período estudado;

$Falha_{Total}$: total de falhas no alimentador do período estudado.

$$\frac{Consumidores_{Bloco}}{Consumidores_{Total}} \geq \Delta_{Mínimo} \begin{cases} \text{Se Verdadeiro, considera - se o Bloco} \\ \text{Se Falso, desconsidera - se o Bloco} \end{cases} \quad (2)$$

Onde:

$Consumidores_{Bloco}$: total de consumidores no bloco do período estudado;

$Consumidores_{Total}$: total de consumidores no alimentador do período estudado.

$$\frac{Energia_{Bloco}}{Energia_{Total}} \geq \Delta_{Mínimo} \begin{cases} \text{Se Verdadeiro, considera-se o Bloco} \\ \text{Se Falso, desconsidera-se o Bloco} \end{cases} \quad (3)$$

Onde:

$Energia_{Bloco}$: total de energia no bloco do período estudado;

$Energia_{Total}$: total de energia no alimentador do período estudado.

A exceção para a seleção de trechos automaticamente se dá quando o bloco é delimitado por uma chave automática. Neste caso, será sorteado um trecho qualquer dentro do bloco para ser considerado como trecho candidato. No caso de chaves candidatas, todas as chaves de proteção serão candidatas, com a restrição de que se forem em ramais o condutor deverá ser o mesmo que o do tronco. Caso contrário, o candidato será descartado.

b) Seleção dos Indivíduos mais Adaptados

A seleção dos indivíduos será feito através do método do torneio, isto é, escolhe-se 3 indivíduos da população aleatoriamente e seleciona-se apenas o melhor adaptado.

c) Mutação

A mutação possui a finalidade de gerar novos indivíduos que possibilitem uma saída do mínimo local, isto é, tornar a variedade de genes maior.

d) Recombinação

Recombinação ou Cruzamento é necessário para aumentar a variedade de indivíduos, ou seja, para aumentar a variedade de indivíduos melhores adaptados.

e) Avaliação

A avaliação será realizada através de um Índice de Mérito, este é composto pelas notas de tensão, de carregamento, de perdas e de continuidade.

I. Nota de Tensão

As notas de tensão ($N_{tensão}$) são estratificadas em 3 níveis que poderão ser editadas posteriormente. O cálculo da Nota de Tensão é de acordo com a equação (4).

$$N_{Tensão} = \frac{10 \cdot \sum C_{10} + 5 \cdot \sum C_5 + 0 \cdot \sum C_0}{\sum C_{10} + \sum C_5 + \sum C_0} \quad (4)$$

Onde,

$\sum C_{10}$: Somatório das cargas atendidas com tensão adequada;

$\sum C_5$: Somatório das cargas atendidas com tensão precária;

$\sum C_0$: Somatório das cargas atendidas com tensão crítica.

II. Nota de Carregamento

Analogamente a Nota de carregamento (N_{carre}), a Nota de Carregamento é estratificada em 3 níveis que poderão ser editadas posteriormente. O cálculo da Nota de Tensão é conforme a equação (5).

$$N_{carre} = \frac{10 \cdot \sum L_{10} + 5 \cdot \sum L_5 + 0 \cdot \sum L_0}{\sum L_{10} + \sum L_5 + \sum L_0} \quad (5)$$

Onde,

$\sum L_{10}$: Somatório do comprimento de rede atendida com carregamento adequado;

$\sum L_5$: Somatório do comprimento de rede atendida com carregamento precário;

$\sum L_0$: Somatório do comprimento de rede atendida com carregamento crítico.

III. Nota de Perdas

A nota de perdas (N_{carre}) será embasada na diferencia relativa entre a perda inicial (sem nenhuma chave inteligente instalada) e a perda do indivíduo. O cálculo da Nota de Perdas é conforme a equação (6).

$$N_{perdas} = \left(1 - \frac{Perda_{indiv\u00edduo}}{Perda_{inicial}} \right) \cdot 10 \quad (6)$$

Onde,

$Perda_{indiv\u00edduo}$: Perda do Indiv\u00edduo analisado;

$Perda_{inicial}$: Perda da rede inicial.

IV. Nota de Continuidade

O cálculo da Nota de Continuidade será uma composição das notas por DEC, FEC e END fornecidas pelo M\u00f3dulo de Confiabilidade do Interplan, estes s\u00e3o calculados analogamente a nota de perdas. As equa\u00e7\u00f5es (7), (8) e (9) apresentam o c\u00e1lculo das notas de DEC, FEC e END respectivamente.

$$DEC = \left(1 - \frac{DEC_{indiv\u00edduo}}{DEC_{inicial}} \right) \cdot 10 \quad (7)$$

Onde,

$DEC_{indiv\u00edduo}$: DEC do Indiv\u00edduo analisado;

$DEC_{inicial}$: DEC da rede inicial.

$$FEC = \left(1 - \frac{FEC_{indiv\u00edduo}}{FEC_{inicial}} \right) \cdot 10 \quad (8)$$

Onde,

$FEC_{indiv\u00edduo}$: FEC do Indiv\u00edduo analisado;

$FEC_{inicial}$: FEC da rede inicial.

$$END = \left(1 - \frac{END_{indiv\u00edduo}}{END_{inicial}}\right) \cdot 10 \quad (9)$$

Onde,

$END_{indiv\u00edduo}$: END do Indiv\u00edduo analisado;

$END_{inicial}$: END da rede inicial.

Ap\u00f3s o c\u00e1lculo das notas de DEC, FEC e END, pode-se calcular a nota de continuidade, que \u00e9 dada pela equa\u00e7\u00e3o (10).

$$N_{cont} = \frac{k_{dec} \cdot DEC + k_{fec} \cdot FEC + k_{end} \cdot END}{k_{dec} + k_{fec} + k_{end}} \quad (10)$$

Onde,

k_{dec} : Peso do DEC;

k_{fec} : Peso do FEC;

k_{end} : Peso da END.

V. Nota de Compens\u00e7\u00f5es Individuais

As compensa\u00e7\u00f5es individuais (Com_Ind) ser\u00e3o contempladas atrav\u00e9s de uma rela\u00e7\u00e3o de proporcionalidade definida pela equa\u00e7\u00e3o (11), em ser\u00e1 realizada a soma das compensa\u00e7\u00f5es de consumidores de toda a rede em an\u00e1lise.

$$Com_Ind = \sum_j^n \sum_i^m TRANS_{i,j} TUSD_p \cdot E_{i,j} \cdot ke_i \quad (11)$$

Onde,

$TRANS_{i,j}$: Maior Transgress\u00e3o entre DIC, FIC ou DMIC da unidade consumidora i do trafo j ;

$TUSD_p$: TUSD proporcional conforme o tipo de consumidor;

$E_{i,j}$: Consumo mensal da UC i do trafo j (somente parcela da energia);

ke_i : 15 para UC's de BT, e 20 para UC's de MT.

A avalia\u00e7\u00e3o da Nota de Compens\u00e7\u00f5es Individuais (N_{multa}) ser\u00e1 realizada conforme a equa\u00e7\u00e3o (12)

$$N_{multa} = \left(1 - \frac{Comp_Ind_{ind}}{Comp_Ind_{inicial}}\right) \cdot 10 \quad (12)$$

Onde,

$Comp_Ind_{ind}$: Compensações Individuais do Indivíduo analisado;

$Comp_Ind_{inicial}$: Compensações Individuais da rede inicial.

VI. Nota Relativa aos Consumidores VIP's

As notas por consumidores VIP's serão quantificadas conforme atribuições de pesos para os níveis de VIP's. A definição dos pesos para os consumidores VIP's deve considerar as características particulares de cada consumidor com relação à interrupção, pois cada consumidor VIP é afetado diferentemente conforme a frequência de interrupções (FIC), a duração das interrupções (DIC) e a duração máxima contínua (DMIC). Portanto, os parâmetros DIC e FIC do transformador que supre esses consumidores VIP's serão calculados através do Módulo de Confiabilidade do software Interplan. Desta forma, calcular-se-ão os valores de DIC e FIC conforme as equações (13) e (14) respectivamente.

$$DIC_{VIP} = \left(1 - \frac{DIC_{VIP,trafo}}{DIC_{VIP,inicial}} \right) \quad (13)$$

Onde,

$DIC_{VIP,trafo}$: DIC do consumidor VIP conforme o indivíduo analisado;

$DIC_{VIP,inicial}$: DIC do consumidor VIP conforme a rede inicial.

$$FIC_{VIP} = \left(1 - \frac{FIC_{VIP,trafo}}{FIC_{VIP,inicial}} \right) \quad (14)$$

Onde,

$FIC_{VIP,trafo}$: FIC do consumidor VIP conforme o indivíduo analisado;

$FIC_{VIP,inicial}$: FIC do consumidor VIP conforme a rede inicial.

O cálculo do DMIC será estimado a partir da correlação da equação (15)

$$DMIC = f(IFIC) \quad (15)$$

A avaliação para o caso do DMIC seguirá a mesma metodologia para os cálculos de notas de DIC e FIC, e será conforme a equação (16).

$$DMIC_{VIP} = \left(1 - \frac{DMIC_{VIP,trafo}}{DMIC_{VIP,inicial}} \right) \quad (16)$$

Onde,

$DMIC_{VIP,trafo}$: DMIC do consumidor VIP conforme o indivíduo analisado;

$DMIC_{VIP,inicial}$: DMIC do consumidor VIP conforme a rede inicial.

Portanto, está proposta uma ponderação, conforme o que seja mais influente no fornecimento de energia para

cada consumidor VIP. A quantificação dos consumidores VIP's será realizada primeiramente por alimentador (VIP_{alim}) e depois pela rede (VIP_{rede}). As equações (17) e (18) apresentam o cálculo da quantificação de consumidores VIP's por transformador e por alimentador, respectivamente.

$$VIP_{alim} = \sum_{i=1}^n (\alpha \cdot DIC_{apurado} + \beta \cdot FIC_{apurado} + \gamma \cdot DMIC_{apurado}) \cdot P_{Nivel,i} \cdot N_{Nivel,i} \quad (17)$$

Onde,

- $P_{nivel,i}$: Peso do consumidor VIP conforme a prioridade;
- $N_{nivel,i}$: Quantidade de consumidores VIP de nível de prioridade i ;
- a, b e g : Pesos para ponderação de cada nível de consumidor VIP;
- i : tipos de VIP's.

Ressalte-se que os valores de a, b e g serão parametrizáveis pelo usuário.

$$VIP_{rede} = \sum_{j=1}^m VIP_{alim_j} \quad (18)$$

VII. Índice de Mérito (I.M.)

A avaliação é embasada pelo índice de mérito, o qual é composto pelas notas de nível de tensão, carregamento, perdas, continuidade, compensações individuais e consumidor VIP, conforme a equação (19).

$$IM = \frac{N_{tens\tilde{a}o} \cdot k_{tens\tilde{a}o} + N_{carre} \cdot k_{carre} + N_{perdas} \cdot k_{perdas} + N_{cont} \cdot k_{cont} + N_{multa} \cdot k_{multa} + N_{VIP} \cdot k_{VIP}}{k_{tens\tilde{a}o} + k_{carre} + k_{perdas} + k_{cont} + k_{multa} + k_{VIP}} \quad (19)$$

f) Dados de Ocorrências

Neste projeto, dados de ocorrência foram importados para o software Inter-plan. O módulo de confiabilidade e de ocorrências calculará os índices de confiabilidade DEC, FEC e END, que serão utilizados na avaliação do indivíduo. Além das taxas de falhas que serão utilizadas para determinação dos trechos e chaves candidatos. Ressalta-se que há a possibilidade de edição das taxas de falhas manualmente, através das configurações de parâmetros.

g) Módulo de Alocação de Chaves Automáticas

O Módulo de Alocação de Chaves Automáticas será embasado nos dados de rede (carregamento, nos dados de histórico de ocorrências, no nível de ten-são e perdas), nas compensações individuais (valores estimados) e nos consumidores VIP's. A Figura 6 apresenta um sucinto fluxograma do funcionamento do módulo de alocação de chaves automáticas.

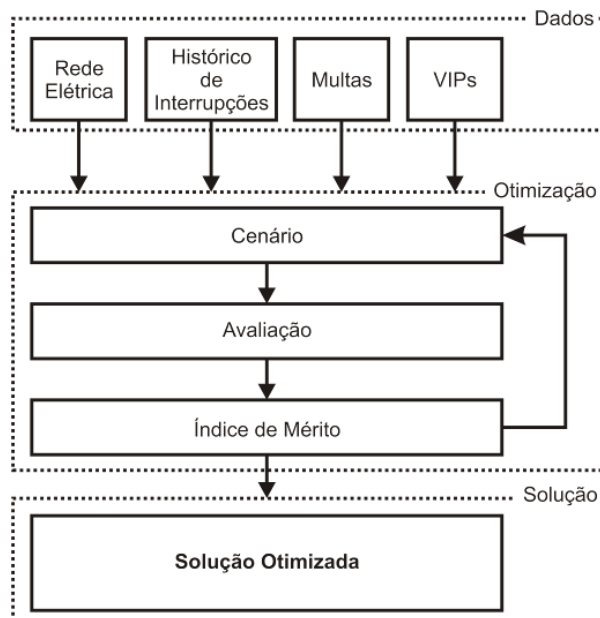


Figura 4: Fluxograma do Módulo de Alocação de Chaves Automáticas

Note-se que o módulo de alocação de chaves automáticas é dividido em 3 níveis, onde:

Dados: Tem-se a inserção de dados de rede elétrica, histórico de ocorrências, compensações e consumidores VIP's.

Os cálculos de DEC, FEC e END serão calculados conforme os dados de histórico de ocorrência, através do cálculo de taxa de falhas entre os trechos.

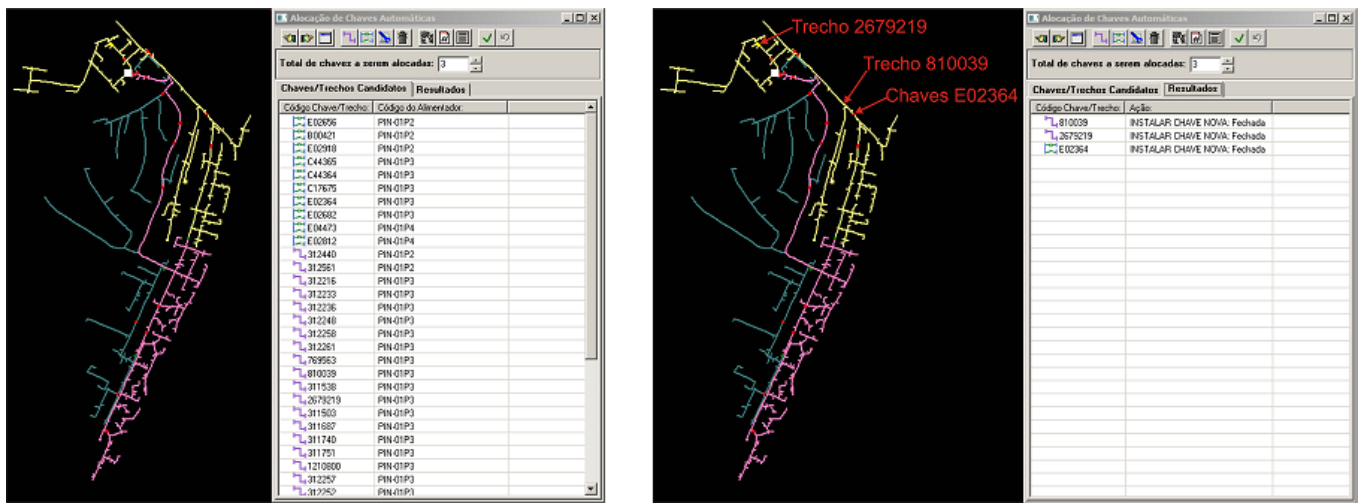
As compensações individuais serão estimadas utilizando-se um valor aproximado da TUSD de cada classe de consumo (residencial B1, comercial/industrial B3 e rural B2), bem como dos valores estimados de DIC, FIC e DMIC de cada transformador de distribuição.

Os dados de consumidores VIP's foram obtidos através do cadastro do sistema GSE da concessionária.

Otimização: Nesta etapa ocorre o processo de otimização, onde serão criados diversos indivíduos (Cenário) e posteriormente avaliados (Avaliação). O Índice de Mérito selecionará o indivíduo mais adaptado para as seguintes gerações.

Solução Otimizada: Apresenta a solução otimizada fornecida pelo Algoritmo Genético.

Aplicação do módulo desenvolvido (caso teste) – O caso teste a seguir, apresenta um exemplo da aplicação do módulo computacional desenvolvido. Foram selecionados os circuitos PIN-02, PIN-03 e PIN-04 para a instalação de 3 chaves automáticas, conforme apresentado na Figura 5a. A Figura 5b apresenta a solução encontrada pelo módulo computacional, alocando 3 chaves automáticas, sendo uma no trecho 2679219, outra no trecho 810039, e a terceira em substituição à chave de manobra com comando local E02364.



(a)

(b)

Figura 5: a) Circuitos PIN-02, PIN-03 e PIN-04, com Lista de Trechos e Chaves Candidatos para Instalação de 3 Chaves Automáticas; b) Solução Encontrada pelo “Módulo de Alocação de Chaves Automáticas”

3. Conclusões

Este trabalho apresentou resultados relevantes tanto em termos conceituais (estudo de metodologias de otimização), quanto em relação ao desenvolvimento de um produto efetivo (software de alocação otimizada de chaves automatizadas, dentro do ambiente Interplan, denominado “Módulo de Alocação Automática de Chaves”). O tema da alocação otimizada de chaves de distribuição constitui-se num dos tópicos que mais afetam a área de Planejamento da Operação de uma concessionária de energia elétrica, pois tem conseqüências diretas, por exemplo, na continuidade do fornecimento de energia elétrica aos seus clientes.

Neste quadro, a ferramenta desenvolvida considera aspectos operativos relevantes, como a possibilidade de realizar manobras telecomandadas, porém contemplando também, a salvaguarda de consumidores considerados VIP’s. O aplicativo “Módulo de Alocação Automática de Chaves”, apresenta uma evolução dentro da ferramenta computacional Interplan, uma vez que apresenta uma proposta de alocação de chaves na rede de distribuição primária da concessionária, utilizando-se de conceitos de otimização baseados em Algoritmo Genético, que avalia resultados provenientes da simulação de fluxo de potência, tais como, carregamento, queda de tensão e perdas; além de índices de Confiabilidade, tais como duração e frequência equivalentes da interrupção; valores pecuniários pagos aos consumidores e da severidade da interrupção em consumidores prioritários.

Ressalte-se que o resultado das simulações pode apresentar apenas pequenas melhorias devido à baixa quantidade de indivíduos (configurações da rede elétrica simulada) e gerações (quantidade de seleções, cruzamentos e mutações) utilizados nas simulações, o que acarreta convergências somente em máximos locais. Uma solução para isso seria a utilização de mais indivíduos e gerações nas simulações. Entretanto, o tempo computacional utilizado para simulação varia de forma exponencial com a quantidade de indivíduos e gerações, podendo inviabilizar resultados de soluções mais expeditas.

Vislumbra-se ainda a possibilidade de melhorias no aplicativo, de forma a diminuir o tempo computacional e produzir resultados com Índices de Mérito mais significativos. Neste contexto, os resultados obtidos podem certamente, proporcionar o estudo e implementação de novos modelos e ferramentas computacionais, bem como subsidiar o desenvolvimento de trabalhos acadêmicos, a partir da utilização dos modelos teóricos e módulos computacionais elaborados.

4. Referências bibliográficas

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

Regulamentação Federal:

ANEEL – Resolução Normativa no 024, de 27 de janeiro de 2000.

ANEEL – Resolução Normativa no 345, de 16 de dezembro de 2008.

Artigos em Anais de Conferências (Publicados):

SPERANDIO, M.; “Planejamento da Automatização de Sistemas de Manobra em Redes de Distribuição”, UFSC - Florianópolis, Dezembro, 2008.

ARANHA NETO, E. A. C.; SPERANDIOS, M.; SICA, E. T.; COELHO, J. ; CAMARGO, C. C. B; RAMOS, R.; “Planejamento da Alocação de Chaves Automatizadas Considerando os Índices de Confiabilidade e Qualidade”, SENDI XVII, agosto, 2006

CAMPITELLI, E. M.; SILVA, L. G. W.; PEREIRA, R. A. F.; MANTOVANI, J. R. S., “Sistema Inteligente para Alocação, Especificação, Coordenação e Seletividade da Proteção em Redes Aéreas de Distribuição de Energia Elétrica”. XVII SENDI, 2006, Belo Horizonte - MG, 2006.

WENYU, Y.; Jian, L.; JIANMIN, Y.; Haipeng, D.; MENG, S., "Optimal Allocation of Switches in Distribution Networks", Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation, Jun. 2004.

GONÇALVES, G. A.; LAUBE, L. I.; HOLSBACH, I. L.; KAGAN, N. ; OLIVEIRA, C. C. B.; EL HAGE, F. S.; KAGAN, H.; ALMEIDA, C. F. M., "Sistema de Planejamento para Melhoria dos Indicadores de Continuidade com Visão Integrada da Expansão, Proteção e Causas dos Desligamentos do Sistema Elétrico", XVIII SENDI (Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica), Olinda-PE, Out. 2008.

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

Livros:

OLIVEIRA, C. C. B.; KAGAN, N.; SCHMIDT, H. P.; KAGAN, H.; "Métodos de Otimização Aplicados a Sistemas Elétricos de Potência", Editora Blucher, 2009, p. 108-111.