

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Energia e
Automação Elétricas

ISSN 1413-2214
BT/PEA/0424

Algoritmos Genéticos e
Variantes na Solução de
Problemas de Configuração de
Redes de Distribuição

Eduardo Prevedello Bento
Nelson Kagan

São Paulo – 2004

1458884

O presente trabalho é um resumo da dissertação de mestrado apresentada por Eduardo Prevedello Bento, sob orientação do Prof. Dr. Nelson Kagan: "Algoritmos Genéticos e Variantes na Solução de Problemas de Configuração de Redes de Distribuição", defendida em 22/10/2004, na EPUSP.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição com o autor e na biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica da USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Bento, Eduardo Prevedello

Algoritmos genéticos e variantes na solução de problemas de configuração de redes de distribuição / Eduardo Prevedello Bento, Nelson Kagan. -- São Paulo : EPUSP, 2004

p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas ; BT/PEA/0424)

1. Redes de distribuição de energia elétrica 2. Algoritmos genéticos I. Kagan, Nelson II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas III. Título IV. Série
ISSN 1413-2214

"Algoritmos Genéticos e variantes na solução de problemas de configuração de Redes de Distribuição"

Eduardo Prevedello Bento
epbento@usp.br

Nelson Kagan
nelson.kagan@poli.usp.br

1. RESUMO

Esta pesquisa apresenta uma metodologia para resolução de problemas de configuração de redes de distribuição, com aplicação à minimização de perdas elétricas e implementação de um Algoritmo Genético com alternativas para os operadores genéticos de Seleção, Cruzamento e Mutação. A principal finalidade da implementação destas variantes é melhorar a robustez dos resultados e reduzir os tempos de execução, permitindo que a implementação proposta possa ser convenientemente aplicada à resolução de redes de distribuição com dimensões reais.

Palavras-chave: Minimização de perdas elétricas em redes de distribuição, Otimização, Algoritmos Genéticos.

2. INTRODUÇÃO

Propõe-se neste trabalho uma metodologia para a determinação da configuração ótima de redes de distribuição, utilizando Algoritmos Genéticos (AGs).

Como objetivo importante da pesquisa, destaca-se a análise de diversas variantes do algoritmo genético, como diferentes métodos de seleção (Proporcional ou "Roleta", Torneio e Ranking, com opção Elitista) e cruzamento (Um ponto, Dois pontos, Uniforme e Uniforme com controle estatístico) e controle dinâmico sobre a probabilidade de mutação, aplicado aos indivíduos da população.

Os resultados obtidos com emprego do AG básico são comparados com aqueles obtidos pelas diferentes variantes analisadas, mostrando como estas variantes permitem maior eficiência do processo, alcançando-se soluções otimizadas, e em menor número de gerações, em função do problema a ser tratado e da codificação utilizada para o algoritmo genético. A utilização de codificações melhores, isto é, mais adaptadas ao problema, tende a levar o AG a obterem soluções melhores em menor tempo de processamento.

O trabalho mostra a abordagem do problema de configuração de redes de distribuição para minimização de perdas, mostrando os tempos de processamento e soluções encontradas, com a utilização do AG básico e de suas variantes.

Para a realização destas comparações, uma codificação eficiente é utilizada, baseada em blocos de carga [1], que permite a avaliação de somente soluções radiais e conexas, diminuindo o espaço de soluções possíveis a serem pesquisadas e, conseqüentemente, aumentando a eficiência do algoritmo.

3. OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS

Problemas de otimização são freqüentemente encontrados em diferentes campos técnicos, como Engenharia, Economia, ou mesmo no nosso dia-a-dia. Freqüentemente, os problemas almejam objetivos contraditórios, relacionando custos, prazos, lucros, qualidade, eficiência e outras variáveis.

A formulação de um problema de otimização qualquer envolve a composição de uma função-objetivo, que relacione as diferentes variáveis consideradas, bem como as restrições impostas a cada uma. Otimizar um determinado problema consiste em identificar a solução, ou os respectivos valores para as variáveis consideradas, que maximize ou minimize o valor da função-objetivo, conforme a natureza do problema, de forma que nenhuma outra solução atribua um valor maior ou menor à função, respectivamente, respeitadas as restrições do problema.

Formalmente, as diferentes técnicas de maximização de uma função objetivo $f: M \subseteq \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ buscam identificar uma solução em particular $\bar{x}^* \in M$ tal que $\forall \bar{x} \in M: f(\bar{x}) \leq f(\bar{x}^*) = f^*$, onde f^* é um máximo global de f , obtida a partir da modelagem de um problema real, de complexidade e dimensão variáveis. Os problemas de minimização podem ser considerados problemas de maximização, onde $\text{Max } \{f(\bar{x})\} = -\text{Min } \{f(-\bar{x})\}$.

Com freqüência, os problemas reais apresentam máximos locais, que introduzem dificuldades adicionais aos diferentes algoritmos de otimização existentes. Máximos locais são pontos no espaço de soluções $f' = f(x')$ com valor significativamente maior que os demais em sua vizinhança, mas ainda inferior ao máximo global da função objetivo. Nestes casos, $\exists \varepsilon > 0, \forall \bar{x} \in M: |\bar{x} - \bar{x}'| < \varepsilon \Rightarrow f(\bar{x}) \leq f' < f^*$.

Problemas de otimização com restrições consideram limites para as variáveis, definidos por um número n_{restr} de funções $g_{nrestr}: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$, que originam um subconjunto $F = \{\bar{x} \in M \mid g_j(\bar{x}) \geq 0 \forall j\} \subseteq M$, conhecido como conjunto de soluções viáveis de f .

Outras dificuldades podem surgir na otimização de problemas reais, como grande número de variáveis, elevado número de restrições, ruídos, não-linearidades, descontinuidades, objetivos conflitantes ou representados por funções complexas. De acordo com o problema abordado, muitas vezes um processo de otimização não é capaz de identificar um máximo global para o problema. Entretanto, um algoritmo de otimização pode identificar uma solução viável melhor que outra já conhecida, o que pode ser considerado um grande resultado [2].

4. MINIMIZAÇÃO DE PERDAS

Os materiais empregados nos condutores elétricos das redes de distribuição apresentam certa medida de oposição à corrente elétrica, denominada resistência elétrica. Diversos equipamentos instalados em redes elétricas são modelados com emprego deste conceito, para representar uma componente de seu funcionamento associado com perdas, isto é, a parcela de energia que aquele componente retira do sistema, devido ao seu funcionamento.

Investimentos na rede existente podem reduzir os custos associados com perdas nos condutores se diminuirmos a resistência elétrica em cada trecho, mantidas as situações de carregamento, com o emprego de condutores de maior seção transversal. Alternativamente, podem ser consideradas novas rotas, novos circuitos ou a instalação de novas subestações, como forma de aliviar o carregamento dos condutores existentes e, portanto, o valor de perdas.

Outra alternativa que permite a alteração da topologia da rede, em curto prazo, é considerar outros estados para dos dispositivos de seccionamento da rede. Para aumentar a confiabilidade do sistema, freqüentemente são instaladas chaves entre diferentes circuitos, dispositivos normalmente abertos, existentes especificamente para o atendimento de regiões da rede sob condições especiais de contingência ou manutenção. Além destas chaves de interconexão entre circuitos, são também instalados dispositivos de proteção e seccionamento em cada circuito, elementos normalmente fechados, como chaves seccionadoras de linha, fusíveis e disjuntores.

Uma formulação para o problema de minimização de perdas, na ausência de investimentos na rede, considera os custos das perdas elétricas associados com uma determinada configuração, C_{perdas} , na forma:

$$\min C_{perdas} = \min \sum_{ij \in \Omega_l} (x_{ji}^2 + x_{ij}^2) \quad \text{Eq. 4.1}$$

sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{j \in \Omega_i} (x_{ji} - x_{ij}) &= D_i, \quad i \in \Omega_b \\ x_{ji} + x_{ij} &\leq x_{\max, ij} \quad ij \in \Omega_l \\ \Delta V_i - \Delta V_i' + z_{ij} (x_{ji} - x_{ij}) &= 0, \quad ij \in \Omega_l \\ \Delta V_i &\leq \Delta V_{\max} \quad i \in \Omega_b \end{aligned}$$

onde:

x_{ij}, x_{ji} equivalem aos fluxos do nó i para j e do nó j para i , ambos positivos

D_i equivale à demanda do nó i

Ω_i é o conjunto de nós conectados ou a serem conectados ao nó i

$x_{\max, ij}$ é o limite de carregamento do trecho ij

ΔV_i representa a queda de tensão acumulada (da SE até o nó i), restrita a um valor limite $\Delta V_{\max}$

Ω_b e Ω_l representam os conjuntos de barras e trechos da rede

Uma possibilidade para simplificar o problema de otimização enunciado consiste em incluir suas restrições diretamente na função objetivo inicial, de maneira a degradar seu valor quando tais restrições não forem respeitadas em alguma configuração. Através do Método das Penalizações [3], pode-se obter um problema equivalente, sem restrições, na forma:

$$\min (C_{\text{perdas}}) + \sum_{j=1}^{n_{\text{restr}}} r_j P_j \quad \text{Eq. 4.2}$$

onde cada fator de penalização P_j corresponde a uma das restrições n_{restr} do problema original, Eqs. (2.3) a (2.6), ponderadas por fatores r_j . Nos problemas de minimização, em geral, são utilizados fatores r_j elevados, o que afasta os algoritmos de otimização das soluções inviáveis.

5. ALGORITMOS GENÉTICOS

O Algoritmo Genético [4] representa uma classe de algoritmos de otimização que empregam mecanismo de pesquisa probabilístico de soluções, baseado no processo de evolução biológico, combinando aspectos da mecânica da genética e da seleção natural de indivíduos. Apesar de envolver procedimentos aleatórios, os AGs se distanciam muito dos métodos de busca puramente aleatórios.

Conforme ressaltado em [5], os AGs são métodos numéricos de otimização que, para maior robustez, se diferenciam dos outros em quatro aspectos fundamentais:

- Os AGs trabalham com codificação de parâmetros, ao invés dos parâmetros originais do problema.
- Os AGs pesquisam soluções ótimas a partir de um conjunto de soluções, não a partir de uma única.
- O AG básico emprega uma função de avaliação para as diferentes soluções pesquisadas, codificadas em seqüências de comprimento conhecido, conhecidas como strings, empregando alfabeto binário na representação destas seqüências.
- Os AGs utilizam regras probabilísticas na pesquisa de novas soluções e não determinísticas.

5.1. Codificação

O AG codifica as soluções de um problema em strings, seqüências de bits de comprimento fixo, que guardam relação explícita com a formulação do problema. Esta representação guarda semelhanças com a forma seqüencial de organização de informações genéticas em cromossomos, onde cada alelo traz informações sobre determinadas características do indivíduo, conforme recebidas de seus antecessores. Devido a essa semelhança, os strings são freqüentemente chamados *indivíduos*.

O AG básico emprega alfabeto binário para composição dos indivíduos, onde um indivíduo "i" qualquer, de dimensão "l" é tal que $i \in B^l$, $B = \{0,1\}$. Esta codificação será comum aos problemas aqui analisados.

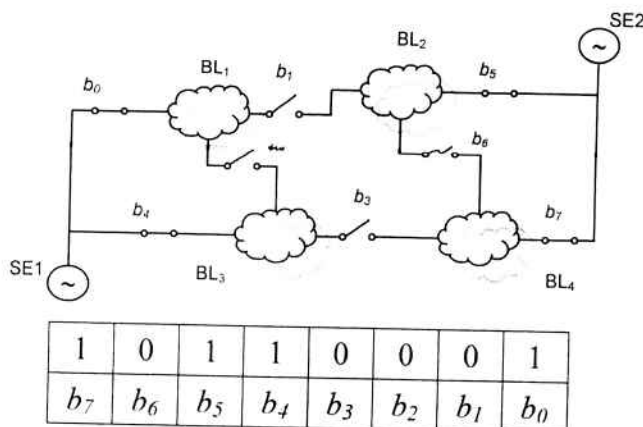


Fig. 1. Exemplo de representação de um string (ou indivíduo).

Conforme exposto em [5], existem inúmeras maneiras de codificação do problema, ou de mapear soluções do problema original em strings de comprimento fixo. Entretanto, as particularidades de cada problema devem ser consideradas na codificação, evitando que os procedimentos aleatórios do algoritmo acabem gerando muitas soluções inviáveis, o que pode tornar a convergência difícil, senão impossível.

A Fig. 1 apresenta uma codificação possível para o problema de configuração de redes, onde cada bit está associado com o estado da chave correspondente (se a chave b_i está aberta o bit vale 0, caso contrário, vale 1). Uma codificação mais interessante que a exibida na fig. 1 surge quando inserimos o conceito de blocos de carga e famílias de blocos [1].

Blocos de carga compreendem conjuntos de barras do sistema, delimitados por chaves ou finais de linha. Se codificarmos os indivíduos segundo as chaves incidentes em cada bloco, notando que em redes radiais e conexas cada bloco se conecta ao restante do sistema através de uma única chave, temos que o número de chaves fechadas no sistema equivale ao seu número de blocos. Desta forma, é possível identificar, a priori, quais indivíduos devem ser eliminados e quais devem ser decodificados em uma rede válida e avaliados segundo os resultados de um fluxo de potência correspondente.

Nesta codificação, a partir da rede da Fig. 1, teríamos o string representado na Fig. 2.

BL_1			BL_2			BL_3			BL_4		
b_0	b_1	b_2	b_1	b_5	b_6	b_2	b_3	b_4	b_3	b_6	b_7
1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1

Fig. 2: Representação de um string na codificação proposta neste trabalho, representando o sistema da Fig. 1.

5.2. População Inicial

O AG inicia gerando um número pré-definido de soluções iniciais, aleatoriamente, formando a população inicial. Computacionalmente, a implementação deste procedimento é muito simples, em função de existirem boas funções geradoras de números aleatórios, na maioria das ferramentas de programação. Este procedimento torna-se adequado à codificação dos strings segundo os blocos do circuito, conforme mencionado no item anterior.

5.3. Função de Avaliação e Restrições

Devido ao uso de alfabeto binário para representação dos alelos, o AG básico manipula diretamente apenas os problemas pseudobooleanos, na forma $f: B^l \rightarrow R$, onde a função objetivo f equivale à própria função de avaliação [6].

Para o emprego do AG em problemas de otimização com restrições, como o de reconfiguração de redes, após definida a codificação dos strings, compõe-se uma função de avaliação para os indivíduos, a partir da função objetivo original do problema.

Para esta função de avaliação considerar as restrições originais do problema, freqüentemente são empregados fatores de penalização, que tendem a piorar o valor da avaliação, quanto mais a solução proposta se afasta da situação ideal.

Uma possibilidade para definição da função de avaliação, f_{aval} , seria empregar uma relação entre um valor de referência para as perdas do sistema, $perda_{ref}$, e o valor de perdas elétricas da configuração representada pelo indivíduo sob avaliação, na forma:

$$f_{aval,i} = \frac{perda_{ref}}{perdas_i} \quad \text{Eq. 5.1}$$

O valor de referência para as perdas do sistema poderia ser adotado a partir de um cálculo hipotético de atendimento de todas as barras do sistema pelo cabo de maior seção transversal, correspondendo a um valor hipotético de perdas mínimas [1]. Outra possibilidade, bastante prática, seria adotar para o valor de referência as perdas da configuração atual da rede, para que se possa, claramente, identificar quanto a solução proposta pelo AG melhora o desempenho de uma rede existente.

Um número n_{restr} de restrições poderia ser facilmente incorporado à Eq. 5.1, resultando numa expressão na forma:

$$f_{aval,i} = \frac{perda_{min}}{perdas_i + \sum_{j=1}^{n_{restr}} r_j P_{i,j}} \quad \text{Eq. 5.2}$$

As penalizações $P_{i,j}$ consideradas neste trabalho, ponderadas com fatores r_j , contabilizam o excesso de carregamento das subestações (P_{SEi}), a sobrecarga em trechos dos circuitos (P_{Trl}) e a existência de cargas não atendidas (P_{Ci}) no sistema, conforme a rede representada pelo indivíduo i , da seguinte maneira:

$$P_{SE_i} = \sum_{n=0}^{n_{SE}} k_{SE}$$

Eq. 5.3

onde $k_{SE} = k_{SE0}$, se a SE_n estiver desconectada do sistema;
 k_{SE1} , se SE_n fornecer acima de seu nominal.

$$P_{Tr_i} = \sum_{l=0}^{n_{Tr}} k_{Tr}$$

Eq. 5.4

onde $k_{Tr} = k_{Tr0}$, se o trecho l estiver desconectado do sistema;
 k_{Tr1} , se o fluxo no trecho l estiver acima do nominal.

$$P_{C_i} = n_c$$

Eq. 5.5

onde n_c corresponde ao número de cargas não atendidas.

Definidos os critérios de penalização, compõe-se o fator de penalização P_j associado a cada indivíduo i , somando-se os valores de P_{SEi} , P_{Tri} e P_{Ci} :

$$P_{i,j} = P_{SE_i} + P_{Tr_i} + P_{C_i}$$

Eq. 5.6

Outros aspectos poderiam ser facilmente considerados pelo algoritmo, como minimização de energia não distribuída ou otimização dos perfis de tensões, por exemplo, bastando-se para tanto a alteração ou inserção de novas penalizações.

5.4. Operador Genético Seleção

O operador probabilístico Seleção Proporcional, empregado no AG básico, sorteia os indivíduos de uma população para cruzamento, onde cada um tem chances de sorteio proporcionais aos seus respectivos valores de avaliação, isto é, a probabilidade de sorteio de um indivíduo i é dada por $p_i = \Phi(u_i) / \sum_{j=1}^n \Phi(u_j)$, onde μ representa o tamanho da população e $\Phi: B^l \rightarrow \mathbb{R}^+$, a função de avaliação. Este método de seleção é também conhecido por "Regra da Roleta".

Especialmente em populações pequenas, ou no início da execução, é comum encontrarmos grandes diferenças nas avaliações dos indivíduos ou indivíduos excepcionalmente bem avaliados, quando a avaliação média da população é baixa. Mais ao final da execução, é freqüente termos a média da população próxima do melhor avaliado. Nestes casos, o AG poderá produzir populações com baixa variedade de indivíduos, resultando em indesejada convergência prematura, ou um mero "caminhar entre os medíocres".

Através do escalonamento, a avaliação de cada indivíduo será recalculada como $f' = a \cdot f + b$, onde f' representa a função de normalização das avaliações, f é a função original de avaliação e os coeficientes a e b podem ser escolhidos de diferentes maneiras. Pela implementação dos demais operadores genéticos, é necessário que as avaliações escalonadas não resultem inferiores a zero. Uma possibilidade, proposta em [5], admite $f'_{\text{méd}} = f_{\text{méd}}$ e $f'_{\text{máx}} = C_{\text{mult}} \cdot f_{\text{méd}}$, com $f'_{\text{mín}} > 0$ e C_{mult} entre 1,2 e 2,0. Desta forma, os indivíduos melhor avaliados permanecem com maiores chances de sorteio mas os de avaliação inferior têm suas chances aumentadas. Isto auxilia a manter a diversidade de informações

necessária na população, para que novas soluções sejam obtidas, a partir de recombinações com diferentes indivíduos.

O termo "pressão seletiva" (*selective pressure*) [7] é frequentemente empregado para denotar quanto o método de seleção empregado considera o valor de avaliação dos indivíduos: quanto maior a "pressão" ou quanto mais o método de seleção considera a avaliação dos indivíduos, maior a tendência à exploração das soluções já existentes e maior a velocidade de convergência. Por outro lado, esquemas de seleção que pouco consideram o valor de avaliação das soluções tendem a pesquisar melhor o espaço de soluções, aumentando a confiabilidade da solução indicada como ótima.

Como alternativas ao método de seleção proporcional do AG básico, o Torneio (*Tournament*) sorteia aleatoriamente dois indivíduos para cruzamento e seleciona para participar de um cruzamento aquele com melhor avaliação. Uma variante deste método, o Torneio- q (q -*Tournament*) sorteia um número q de indivíduos, $q > 2$ e seleciona o melhor deles. Uma análise matemática e maiores detalhes sobre este operador podem ser consultados em [8].

Outro operador de seleção que emprega implicitamente o valor de avaliação de cada solução é o *Ranking Linear*. Neste método, a população deve ser ordenada conforme os valores de avaliação de cada indivíduo, considerando-se apenas os μ melhor avaliados. Cada indivíduo recebe uma probabilidade idêntica de sorteio $1/\mu$, independente do seu valor absoluto de avaliação. Uma forma de atribuir maior probabilidade aos melhores avaliados é considerada no *Ranking Uniforme*, onde a probabilidade p_i de sorteio de cada indivíduo é ajustada através da expressão

$$p_i(a_i^g) = 1/\lambda (\eta_{\max} - (\eta_{\max} - \eta_{\min}) \cdot (i-1)/(\lambda-1)) \quad \text{Eq. 5.7}$$

onde $\eta_{\min} = 2 - \eta_{\max}$ e $1 \leq \eta_{\max} \leq 2$, a_i corresponde ao indivíduo i e λ é o número de indivíduos na população g [9].

5.5. Elitismo

O AG básico descarta a geração anterior e considera para a futura apenas os descendentes obtidos. A técnica Elitista consiste em reintroduzir o indivíduo melhor avaliado de uma geração para a seguinte, evitando a perda de informações importantes presentes em indivíduos de alta avaliação e que podem ser perdidas durante os processos de seleção e cruzamento. Algumas técnicas controlam o número de vezes que o indivíduo pode ser reintroduzindo, o que contribui para evitar convergência a máximos locais.

Outra forma de implementar o elitismo seria ao final das operações de cruzamento e mutação, considerando para a geração futura os melhores entre os pais e descendentes. Esta técnica, naturalmente reintroduz o melhores avaliados na geração seguinte, indefinidamente. Em AGs, as gerações são mantidas com número fixo de indivíduos, μ , que geram λ descendentes, sendo $\mu = \lambda$. Este método de seleção é também conhecido como $(\mu + \lambda)$.

5.6. Cruzamento

O operador *Cruzamento* troca arbitrariamente sub-strings entre dois indivíduos selecionados para reprodução. O comprimento e posições dos sub-strings são determinados aleatoriamente mas são idênticos para ambos os indivíduos. Este operador recombina soluções e favorece a exploração do espaço de soluções em torno das já conhecidas e direciona o processo de evolução, de maneira geral. O AG básico considera que esta troca ocorrerá com determinada probabilidade p_c ($p_c \approx 0,6$, $p_c \in [0,75; 0,95]$, $p_c \approx 0,95$ [6]), isto é, existe a possibilidade da troca não ocorrer e ambos indivíduos resultarem idênticos na população seguinte.

O operador cruzamento do AG básico emprega apenas um ponto para troca de informações, sendo conhecido portanto como cruzamento em um ponto.

Os trabalhos [10] e [11] apresentam formas de recombinação de soluções, em dois ou n pontos, analisando aspectos como a escolha do tamanho da população e dos operadores de recombinação, além de fornecer elementos para melhor compreender quando e como utilizar tais recursos. Empiricamente, o trabalho indica que existem situações onde a definição de um número maior de pontos de cruzamento é benéfico.

O Cruzamento uniforme aqui abordado é um operador que compara, bit a bit, dois strings selecionados para reprodução. Caso os valores em determinado locus coincidam, ambos descendentes recebem este valor. Caso estes valores sejam diferentes, eles serão trocados com uma probabilidade fixa, p_c . Este método é teoricamente analisado em [10], onde se destaca a necessidade de aplicar os diferentes operadores de cruzamento na busca do equilíbrio entre a pesquisa entre as soluções conhecidas e a exploração do espaço de soluções.

Em termos práticos, destaca-se a versatilidade deste operador em conciliar estes aspectos através do ajuste de p_c .

Yang [12] propõe o uso de algumas informações implícitas ao longo da evolução, como a tendência dos alelos convergirem para um determinado valor, quando o algoritmo se encontra "distante" das gerações iniciais. Este método de cruzamento converte a frequência de determinado alelo, $f_i(i,t)$ em uma probabilidade de troca, $p_s(i,t)$, com tendência a preservar os alelos mais frequentes:

a) Ajuste "triangular":

$$p_s(i,t) = P_{Max} - 2|f_i(i,t) - 0,5|(P_{Max} - P_{Min})$$

Eq. 5.8

b) Ajuste "trapezoidal":

$$p_s(i,t) = \left\{ \begin{array}{ll} P_{Max}, & \text{se } |f_i(i,t) - 0,5| \leq a \\ \frac{b - |f_i(i,t) - 0,5|}{b - a} (P_{Max} - P_{Min}) + P_{Min}, & \text{se } a < |f_i(i,t) - 0,5| < b \\ P_{Min}, & \text{se } |f_i(i,t) - 0,5| \geq b \end{array} \right.$$

Eq. 5.9

c) Ajuste "exponencial":

$$p_s(i,t) = \alpha e^{-(f_i(t) - 0.5)^2 / \beta}$$

Eq. 5.10

5.7. Mutação

No AG básico, o papel central da pesquisa por novas soluções se baseia na seleção e reprodução dos indivíduos.

O operador mutação nos AGs freqüentemente encontra três argumentos. O primeiro atribui ao operador um papel meramente secundário, servindo apenas como paleativo para evitar a perda permanente de alelos. Outro, afirma que o operador deve manter uma taxa constante e baixa, ao longo da execução do algoritmo e, finalmente, que o operador mutação deve empregar uma taxa única, para todos genes de todos indivíduos, em determinada população.

Algoritmos Evolutivos podem codificar uma probabilidade de mutação no indivíduo, implementando um valor diferente para os indivíduos, a cada geração. Inicialmente, admite-se valores altos para a probabilidade de mutação, para favorecer a exploração do espaço de soluções a partir das iniciais, obtidas aleatoriamente. Ao longo da execução, espera-se que o valor de mutação tenda a valores muito pequenos e que o algoritmo estabilize os indivíduos ao redor do valor ótimo, o que também contribui para sinalizar a convergência do algoritmo.

Ochoa e outros [13] argumentam que não há necessidade de se alterar o valor da probabilidade de mutação, quando empregada recombinação ou cruzamento, pois a recombinação também auxilia na exploração do espaço de soluções, sugerindo o uso de recombinação nas Estratégias Evolutivas. Thierens [14] avalia uma série de alternativas para o operador nos AGs, na ausência do operador cruzamento, indicando como trabalho futuro a determinação de uma forma de decaimento para a probabilidade de mutação. Como forma de reforçar a exploração, ao início da execução, este trabalho irá avaliar o ajuste desta probabilidade conforme:

$$p_m(a_i') = P_{Min} (P_{Max} - P_{Min}) \cdot e^{(1 - f_i / \ln(P_{Max})) G}$$

Eq. 5.11

onde P_{Min} é o valor aproximado da probabilidade de mutação a partir da geração G_n e P_{Max} é o valor inicial de p_m .

6. RESULTADOS OBTIDOS

6.1. Resultados com rede hipotética

A metodologia descrita foi aplicada inicialmente para a resolução de um problema de minimização de perdas em uma rede de distribuição, com 89 barras, 20 chaves e três subestações, conforme ilustrado na fig. 3. Nesta rede, é conhecida a configuração ótima, gerada a partir de um método de busca exaustiva.

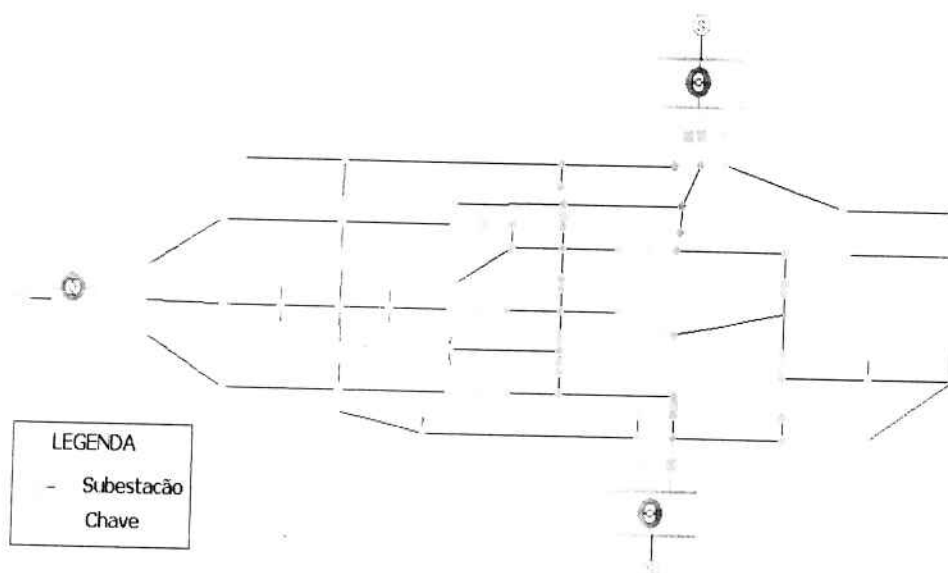


Fig. 3. Sistema de distribuição para estudo de minimização de perdas

Para avaliação e comparação do desempenho dos diferentes operadores propostos, a rede proposta foi otimizada cinco vezes com cada combinação de operadores genéticos, conforme Tabela 1:

TABELA 1: COMBINAÇÃO DE OPERADORES ANALISADOS INICIALMENTE

Seleção	Proporcional (ou "Roleta")		
	Torneio	$q=4$	
		$q=8$	
	Ranking	Linear	$\mu=4$
		Uniforme	$\mu=4; \eta_{Máx}=1,3$
			$\mu=8; \eta_{Máx}=1,3$
$\mu=8; \eta_{Máx}=1,6$			
Cruzamento	Um ponto		
	Dois pontos		
	Uniforme	$p_c=0,65$	
		$p_c=0,85$	

Cada combinação entre operadores de seleção e cruzamento foi executada 5 vezes, em geração de 12 indivíduos, limitada a 500 gerações ou 120 consecutivas sem melhoria na avaliação do melhor indivíduo, considerando apenas a execução em curso. A probabilidade de mutação foi mantida fixa, em 0,10.

O gráfico exibido pela Fig. 4 exibe de maneira qualitativa os resultados obtidos. No eixo das abcissas, representa-se o tempo médio de processamento das

cinco execuções, em um Pentium III 650MHz, considerando-se os limites mencionados. Nas ordenadas, é indicada a maior geração (seqüencial) onde se obteve a resposta do problema e o tamanho de cada bolha equivale ao inverso do desvio padrão da geração onde se obteve a resposta do problema. Procura-se aqui, através da rede do exemplo, identificar qual combinação tenderia a obter a melhor solução em menor tempo, consistentemente. Desta forma, as bolhas maiores e mais próximas da origem correspondem aos melhores parâmetros.

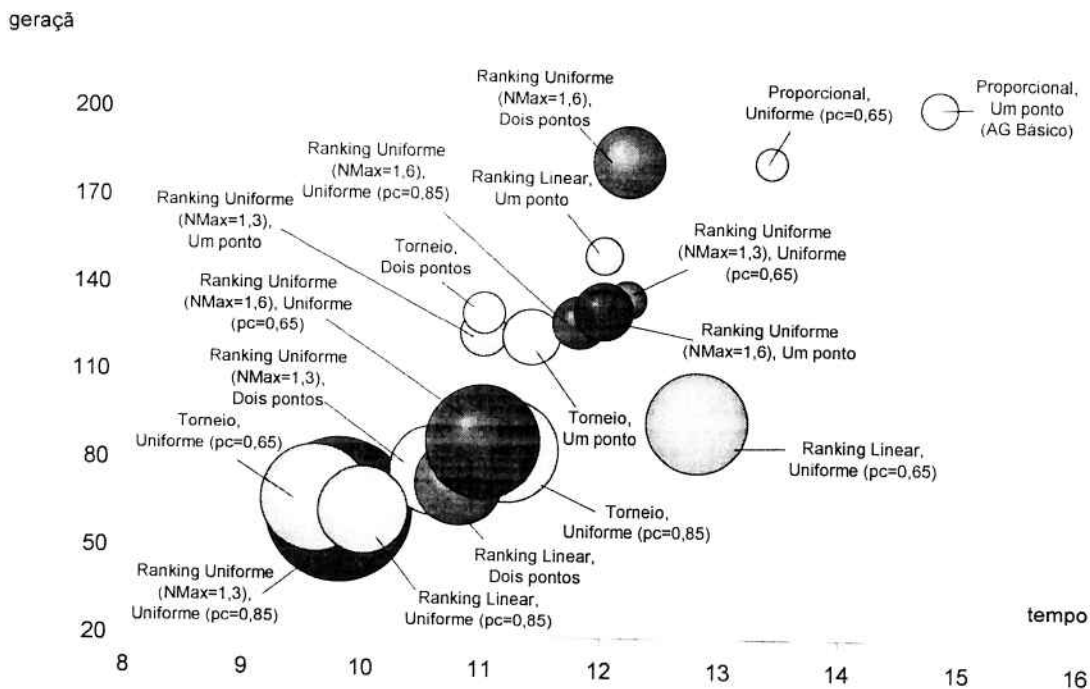


Fig. 4. Avaliação dos métodos de seleção e cruzamento, exibidos na Tabela 1.

O gráfico da Figura 4 não exibe os resultados dos operadores Seleção Torneio ($q=8$) e Proporcional, com Cruzamento em Dois Pontos e Uniforme ($p_c=0,65$) por não terem convergido à melhor resposta em todas as execuções.

A partir do gráfico da Figura 4, pode-se notar que o AG básico teve o pior desempenho, em todos os aspectos avaliados: número de gerações para convergência, desvio padrão desse número, valor da solução indicada e tempo de processamento.

Particularmente a escolha Ranking Uniforme, com $\mu=4$ e $\eta_{Máx}=1,3$, e Cruzamento Uniforme com $p_c=0,85$ resultou em convergência média na geração 39 (mínima 32 e máxima 64), com menor desvio padrão, o que pode indicar que o método poderia trazer a solução ótima em menor número de gerações, consistentemente. Eventualmente, de acordo com as características do sistema analisado, os parâmetros seriam ligeiramente alterados mas este resultado indica que não se deve considerar muitos indivíduos da população, nem aumentar demasiadamente a ponderação $\eta_{Máx}$, o que poderia resultar em indesejada convergência a máximos locais. Com relação ao operador Cruzamento Uniforme, a tendência seria manter a probabilidade de troca em

valores mais altos, o que força o algoritmo a pesquisar melhor o espaço de soluções.

O operador seleção Torneio ($q=4$), associado ao operador Cruzamento Uniforme, com probabilidade de troca menor (0,65), obteve convergência, em média, na geração 37 (mínima na 21 e máxima na 67), outro resultado notável. O Torneio é o operador de seleção mais simples de ser implementado, resumindo-se ao sorteio aleatório de q indivíduos da população, mas ainda assim, capaz de fornecer bons resultados. Neste caso, os tempos de processamento tendem a ser menores, pois não existe a necessidade de ordenar a população (Ranking) ou escalonar as avaliações (Proporcional).

Em seguida, foram avaliados os operadores Cruzamento uniforme estatístico e Mutação com probabilidade variável, conforme Tabela 2, empregando-se seleção com ranking uniforme, $\mu=4$ e $\eta_{Máx}=1,3$, identificado a partir da Figura 4 como uma boa alternativa de seleção. Os demais parâmetros permanecem inalterados.

TABELA 2: OPERADORES GENÉTICOS

Uniforme Estatístico	Ajuste Triangular	$P_{Max}=0,85;$ $P_{Min}=0,35$
	Ajuste Trapezoidal	$P_{Max}=0,85$ $P_{Min}=0,35;$ $a=0,10; b=0,40$
		$P_{Max}=0,85;$ $P_{Min}=0,35;$ $a=0,20; b=0,30$
	Ajuste Exponencial	$\alpha=0,85; \beta=0,03$
		$\alpha=0,85; \beta=0,01$
		$\alpha=0,65; \beta=0,03$
		$\alpha=0,65; \beta=0,01$
Mutação Variável	$G_n=200; P_{Max}=0,30; P_{Min}=0,05$	

Os resultados destas execuções são exibidos na Figura 5, a seguir, onde também é exibido um resultado da Figura 4, para efeito de comparação:

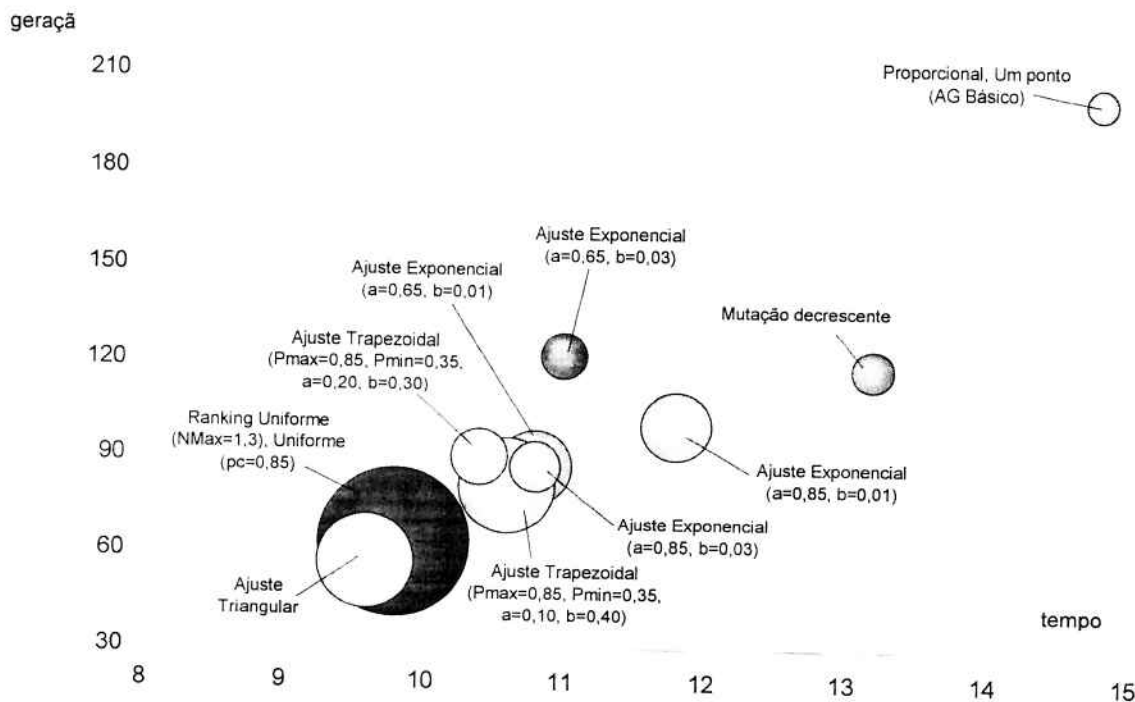


Fig. 5. Avaliação dos métodos de cruzamento uniforme estatístico e mutação variável.

A rede ótima resultante, em todas as execuções mencionadas nas Figuras 4 e 5, é exibida na Figura 6.

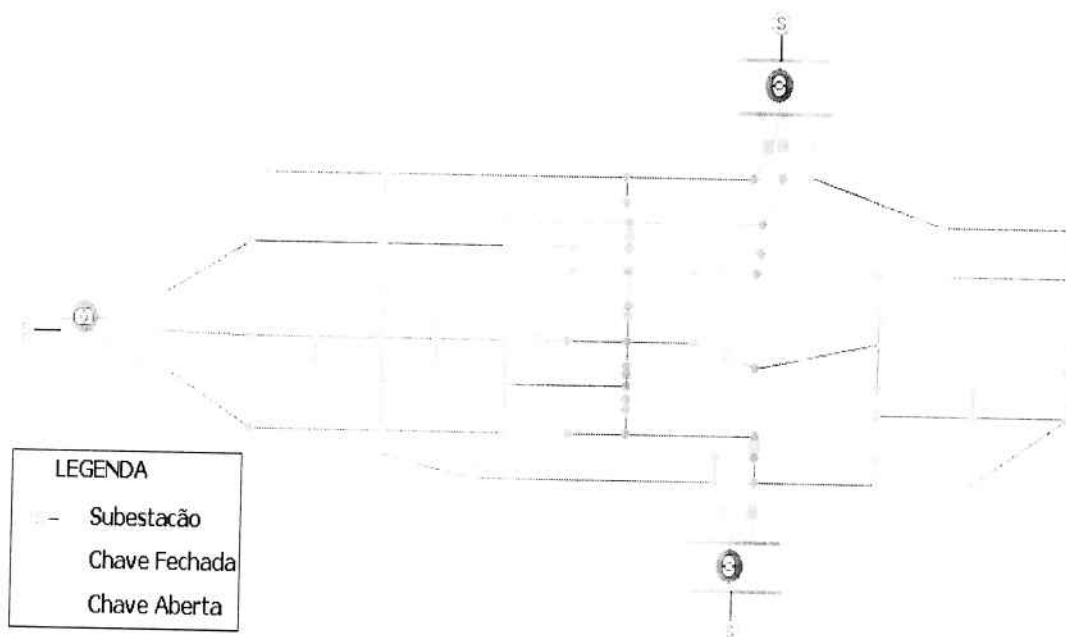


Fig. 6. Rede ótima, considerando-se o objetivo único de minimização de perdas elétricas.

6.2. Resultados com rede real

Para validação dos resultados obtidos no item 6.1, será considerado o problema de minimização de perdas de uma rede real, exibida pela Figura 7.



Figura 7: Representação da topologia da rede em estudo.

As principais características da rede ilustrada pela Figura 7 são resumidas pela Tabela 3.

TABELA 3: RESUMO DAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA REDE ILUSTRADA PELA FIGURA 5.5

Característica	Valor
Subestações, total	1
Número de circuitos	7
Número de barras, total	2400
Número de barras, com carga	746
Potência instalada total (kVA)	53.737,5
Número de dispositivos de seccionamento	301
Número de ligações	2130

De acordo com os resultados obtidos no item 6.1, selecionam-se três alternativas de operadores de seleção: Torneio, Ranking Uniforme e Linear. Estas alternativas são combinadas com o operador Cruzamento Uniforme, para avaliação de desempenho na rede mencionada. Considera-se, igualmente, os operadores e parâmetros referentes ao AG Básico, para permitir a comparação dos resultados obtidos. A Tabela 4 relaciona os operadores empregados para a otimização dessa rede real e a Tabela 5 complementa as informações dos demais parâmetros empregados.

TABELA 4: OPERADORES EMPREGADOS PARA OTIMIZAÇÃO DE UMA REDE REAL

Caso	Operador	
	Seleção	Cruzamento
1 – AG Básico	Proporcional	Um ponto
2 – Torneio	Torneio ($q=4$)	Uniforme ($p_c=0,65$)
3 – Ranking Linear	Uniforme ($\eta_{Max}=1,0$)	Uniforme ($p_c=0,85$)
4 – Ranking Uniforme	Uniforme ($\eta_{Max}=1,3$)	Uniforme ($p_c=0,85$)

TABELA 5: DEMAIS PARÂMETROS EMPREGADOS

Parâmetro	Valor
Número de execuções	1
Número de gerações	30
Número de indivíduos em uma população	20
Prob. mutação	1%
Prob. cruzamento	85%
Custo de perdas	40 R\$/MWh

Para o estudo desses casos, será empregado o ambiente de Planejamento de Redes de Distribuição [15] que permite a obtenção de informações da rede diretamente do sistema corporativo de empresas distribuidoras. A partir das informações de faturamento de energia, estimam-se as demandas de cada centro de carga do sistema, através de curvas de carga típicas para cada categoria de consumidor, obtidas estatisticamente. O valor de perdas em energia é computado considerando-se quatro patamares de carregamento, ao longo do dia.

A partir dos estudos de fluxo de potência, executados com esta ferramenta, os resultados de perdas na configuração original foram obtidos e são ilustrados pela Tabela 6.

TABELA 6: NÍVEIS ORIGINAIS DE PERDAS NA REDE REAL, POR ALIMENTADOR

Circuito	kWh/mês	MWh/ano	R\$/ano
1	3.755	45,06	1.802,40
2	47.431	569,172	22.766,88
3	17.970	215,64	8.625,60
4	4.611	55,332	2.213,28
5	6.231	74,772	2.990,88
6	4.646	55,752	2.230,08
7	986	11,832	473,28
Somatório:	85.630	1.027,56	41.102,40

TABELA 7: GANHOS OBTIDOS NA OTIMIZAÇÃO DE REDE REAL COM AG

Caso	Geração onde se obteve a resposta	Custo das perdas, anual (R\$)	Ganho em relação à configuração existente		Ganho em relação ao AG Básico
			(R\$)	(%)	(%)
Configuração de rede existente	-	41.102,40	-	-	-
1 – AG Básico	27	14.126,50	26.975,90	65,63%	-
2 – Torneio	30	12.151,85	28.950,55	70,44%	13,98%
3 – Ranking Linear	30	10.265,14	30.837,26	75,03%	27,33%
4 – Ranking Uniforme	30	10.205,14	30.897,26	75,17%	27,76%

Para avaliação da qualidade das respostas obtidas anteriormente, pelo fato de não ser conhecido o valor mínimo de perdas da rede analisada, outra execução foi efetuada, empregando-se o método 4 da Tabela 4, com 50 indivíduos em cada geração, em 50 gerações. Espera-se, desta forma, melhorar a pesquisa do espaço de soluções e aumentar as chances de se identificar uma resposta que se aproxime ainda mais da rede de mínimas perdas.

Neste caso, a melhor resposta foi obtida na Geração 45, correspondendo a um custo de perdas elétricas de R\$9.072,50, o que representa cerca de 11% de melhoria sobre a melhor resposta obtida anteriormente, conforme relacionada na Tabela 5.13. Entretanto, convém ressaltar que os resultados apresentados pela Tabela 5.13 foram alcançados em cerca de oito minutos, em um computador com processador 2,4GHz, enquanto os representados pela Tabela 7 foram alcançados em aproximadamente meia hora.

7. CONCLUSÕES

A partir das diferentes combinações de operadores e parâmetros analisados, este trabalho indica, qualitativamente, que o operador seleção *Ranking* teve o melhor desempenho, juntamente do operador Cruzamento uniforme.

Das alternativas de Cruzamento uniforme com estatística, nota-se a partir do exemplo que emprega ajuste triangular, que a técnica pode melhorar o desempenho do AG e deve ser melhor estudada. Entretanto, esta traz um inconveniente ao usuário, de ter que identificar quando iniciar as estatísticas, informando um número de geração ou um valor de avaliação médio da população, o que nem sempre é prático ou conhecido de antemão.

Em todas as diferentes alternativas analisadas, notou-se que a seleção elitista melhorou o desempenho do AG em todos os aspectos, auxiliando na obtenção da solução ótima do problema, em menor número de gerações.

Conforme indicado em [13], a variação da probabilidade de mutação ao longo da execução não melhorou o desempenho do algoritmo. Em termos práticos, a probabilidade de mutação muito alta, mesmo nas gerações iniciais, tende a deixar o algoritmo instável, o que prejudica seu desempenho, de maneira geral.

O breve estudo sobre uma rede real, abordado em 6.2, permitiu validar os resultados obtidos em 6.1, com a rede hipotética, além de trazer outras indicações.

Conforme os resultados exibidos pela Tabela 7, houve melhoria média superior a 70% no custo das perdas, o que contribui para ilustrar o grande potencial da metodologia empregada. Houve variantes para os operadores genéticos canônicos capazes de melhorar a resposta do AG em mais de 27%, o que permite afirmar que essas alternativas são capazes de melhorar a pesquisa do espaço de soluções viáveis e identificar melhores soluções.

Quando aplicado ao estudo de minimização de perdas de uma rede real, o AG Básico foi capaz de encontrar uma solução que representaria uma economia de mais de 65%. Com emprego das variantes seleção *Ranking Uniforme* e *Cruzamento Uniforme*, identificou-se outra solução que equivaleria a mais de 75% de redução de custo mensal, mantidos os demais parâmetros de execução.

Conforme indicação dos resultados com a rede hipotética, o método a seleção *Torneio* obteve bom desempenho, identificando uma solução que equivaleria a cerca de 70% de economia em relação a configuração de rede existente, valor próximo do atingido com o método de seleção *Ranking Uniforme*, mas ainda inferior a este.

Através de uma execução prolongada, contando com 50 gerações e 50 indivíduos e os operadores que obtiveram melhor desempenho neste estudo, pode-se identificar uma configuração que reduz em 11% o melhor valor de perdas energéticas encontrado anteriormente.

Evidente que quaisquer configurações aqui obtidas não poderiam ser imediatamente aplicadas à rede real, dado que a formulação aqui empregada não considerou outros objetivos importantes, como o perfil de tensões e carregamentos de subestações e circuitos.

Importante notar que a codificação do problema é essencial ao bom desempenho do AG. A partir das codificações propostas no item A, nota-se que simplesmente não há convergência para o caso onde cada chave é associado a um bit do string. Todos os exemplos ilustrados tiveram codificação conforme proposto em [1], orientada aos blocos do circuito.

8. REFERÊNCIAS

- [1] KAGAN, N.: "Configuração de Redes de Distribuição através de Algoritmos Genéticos e Tomada de Decisão Fuzzy". Tese de Livre Docência, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.
- [2] BÄCK, THOMAS; HOFFMEISTER, FRANK; SCHWEFEL, HANS PAUL: "A Survey of Evolution Strategies", University of Dortmund, Department of Computer Science XI.
- [3] NOVAES, A. G.: "*Métodos de Otimização: Aplicações aos Transportes*", Edgar Blücher Ltda., São Paulo, 1978.
- [4] HOLLAND, JOHN H.: "Adaptation in natural and artificial systems", The University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
- [5] GOLDBERG D. E.: "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison-Wesley, 1989.
- [6] BÄCK, T.: "Optimal mutation rates in Genetic search", University of Dortmund, Department of Computer Science XI.
- [7] BÄCK, T.: "Selective Pressure in Evolutionary Algorithms: a characterization of selection mechanisms", University of Dortmund, Department of Computer Science XI.
- [8] BICKLE, T.; LOTHAR, T.: "A mathematical analysis of Tournament selection", Swiss Federal Institute of Technology, Zurich
- [9] BÄCK, T.; HOFFMEISTER, F.: "Extended Selection Mechanisms in Genetic Algorithms", University of Dortmund, Department of Computer Science XI.
- [10] SPEARS, W. M.; DE JONG, K. A.: "On the Virtues of Parameterized Uniform Crossover", Naval Research Laboratory/George Mason University.
- [11] SPEARS, W. M.; DE JONG, K. A.: "An analysis of multi-point crossover" Naval Research Laboratory/George Mason University.

- [12] YANG, S.: "Adaptive Crossover in Genetic Algorithms Using Statistics Mechanism", Dept. of Mathematics and Computer Science, University of Leicester, UK.
- [13] OCHOA, G.; HARVEY, I.; BUXTON, H.: "On recombination and optimal mutation rates", University of Sussex Falmer, Brighton.
- [14] THIERENS, D., "Adaptative mutation rate control schemes in genetic algorithms", Utrecht University, Holanda.
- [15] KAGAN, N.; OLIVEIRA, C. C. B.; GUARALDO, J. C.; EL HAGE, F. S.; MÈFFE, A.; FILHO, M. M.: "*INTERPLAN – Uma ferramenta para o Planejamento Integrado de Sistemas de Distribuição de Alta, Média e Baixa Tensão*", trabalho submetido ao IEEE.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEA/9301 - Alguns Aspectos do Problema de Planejamento de Sistemas de Transmissão sob Incertezas – CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN, ERNESTO JOÃO ROBBA
- BT/PEA/9302 - Vibrações em Motores Elétricos Provocadas por Forças Magnéticas - ORLANDO SILVIO LOBOSCO, HENRIQUE PRADO ALVAREZ
- BT/PEA/9303 - Corrente Contínua em Alta Tensão: Aplicação de Equipamentos Elétricos e Modelos para Análises de Confiabilidade - LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9504 - Automação e Informatização Aplicadas a Controle e Supervisão de Processos de Pesagem - EVALDO ARAGÃO FARQUI, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/9505 - Modernização e Reabilitação de Usinas Hidrelétricas - DJALMA CASELATO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9506 - Estudo do Campo Elétrico Provocado por Linhas de Transmissão em Corrente Alternada - CELSO PEREIRA BRAZ, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9507 - Aspectos Sobre Processos Automatizados de Pesagem Rodoferroviária: Uma Proposta de Modernização de Postos em Operação - SERGIO LUIZ PEREIRA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9508 - Usinas Hidrelétricas em Rotação Ajustável: Novas Premissas para o Planejamento Energético - MARCO ANTONIO SAIDEL, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9509 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação de Subestações pela integração de Módulos de Software e Hardware Existentes no Mercado Brasileiro - L. C. MAGRINI, J. A. JARDINI, S. COPELIOVITCH, N. KABA FILHO
- BT/PEA/9510 - Proposta de um Modelo para Estudos de Aplicação de Compensadores Estáticos em Sistemas de Potência - JOSÉ TOSHIYUKI HONDA, LUIS CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/9511 - Metodologia e Testes para Redução das Distâncias Elétricas entre Fases de Barramentos de Subestações de 138kV Abridadas, ANDRÉ NUNES SOUZA, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9512 - Avaliação da Severidade da Poluição para o Dimensionamento da Isolação das Redes Elétricas - ARNALDO G. KANASHIRO, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9513 - Processos Auto-Adaptativos para Cálculo de Campos Eletromagnéticos pelo Método dos Elementos Finitos - LUIZ LEBENSZTAJN, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9514 - Investigação Experimental sobre os Arcos Sustentados em Sistemas Elétricos de Baixa Tensão - FRANCISCO H. KAMEYAMA, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9515 - Fast Voltage Compensation: A Mean to Improve the Quality of Energy Supply - H. ARANGO, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9516 - Modelo Avançado para Planejamento de Sistemas Energéticos Integrados Usando Recursos Renováveis - LUIZ ANTONIO ROSSI, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9601 - Metodologias para Planejamento de Sistemas de Distribuição: Estado-da-Arte e Aplicações - PAULO ROBERTO NJAIM, CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9602 - Integração de Relés Digitais em Sistemas de Automação de Subestação - JERÔNIMO CAMILO SOARES JR., JOSÉ A. JARDINI, LUIZ C. MAGRINI
- BT/PEA/9603 - Paradigma de Planejamento sob Incertezas - Aplicação ao Planejamento dos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - ALBERTO BIANCHI JUNIOR, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9604 - Um Sistema de Controle de Velocidade para Motor de Indução Trifásico - CELSO KAZUMI NAKAHARADA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9605 - Controle Vetorial de Motores de Indução, Independente das Alterações de Parâmetros da Máquina - NERY DE OLIVEIRA JÚNIOR, WALDIR PÓ
- BT/PEA/9606 - Compactação de Subestações de 145 kV Através da Redução das Distâncias entre Fases - GERVASIO LUIZ DE CASTRO NETO, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9607 - Curvas de Carga de Consumidores Industriais - Agregação com Outras Cargas - RONALDO PEDRO CASOLARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9608 - Utilização de Curvas de Carga de Consumidores Residenciais Medidas para Determinação de Diversidade de Carga, e Carregamento de Transformadores de Distribuição - EDUARDO LUIZ FERRARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9609 - Comportamento Elétrico de Cabos Cobertos e Pré-Reunidos pelo Método dos Elementos Finitos - JOÃO JOSÉ DOS SANTOS OLIVEIRA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9701 - Repotenciação de Hidrogeradores: Uma Proposta de Metodologia de Análise e Implantação - FÁBIO SALOMÃO FERNANDES SÁ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.

- BT/PEA/9702 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação para um Sistema de Automação para um Centro de Operação da Distribuição - PAULO SÉRGIO MIGUEL SURUR, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9703 - Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição Utilizando Programação Matemática Probabilística - MARIÂNGELA DE CARVALHO BOVOLATO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9704 - Técnicas de Inteligência Artificial Aplicadas ao Problema de Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica - SALETE MARIA FRÖES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9705 - Aproveitamento Funcional de Sistemas de Controle e Proteção Digitais em Subestações de Distribuição - JOSÉ LUIZ PEREIRA BRITTES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9706 - Avaliação de Algoritmo para Proteção Diferencial de Transformadores - LUÍS SÉRGIO PIOVESAN, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/9707 - Sistema de Proteção para Falhas de Alta Impedância - CAIUS VINICIUS SAMPAIO MALAGODI, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/9708 - Um Ambiente para Planejamento da Operação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - KLEBER HASHIMOTO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9709 - Análise do Custo - Benefício da Instalação de Equipamentos de Proteção em Redes Aéreas de Distribuição - ANTONIO CLAUDINEI SIMÕES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9710 - Planejamento Integrado de Recursos Energéticos - PIR - para o Setor Elétrico - MIGUEL EDGAR MORALES UDAETA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9711 - Análise de Defeitos no Motor de Indução Trifásico para Predição de Falhas Incipientes - JOSÉ ANTONIO URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9712 - Gerenciamento de Transformadores de Distribuição com Análise na Perda de Vida - CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN, VLADIMIR DUARTE BELCHIOR
- BT/PEA/9713 - Uma Nova Metodologia para a Avaliação de Sistemas de Aterramento Metro-Ferrovários - JOSÉ AUGUSTO PEREIRA DA SILVA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9714 - Um Exemplo de Decomposição de Fluxos em Transformadores - NICOLAU IVANOV, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9715 - Custos de Transporte de Energia Elétrica - Análise de Metodologias - DÁRIO TAKAHATA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9716 - Bancada de Ensaios para a Avaliar o Comportamento de Acionamentos Controlados por Inversores PWM - JOSÉ ANTONIO CORTEZ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9717 - Integração de Técnicas de Diagnóstico de Falhas em Motores de Indução Trifásicos ao Sistema de Gerenciamento da Manutenção Industrial - JOSÉ A. URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9801 - Análise de Confiabilidade para Gerenciamento Operacional de Sistemas Automatizados de Pesagem Rodoviar - RUBENS LOPES ROLIM, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9802 - Projeto de um Ondulador Híbrido e Estudo de Onduladores Derivados de Solenóide, para Utilização em Laser a Elétrons Livres - FRANCISCO SIRCILLI NETO
- BT/PEA/9803 - Configuração de Redes de Distribuição de Energia Elétrica com Múltiplos Objetivos e Incertezas através de Procedimentos Heurísticos - CARLOS C. BARIONI DE OLIVEIRA, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9804 - Conceituação e Aplicação de Metodologia de Gerenciamento pelo Lado da Demanda em uma Empresa Distribuidora de Energia Elétrica - FERNANDO MONTEIRO DE FIGUEIREDO, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9805 - Acoplamento Circuito Elétrico - Método dos Elementos Finitos em Regime Transitório Utilizando a Metodologia de Dommel - NANCY MIEKO ABE, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9806 - Modelo de Arco Elétrico Aplicado ao Estudo da Interrupção da Corrente em Disjuntores de Média Tensão - LUCILIO CARLOS PINTO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9807 - Proteção para Falta de Alta Impedância Utilizando o Sistema de Rádio Troncalizado - MARCO ANTONIO BRITO, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/9808 - Contribuição ao Estudo e Projeto dos Motores Síncronos de Relutância - IVAN EDUARDO CHABU, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9809 - Cabos Cobertos: Metodologia para a Determinação da Espessura da Cobertura - ANTONIO PAULO DA CUNHA, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9810 - Eletrificação Rural - Avaliações em São Paulo - MARCELO APARECIDO PELEGRINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9811 - Política de Eletrificação Rural em São Paulo - LUIZ HENRIQUE ALVES PAZZINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9812 - Uso Racional e Eficiente de Energia Elétrica: Metodologia para a Determinação dos Potenciais de Conservação dos Usos Finais em Instalações de Ensino e Similares - ANDRÉ LUIZ MONTEIRO ALVAREZ, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/9813 - Diretrizes para a Regulação da Distribuição de Energia Elétrica - JAMES S. S. CORREIA, LINEU BELICO DOS REIS

- BT/PEA/9814 - Distribuição da Tensão de Impulso em Enrolamentos de Transformadores de Distribuição - PEDRO LUÍS SANTUCCI DE MENDONÇA, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/9815 - Estudo Comparativo entre os Diversos Métodos de Determinação do Rendimento de Motores de Indução - FRANCISCO ANTONIO MARINO SALOTTI, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9816 - A Nodal Analysis Approach Applied to Electric Circuits Coupling in Magnetodynamic 2D FEM - MAURÍCIO CALDORA COSTA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9817 - Informatização e Automação dos Órgãos Gestores de Mão de Obra - EDUARDO MARIO DIAS, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9818 - Frequência de Ocorrência de Sobretensões Originárias de Descargas Atmosféricas em Linhas de Distribuição - NELSON MASSAKAZU MATSUO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9819 - Um Método de Imposição de Pólos no Estudo da Estabilidade de Redes Elétricas a Pequenas Perturbações - PERCIVAL BUENO DE ARAUJO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9820 - Inter-Relação do Planejamento Agregado de Investimentos com o Planejamento Localizado de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - JUCEMAR SALVADOR SIMÕES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9821 - A Produção de Energia Através das Células de Combustível - JOSÉ LUIZ PIMENTA PINHEIRO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9822 - Automação de Processos - Revisão e Tendências - SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9823 - Metodologia para Seleção e Gerenciamento de Transformadores e Distribuição, Aplicando Técnicas de Redes Neutrais Artificiais - SE UN AHN, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9901 - Contribuição ao Modelamento e Simulação de Motores em Ímãs Permanentes e Comutação Eletrônica de Alta Rotação - WANDERLEI MARINHO DA SILVA, CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/9902 - Estudos de Sistemas de Potência e Automação: Plantas Industriais de Grande Porte - MAURÍCIO G. M. JARDINI, JOSÉ A. JARDINI
- BT/PEA/9903 - Synchronous Machines Parameters Identification Using Load Rejection Test Data - E. C. BORTONI, J. A. JARDINI
- BT/PEA/9904 - Identificação de Locais e Opções Tecnológicas para Implantação de Termoelétricas no Sistema Elétrico Brasileiro: Contribuição ao Estado da Arte e Aplicação ao Caso do Gás Natural - ELIANA APARECIDA FARIA AMARAL FADIGAS, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9905 - Sistema de Manutenção Preventiva de Subestações: Uma Abordagem Semântica para o Monitoramento Integrado - ELIAS ROMA NETO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9906 - Previsão das Perdas Magnéticas na Presença de Harmônicos - MARCELO S. LANCAROTTE, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9907 - Comportamento do Aterramento de Sistemas e Equipamentos de Distribuição sob Impulso - CLEVERSON LUIZ DA SILVA PINTO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9908 - Modelo de Sistema de Supervisão e Controle Operacional de Terminais de Contêineres - LEVI SALVI, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/9909 - Medição de Altas Correntes em Frequência Industrial: Instrumentação, Dispositivos de Medição e Calibrações - HÉLIO EIJI SUETA, GERALDO FRANCISCO BURANI
- BT/PEA/9910 - Conversores Auto-Comutados Aplicados em Derivações de Sistemas de Transmissão de Corrente Contínua e Alta Tensão - WILSON KOMATSU, WALTER KAISER
- BT/PEA/9911 - Análise de Desempenho de Sistemas de Aterramento em Alta Frequência pelo Método dos Elementos Finitos - ANGELO PASSARO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO, VIVIANE CRISTINE SILVA
- BT/PEA/9912 - Simulação de Motores "Shaded Pole": Uma Nova Abordagem Analítico-Numérica - PASCHOAL SPINA NETO, SÍLVIO IKUO NABETA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9913 - Estimadores de Estado para Sistemas de Potência: Análise do Estado da Arte - CLEBER ROBERTO GUIRELLI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9914 - Análise sobre o Comportamento de Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas Utilizando o Método dos Elementos Finitos - SEBASTIÃO C. GUIMARÃES JR., LUCIANO MARTINS NETO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9915 - Automação do Atendimento a Reclamações de Interrupção de Energia Elétrica - H. K. Kiyohara, L. C. Magrini, E. P. PARENTE, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9916 - Controle Digital de Tensão e Reativos - PAULA S. D. KAYANO, LUIZ CARLOS MAGRINI, LINEU BELICO DOS REIS, ANTONIO JOSÉ GOMES CARMO, ELIAS DE SOUZA NETO
- BT/PEA/9917 - Localizadores Digitais de Falhas em Linhas de Transmissão - CARLOS EDUARDO DE MORAIS PEREIRA, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9918 - Religamento Monopolar em Linhas de Transmissão - Propostas de Uma Ferramenta para Investigações Paramétricas - IVANIL POMPEU, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9919 - Viabilidade Técnica de Abertura Monopolar Permanente em Linhas de Transmissão Extra Alta Tensão - FABIANA AP. DE TOLEDO SILVA, JOSÉ ANTONIO JARDINI

- BT/PEA/9920 – Avaliação do U-Net em Custers com Rede My com Rede Myrinet – PAULO A. GEROMEL, SERGIO T. KOFUJI
- BT/PEA/9921 – SAG – Sistema de Apoio Gerencial via Internet – ADRIANO GALINDO LEAL, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9922 – Desequilíbrio de Tensão em Redes Secundárias de Distribuição – PAULO VINÍCIUS SANTOS VALOIS, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9923 – Sistema Não Lineares Controlados pela Lógica Difusa: Uma Aplicação em Acionamentos Constituídos por Motores Assíncronos – WERNER W. PACHECO LUJAN, CÍCERO COUTO MORAES
- BT/PEA/9924 – Arborescência em Cabos Elétricos de Média e Alta Tensão – JOÃO JOSÉ ALVES DE PAULA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JÚNIOR
- BT/PEA/9925 – Estudo para Otimização de Desempenho de Plantas Industriais Automatizadas – ANTONIO ORLANDO UGULINO, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9926 – Simulação e Análise de Desempenho de Processos Visando a Otimização de Sistemas Integrados de Produção – CÍCERO COUTO DE MORAES, SERGIO LUIZ PEREIRA, JOSÉ ROBERTO R. DE GODOY
- BT/PEA/9927 – Automação Moderna de Processos: Análise de Necessidade, Viabilidade e Tendências Tecnológicas – SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9928 – Modelo de Compensação Série Controlada Aplicado ao Estudo do Amortecimento de Oscilações em Sistemas de Potência – JOSÉ ROBERTO PASCON, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/9929 – Cálculo de Trajetórias de Elétrons em Estruturas Magnéticas – YASMARA CONCEIÇÃO DE POLLI, VIVIANE CRISTINE SILVA
- BT/PEA/0001 – Monitoramento de Transformadores de Potência Direcionado à Manutenção com Base nas Condições – SERGIO COSTA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0002 – Redes Neurais Artificiais Aplicadas a Estudos de Subestações de Alta Tensão Abrigadas Frente a Ensaios de Impulsos Atmosféricos – ANDRÉ NUNES DE SOUZA, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0003 – Relé Diferencial para Transformador de Potência Implementado com uma Rede MLP – RICARDO CANELOI DOS SANTOS, EDUARDO CESAR SINGER
- BT/PEA/0004 – Minimização de Resíduos Sólidos Urbanos e Conservação de Energia – PAULO HÉLIO KANAYAMA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0005 – Modelamento de Conversores CC/CC por meio da Chave PWM – LUIZ FERNANDO P. DE MELLO, WALTER KAISER
- BT/PEA/0006 – Estudo de Surtos em Redes Secundárias de Distribuição Causados por Descargas Atmosféricas Diretas na Rede Primária – WELSON BASSI, JORGE M. JANISZEWSKI
- BT/PEA/0007 – Modelagem da Magnetohidrodinâmica em 3D pelo Método de Elementos Finitos – SERGIO LUIZ LOPES VERARDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0008 – Metodologia para Avaliação do Comportamento e Vida Útil de Motores Alimentados por Fontes Assimétricas de Tensão – JOSÉ LUIZ ANTUNES DE ALMEIDA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0009 – Esquema de Aterramento Híbrido (EAH) – FRANCISCO CARLOS PARQUET BIZZARRIA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JUNIOR
- BT/PEA/0010 – Ferro-Ressnância em Redes Subterrâneas de Distribuição – REGINA LÚCIA LAMY, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0011 – A Análise do Ciclo de Vida e os Custos Completos no Planejamento Energético – CLÁUDIO ELIAS CARVALHO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0012 – A Agregação de Valor à Energia Elétrica através da Gestão Integrada de Recursos – ANDRÉ LUIZ VEIGA GIMENES, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0013 – Tochas a Plasma: Características Básicas para Projeto e Construção – MIGUEL BUSSOLINI, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/0014 – Um Estudo de Correntes Induzidas em Meios Maciços Ferromagnéticos – Aplicação no Projeto de Freios de Correntes Parasitas – ALVARO BATISTA DIETRICH, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0015 – Incorporação de Sistemas de Co-Geração aos Sistemas Elétricos de Potência: Um Roteiro para Avaliação de Viabilidade Técnico-Econômica – LUIZ DONIZETI CLEMENTINO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0016 – Metodologia para Análise da Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo de Energia Elétrica em Baixa Tensão – ALEXANDRE ANGRISANO, RONALDO P. CASOLARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0017 – Análise de Índices de Qualidade no Planejamento Agregado de Investimentos em Ambiente de Incertezas – CARLOS ALEXANDRE DE SOUSA PENIN, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0018 – Controle de Descarregadores de Navios Utilizando Lógica Fuzzy – ANTONIO DAGOBERTO DO AMARAL JÚNIOR, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0019 – The Energy Absorption Capacity of Metal Oxide Surge Arresters An Approach for Switching Surges – MANUEL LUIZ BARREIRA MARTINEZ, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR

- BT/PEA/0020 – Utilização Racional de Energia Elétrica em Instalações Elétricas Comerciais Empregando Sistemas de Automação – JOEL ROCHA PINTO, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/0021 – Sistema Automatizado para Aquisição de Dados de Consumo de Energia Elétrica, Água e Gás – JOSÉ WALTER PARQUET BIZARRIA, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0022 – Estudo de Ignitores de Pulsos Superpostos para Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão – ALEXANDER FERNÁNDEZ CORREA, WALTER KAISER
- BT/PEA/0023 – Desenvolvimento de Medidor Eletrônico de Energia Elétrica de Custo Competitivo Associado a Estudos sobre Medições de Energia Elétrica – DOUGLAS ALEXANDRE DE A. GARCIA, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/0024 – Uma Visão Educacional do Método dos Elementos Finitos Aplicado ao Eletromagnetismo – LUIZ NATAL ROSSI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0025 – An Application of the Finite-Element Method to Design a Switched Reluctance Motor – PEDRO P. DE PAULA, SÍLVIO I. NABETA, JOSÉ R. CARDOSO
- BT/PEA/0026 – Algoritmos de Alta Velocidade para a Proteção de distância de Linhas de Transmissão – ERVALDO GARCIA JÚNIOR, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/0027 – Sistema de Aquisição e Tratamento de Dados para a Monitoração da Tensão em Regime Permanente – SÍLVIO XAVIER DUARTE, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0028 – Análise da Confiabilidade e Manutenibilidade de Topologias do Sistema de Telefonia Fixa – RICARDO ELIAS CAETANO, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0029 – Aspectos Tecnológicos Referentes à Repotenciação de Usinas Termoeletricas – MÁRCIO NESTOR ZANCHETA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR
- BT/PEA/0030 – Controle de Iluminação Utilizando Dimerização por Lógica Fuzzy, Compensando a Iluminação Natural – ANDRÉ VITOR BONORA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0031 – Identificação do Nível de Redundância das Medidas de um Sistema, para Efeito da Estimação de seus Estados – JOÃO BOSCO AUGUSTO LONDON JUNIOR, NEWTON GERALDO BRETAS
- BT/PEA/0101 – Aplicação do Controlador de Subestação a um Sistema Digital Integrado de Supervisão e Controle – RENATO CAMPANINI TEIXEIRA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0102 – Uma proposta de um Filtro Ativo de Tensão para Aplicações em Redes Elétricas – JOSÉ TOSHIYUKI HONDA, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0103 – Causas de Falhas e Critérios de Reaproveitamento de Transformadores de Distribuição de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica – MIGUEL ANGEL HERNANDEZ TORRES, MARCOS ROBERTO GOUVÊA
- BT/PEA/0104 – Um Sistema para Avaliação de Indicadores de Qualidade da Distribuição de Energia Elétrica – GERSON YUKIO SAIKI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0105 – Métodos de Análise de Sistemas de Aterramento de Linhas Metroviárias – ARMANDO DE OLIVEIRA ALVES DE SOUZA, LUIZ LEBENSZTAJN
- BT/PEA/0106 – Caracterização de Acionamentos na Indústria de Beneficiamento de Minério de Ferro – FERNANDO MARCELO CALADO DE ANDRADE, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0107 – Impacto da Privatização das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica na Qualidade da Energia Suprida – MITSUO NITTA, ADERBAL DE AARUDA PENTEADO JÚNIOR
- BT/PEA/0108 – Estudo Comparativo de Ensaios de Chapa Única para Medidas de Perdas em Aços Elétricos – RONALDO ALVES SOARES, CARLOS SHINITI MURANAKA
- BT/PEA/0109 – Modelagem de Transformadores de Distribuição para Altas Frequências – ARNALDO G. KANASHIRO, ALEXANDRE PIANTINI, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/0110 – Análise e Localização de Descargas Parciais em Transformadores de Potências por Métodos Elétricos – HÉDIO TATIZAWA, GERALDO FRANCISCO BURANI
- BT/PEA/0111 – A Eletrificação Rural em São Paulo – Custos e Padrões – LUIZ FERNANDO KURAHASSI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0112 – A Escola Rural sem Luz em São Paulo - OSWALDO TADAMI ARIMURA, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0113 – Eletrificação Rural no Novo Cenário: O Caso de São Paulo – LUIZ HENRIQUE ALVES PAZZINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0114 – Simulação do Aterramento em Sistemas MRT – OCTÁVIO FERREIRA AFFONSO, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0115 – Otimização do Dimensionamento de Equipamentos para Automação de Terminal de Contêineres – FÁBIO LOPES CARNELOS, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0116 – Sistema de Localização de Faltas para Redes Primárias de Distribuição – GIOVANNI MANASSERO JUNIOR, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/0117 – Proteção de Distância para Linhas de Transmissão com Compensação Série – JOSÉ GERALDO BARRETO MONTEIRO DE ANDRADE, EDUARDO CESAR SENER

- BT/PEA/0118 – Proposta de Acionamento Microprocessado para Empilhadeira Elétrica – MARCO AURÉLIO VILELA DE OLIVEIRA, WALTER KAISER
- BT/PEA/0119 – Técnicas "Anti-Windup" – LUIZ AUGUSTO PEREIRA FERNANDES, CLÓVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0120 – Regulador de Tensão de Gerador – HERALDO SILVEIRA BARBUY, CLÓVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0121 – Eficiência Operativa e Confiabilidade de Equipamentos Associados à Automação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica – REINALDO BURIAN, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0122 – Cálculo de Forças sobre Ímãs Permanentes: Uma Análise do Problema 23 do Team Workshop – HÉLIO JOSÉ DAMANTE, LUIZ LEBENSZTAJN
- BT/PEA/0123 – Análise de Guias de Ondas Ópticos pelo Método dos Elementos Finitos – MARCOS A. R. FRANCO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0124 – Transient Induced Voltage Computation in a High Building Struck by Lightning – CARLOS A. F. SARTORI, A. ORLANDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0125 – Metodologia para Cálculo de Perdas Técnicas por Segmento do Sistema de Distribuição – ANDRÉ MÉFFE, CARLOS CÉSAR BARIONI DE OLIVEIRA
- BT/PEA/0126 – Cálculo da Distribuição da Corrente de Falta em Sistemas de Aterramento de Redes Primárias – GILBERTO DE MAGALHÃES FALCOSKI, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/0127 – Acionamento de Velocidade Variável Utilizando Motores de Corrente Alternada Assíncronos – JOSÉ ALBERTO MARQUES, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0201 – Unified Power Quality Conditioner with Energy Storing Module for Medium Voltage Adjustable Speed Drive – VALBERTO FERREIRA DA SILVA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JÚNIOR
- BT/PEA/0202 – Simulação de Marcha de Composição Ferroviária Acionada por Motores de Indução e PWM – CASSIANO LOBO PIRES, SILVIO IKUYO NABETA
- BT/PEA/0203 – Conservação de Energia Elétrica em Edificações Comerciais: Sistemas de Ar Condicionado com Central de Água Gelada – TEODORO MONGE DE AMORIM FILHO, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/0204 – Reconfiguração de Redes Primárias de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Sistemas de Informações Geográficas – FERDINANDO CRISPINO, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0205 – Previsão de Carga em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Redes Neurais Artificiais – JORGE YASUOKA, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0206 – Correção de Distorções Harmônicas, em Sistemas Industriais, Através de Filtros Passivos - ANTONIO PESTANA NETO, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0207 – Proposta de Metodologia para Controle da Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica a Partir da Segmentação do Mercado Consumidor em Famílias de Redes Elétricas – RODOLFO COLI DA CUNHA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0208 – Modelagens das Funções de uma Subestação Automatizada Empregando Modelos Orientados a Objetos – MILTHON SERNA SILVA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR
- BT/PEA/0209 – Automação de Instalações Elétricas Prediais Através da Internet – ROBSON REBOUÇAS CARDOSO, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/0210 – Identificação Automática de Vagões na Área Portuária: Uma Solução com Análise de Imagens – EDUARDO MANTOVANI, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0211 – Concepção de Sistema de Supervisão e Controle no Processo de Descarga Rodoviária em Terminais Portuários Utilizando Identificadores Automáticos de Veículos – ROGÉRIO COSTA DE OLIVEIRA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0212 – Metodologia para Análise de Perda de Vida Útil de Transformadores, Alimentando Cargas não Lineares – ARLINDO GARCIA FILHO, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0213 – Sistema de Automação para Gestão do Carregamento de Transformadores Baseado na Confiabilidade – JOSÉ LUIZ PEREIRA BRITTES, JOSÉ ANTONIO JARDINI, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0214 – A Conservação, Considerando Aspectos Relacionados à Qualidade de Energia Elétrica na Indústria Têxtil: Estudo de Caso – MÁRIO CÉSAR GIACCO RAMOS, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/0215 – Cálculo de Parâmetros Operacionais de Desempenho de Redes Primárias de Distribuição Utilizando Redes Neurais Artificiais – ANA MARÍA GARCÍA CABEZAS, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0216 – Análise Dinâmica de um Motor de Indução Linear pelo Método dos Elementos Finitos – EDUARDO FERREIRA DA SILVA, SILVIO IKUYO NABETA
- BT/PEA/0217 – Reômetro Rotativo de Taxa de Cisalhamento Imposta Acionado por Motor de Passo – SAMUEL E. DE LUCENA, WALTER KAISER
- BT/PEA/0218 – Acionamentos com Motores Brushless para Sistemas de Ventilação de Emergência – RENATO DE ALMEIDA PEREIRA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0219 – Retificador Trifásico de Alta Eficiência para Tochas de Plasma – MÁRIO GONÇALVES GARCIA JÚNIOR, LOURENÇO MATAKAS JÚNIOR

- BT/PEA/0220 – Impacto de Modelos de Mercado Espacial no Planejamento de Sistemas de Distribuição de Energia – MARIÂNGELA DE CARVALHO BOVOLATO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0221 – Proposta de Recuperador Dinâmico para Correção de Afundamentos de Tensão – FRANCISCO COSTA SARAIVA FILHO, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/0222 – Análise Preditiva de Defeitos em Motores de Indução Trifásicos Utilizando a Corrente de Alimentação – JOSÉ DANIEL SOARES BERNARDO, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0223 – Cálculo de Iluminação Auxiliado por Computadores – NESTOR CÂNDIDO FERREIRA SEGUNDO, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/0224 – Otimização de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Geração Distribuída – JAMEA CRISTINA BATISTA SILVA, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0301 – Algoritmo Digital para a Proteção da Interligação Concessionária – Indústria Operando em Sistemas de Cogeração – FRANCISCO ANTONIO REIS FILHO, EDUARDO C. SENER
- BT/PEA/0302 – Dimensionamento da Infra-Estrutura para Automação de Terminais de Granéis Sólidos – FABIO DEL PAPA, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/0203 – Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia para Estudos de Viabilidade de Plantas de Cogeração – RICARDO SHEIGI ABE, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/0304 – Applying Object-Oriented Technology to Project Hydroelectric Power Plant SCADA Systems – CARLOS ALBERTO VILLACORTA CARDOSO, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0305 – Impactos Econômicos Causados pelos Distúrbios na Rede Básica de Energia Elétrica – JOSÉ JULIO DE ALMEIDA LINS LEITÃO, LINEI BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0306 – Fault Location in Transmission Lines Using One Terminal Post Fault Voltage Data – CARLOS EDUARDO DE MORAIS PEREIRA, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/0307 – Impactos da Aplicação de Lâmpadas Fluorescentes Compactas em Habitações de Baixa Renda no Sistema de Distribuição de Energia Elétrica – LUIS VENTURA CASTELLS PEÑA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0308 – Análise e Melhoria do Controle Automático de Concentração de uma Planta de Ácido Nítrico Diluído – ELCIO RODRIGUES ARANHA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0309 – Criação de Valor na Avaliação de Projetos Termelétricos sob Condições de Risco no Mercado Brasileiro de Energia Elétrica – WAGNER DA SILVA LIMA, DOREL SOARES RAMOS
- BT/PEA/0310 – Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico como Instrumento de Apoio a Regulação da Energia Elétrica – LUIZ MARIO TORTORELLO, MARCOS ROBERTO GOUVÊA
- BT/PEA/0311 – Análise de Transientes em Motor de Indução Modelo ABC/abc Aplicado ao Modelamento e Simulação de Soft-Starters – LUIS CARLOS RIBEIRO DOS SANTOS – CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0312 – Modelamento Matemático e Análise do Funcionamento do Acionamento para Motores de Anéis em Cadeia Sub-Síncrona – SÉRGIO LUIZ VOLPIANO – CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0313 – Considerações do Ambiente Eletromagnético Urbano na Análise de Interferências Eletromagnéticas em Veículos Automotores – GLÁUCIO SANTOS – CARLOS ANTONIO FRANÇA SARTORI
- BT/PEA/0314 – Contribuição a Aplicação das Wavelets na Eletrostática – ALDO ARTUR BELARDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0315 – Avaliação Ponderada da Hidreletricidade e Termelétricidade Através dos Custos Completos – JULIO HENRIQUE BOARATI, MIGUEL EDGAR MORALES UDAETA
- BT/PEA/0401 – Previsão Espacial de Carga em Sistemas de Distribuição Utilizando Técnicas de Inteligência Artificial e Plataforma GIS – FRANZ HENRY PEREYRA ZAMORA, CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0402 – Modeling of Impulse Stressed Distribution Transformer Winding Oriented to Maintenance Purposes – PEDRO LUIS SANTUCCI DE MENDONÇA, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/0403 – Sistema para o Gerenciamento de Imóveis e Ocupação das Faixas de Linhas de Transmissão Utilizando Dados Georreferenciados e de Sensoriamento Remoto – MAURICIO GEORGE MIGUEL JARDINI, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0404 – Proposta de Novas Topologias de Conversores “C-DUMP” para o Acionamento de Motores e Geradores de Relutância Chaveados – WANDERLEI MARINHO DA SILVA, CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0405 – Proposta de Aplicação de Motor de Indução Linear Tubular na Extração de Petróleo – BERNARDO PINHEIRO DE ALVARENGA, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0406 – Aplicação da Automação Elétrica no Controle de Temperatura de Grandes Edifícios – MARLENE DA SILVA BOSCATTO, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0407 – Metodologia de Segurança para Intercâmbio Eletrônico de Documentos Aplicado ao Sistema Portuário Brasileiro – LEVI SALVI, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/0408 – Proposta de um Novo Protocolo de Comunicação para a Saída Serial de Usuário de Medidores de Energia Elétrica – ANDRÉ LUIZ MONTERO ALVAREZ, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/0409 – Estimação de Estado da Rede Durante Variações de Tensão de Curta Duração para o Monitoramento de Qualidade de Energia Elétrica – TANIA PAOLA LEDESMA ARANGO, NELSON KAGAN

- BT/PEA/0410 – Algoritmo Baseado em Redes Neurais Artificiais para a Proteção de Distância de Linhas de Transmissão – RICARDO CANELOI DOS SANTOS, EDUARDO CESAR SENGHER
- BT/PEA/0411 – Modelo Computacional do Sistema de Conversão de Energia Eólica Equipado com Gerador de Indução – MARCELO MORAES, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JUNIOR
- BT/PEA/0412 – Proteção de Planta Termoeletrica Operando em Co-Geração – ANTONIO CARLOS MOSCARDI, JOSÉ AQUILES BAESSO GRIMONI
- BT/PEA/0413 – Compensação de Desequilíbrios de Carga Empregando Conversor Estático Operando com Modulação em Largura de Pulso – RODRIGO CUTRI, LOURENÇO MATAKAS JUNIOR
- BT/PEA/0414 – Probabilistic Model of Feasibility for Distributed Generation in a Competitive Environment – EDSON MARQUES FLORES, MARCOS ROBERTO GOUVEA
- BT/PEA/0415 – Modelamento e Simulação da Máquina Síncrona em Programas de Transitórios Eletromagnéticos – LILIANA PATRICIA JAIMES ROJAS, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/0416 - Steady-State Analysis of the Unified Power Flow Controller (UPFC) and its Capability in Modifying the Transmittable Power - RICARDO LEON VASQUEZ ARNEZ, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/0417 – Proposição e Implementação do Modelo de Troca Eletrônica de Dados para o Sistema Portuário Brasileiro – ANDRÉA LUCIA BRAGA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/ 0418 – Simulação da Geração de Energia Eólica com Gerador Assíncrono na Rede da Enersul – FABIO GALIZIA DE CAMPOS, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO
- BT/PEA/ 0419 – Desenvolvimento de Sistema para Estudo de Tensões Induzidas em Linhas de Média Tensão por Descargas Atmosféricas – THAÍS OHARA DE CARVALHO, ALEXANDRE PIANTINI
- BT/PEA/0420 – Modelo de Integração de Recursos como Instrumento para um Planejamento Energético Sustentável – ANDRÉ LUIZ VEIGA GIMENES, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0421 - Modelos Estatísticos na Otimização de Equipamentos Eletromecânicos - CARINA ALEXANDRA RONDINI MARRETTO, LUIZ LEBENSZTAJN
- BT/PEA/0422 - Sobretensões em Redes de Baixa Tensão Causadas por Descargas Atmosféricas Indiretas – ACÁCIO SILVA NETO, ALEXANDRE PIANTINI
- BT/PEA/0423 – O Racionamento de Energia Elétrica Ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 e seus Efeitos com Ênfase no Consumo de Energia Elétrica – CESAR ENDRIGO ALVES BARDELIN, MARCO ANTONIO SAIDEL