

# UTILIZAÇÃO DE ALGORITMO GENÉTICO PARA ALOCAÇÃO DE GERADORES EM SISTEMAS ISOLADOS DE CORRENTE CONTÍNUA

Diego N. Gewehr, Eduardo D. de Melo, Dionízio Paschoareli Jr.

Faculdade de Engenharia – UNESP – campus de Ilha Solteira

Departamento de Engenharia Elétrica

Av. Brasil Centro, 56, Caixa Postal 51

CEP 15385-000 Ilha Solteira (SP)

e-mail: [dionizio@dee.feis.unesp.br](mailto:dionizio@dee.feis.unesp.br), [diego\\_di@msn.com](mailto:diego_di@msn.com), [dudmelo@yahoo.com.br](mailto:dudmelo@yahoo.com.br),

**Resumo** - Este trabalho apresenta uma metodologia para a alocação de fontes de energia elétrica em sistemas isolados de corrente contínua, utilizando algoritmo genético. Neste estudo, é considerada a alocação de fontes fotovoltaicas, embora a metodologia possa ser generalizada para quaisquer fontes. É desenvolvido uma ferramenta computacional, utilizando-se o programa de simulação Matlab, para a aplicação do algoritmo genético, com o objetivo de se obter a melhor configuração do sistema de corrente contínua de modo a minimizar o número de fontes, reduzindo custos e melhorando o desempenho do sistema.

**Palavras-Chave** – fontes renováveis de energia, energia solar fotovoltaica, alocação de fontes, algoritmo genético, microredes

## GENETIC ALGORITHM FOR GENERATOR ALOCATION IN ISOLATED SYSTEMS DC VOLTAGE

**Abstract** – This paper presents a methodology for electric power sources location in isolated direct current microgrids, using genetic algorithm. In this work, photovoltaic panels are considered, although the methodology can be extended for any kind of dc sources. A computational tool is developed using the Matlab simulator, to obtain the best dc system configuration for reduction of panels quantity, costs and to improve of system performance.

**Keywords** - renewable energy sources, photovoltaic generation, sources location, genetic algorithm, microgrids.

### NOMENCLATURA

[I]: Matriz coluna das correntes fornecidas. pelas fontes.  
[V]: Matriz das tensões nos nós.  
[Gbus]: Matriz de condutâncias.  
n: Número de nós

Artigo submetido em 15/05/2008. Revisões em 04/03/2009 e 02/02/2010. Aceito para publicação na seção especial em Eficiência Energética por recomendação dos editores João Carlos Fagundes e Felix Alberto Farret.

V: Tensão nominal da fonte fornecida pelo usuário

$V_i$ : Tensão em cada nó  $i$  do sistema

## I. INTRODUÇÃO

O crescente consumo de energia elétrica e os impactos ambientais e sociais causados pelas fontes de energia tradicionais, em particular por grandes centrais hidrelétricas ou termelétricas a combustíveis fósseis, levam a sociedade a considerar alternativas limpas e renováveis para geração da energia. Outro fator que favorece o uso de fontes alternativas de energia é o suprimento de energia para regiões isoladas do sistema principal de alimentação (“ilhas energéticas”) sem que sejam necessários investimentos imediatos na ampliação dos sistemas de transmissão instalados [1].

Uma das formas de energia primárias mais abundantes no território brasileiro é justamente a solar, que pode ser diretamente utilizada nas formas fotovoltaica e térmica (além das formas indiretas como na formação de ventos, na fotossíntese, etc.). A energia solar fotovoltaica consiste na conversão da radiação solar em energia elétrica, enquanto que a térmica consiste na conversão da radiação solar em calor. A conversão fotovoltaica apresenta extrema simplicidade, já que é obtida instantaneamente e diretamente dos terminais de uma fotocélula. A inexistência de peças mecânicas móveis, sua característica modular (desde mW até MW), os curtos prazos de instalação e funcionamento, além do elevado grau de confiabilidade e baixa manutenção, torna o sistema fotovoltaico muito atraente, em particular em locais distantes das áreas urbanas. Deve-se destacar também que os sistemas fotovoltaicos representam uma fonte silenciosa e não-poluente, sendo bastante adequados à integração no meio urbano, reduzindo quase que completamente as perdas por transmissão da energia devido à proximidade entre geração e consumo [2].

Durante o planejamento e a implantação de sistemas isolados que utilizam geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, é importante avaliar o seu desempenho utilizando ferramentas de análise de fluxo de potência e de determinação do estado das tensões, para que se possa garantir o fornecimento de uma energia com qualidade adequada, especialmente no que se refere aos níveis e características de tensão exigidos, a continuidade de fornecimento de energia e a redução de perdas ôhmicas. É preciso verificar, por exemplo, como um sistema híbrido, composto por diversos tipos de fonte de energia, pode ser

construído a fim de que possa ser minimizados o número de fontes utilizadas e as perdas nos condutores, diminuindo o custo global do sistema [3].

Em se tratando de sistemas fotovoltaicos como objeto desse tipo de geração, os sistemas atuais podem ser classificados em dois tipos: 1.) gerador e carga isolados e; 2.) pequenas centrais geradoras. No primeiro caso, para cada carga, é montado um conjunto de painéis solares que visam suprir exclusivamente as necessidades da carga. No segundo caso, uma central fotovoltaica (fazendas solares) que pode ser acoplada à rede principal (sistema interligado), alimenta um conjunto de cargas.

A utilização de micro-redes isoladas do sistema interligado é uma realidade, particularmente com a popularização das fontes renováveis e com a desregulamentação do setor elétrico, que torna inviável economicamente o atendimento a localidades remotas. Sendo a micro-rede isolada, abre-se a possibilidade de se trabalhar com frequências distintas da industrial, incluindo-se a corrente contínua. Pequenas redes industriais, pequenas comunidades rurais ou ainda sistemas alimentados “*off-shore*”, podem ser tratados com as mesmas ferramentas de análise utilizadas nos sistemas principais. Desta forma, é importante que se desenvolva ferramentas computacionais adequadas para que se estabeleça critérios de qualidade e confiabilidade para uma nova realidade no setor elétrico, que são as micro-redes com geração distribuída.

Neste trabalho, é apresentada uma proposta na qual um sistema de corrente contínua é tratado como um micro-sistema de geração e distribuição de energia, isolado do sistema interligado principal. A partir da alocação adequada da geração fotovoltaica em determinados pontos do sistema, obtém-se a distribuição de energia necessária para alimentar um conjunto de cargas dentro de parâmetros exigidos. Com esta proposta, é possível diminuir o número de fontes instaladas, reduzindo os custos relativos às fontes. Porém, este sistema possui, inerentemente, perdas de energia nas linhas de distribuição da energia. Este aspecto deve ser levado em consideração para que não se comprometa a economia auferida com a redução no número de fontes.

Neste estudo, é feita a análise do fluxo de potência e avaliado o estado das tensões e as perdas ôhmicas nos condutores, para uma micro-rede em corrente contínua, isolada da rede pública, a partir de informações como número de nós do circuito, fontes de tensão disponíveis, cargas e linhas de transmissão (conexões e características elétricas dos condutores). Desse modo, em um sistema com cargas dispostas de forma radial, alocam-se blocos geradores em lugares determinados de forma a minimizar as perdas e o número de fontes (blocos geradores), proporcionando uma redução nos custos de geração e uma melhor eficiência energética do sistema.

Para determinação dos locais onde devem ser instaladas as fontes, é desenvolvido um programa computacional responsável por avaliar o sistema proposto e determinar a melhor disposição em função do menor número de fontes geradoras e da minimização das perdas. Para tanto, é utilizada uma técnica de programação denominada Algoritmo Genético (AG), visto que existem muitas combinações para se alocar as fontes e, à medida que se

aumenta o número de nós do sistema, essas possibilidades aumentam exponencialmente, resultando em um grande esforço computacional para realizar os cálculos de todas as configurações possíveis para se obter o melhor resultado global.

O Algoritmo Genético torna desnecessário o cálculo de todas essas possibilidades, fazendo com que, através de um conjunto de configurações (indivíduos) geradas aleatoriamente, possa-se chegar a um ótimo indivíduo, através de métodos baseados e inspirados na biologia evolucionista, tais como a seleção natural, a mutação e a recombinação.

## II. ALGORITMO GENÉTICO

Os princípios biológicos que inspiram o Algoritmo Genético (AG) são simples: a seleção natural, que escolhe os melhores indivíduos da população, a recombinação, que troca informações entre os melhores, e a mutação, que altera os indivíduos de modo a melhorá-los.

Como no meio ambiente, os indivíduos melhores adaptados têm mais chance de se reproduzir e de perpetuar suas boas características. É baseado nesta evolução que os algoritmos são desenvolvidos, buscando gerações de indivíduos cada vez melhores em relação aos objetivos esperados [4].

Todos os problemas envolvendo AGs têm uma representação específica. Essa representação pode ser binária, decimal ou através de símbolos, dependendo do problema e das características que se deseja manipular geneticamente. Neste trabalho, foi escolhida a representação binária, por ser de fácil manipulação e entendimento. Por exemplo, em um sistema com 8 nós, com cargas distribuídas de forma radial e alocadas em todos os nós disponíveis, um possível indivíduo seria o seguinte:

1 0 0 1 0 0 0 1 (possível indivíduo)

Onde se tem o número um, existe uma carga e uma fonte geradora de tensão; onde se tem zero, existe simplesmente uma carga.

O primeiro passo desta metaheurística é criar uma população inicial (matriz com vários indivíduos), que é criada de forma aleatória e codificada na forma escolhida (no presente caso, forma binária) [5].

Posteriormente é feita uma avaliação para que, através de uma função objetivo (FO), os indivíduos sejam classificados e, suas características, ressaltadas.

Um dos processos mais importantes em um AG é o processo de seleção, que consiste em classificar os indivíduos melhores adaptados de modo a aumentar suas chances de reprodução e sobrevida em uma população. Existem vários mecanismos de seleção proporcional, tais como, por torneio, por normalização linear e por normalização exponencial. No presente trabalho, a seleção por torneio é utilizada, que é feita escolhendo-se uma quantidade de indivíduos aleatoriamente e, dentre eles, escolhendo-se o indivíduo de melhor função objetivo [6]. Em seguida é aplicado o operador genético recombinação nos indivíduos selecionados anteriormente, realizando então

a troca de parcelas entre estes, sendo esta feita de forma aleatória, como mostra a figura 1.

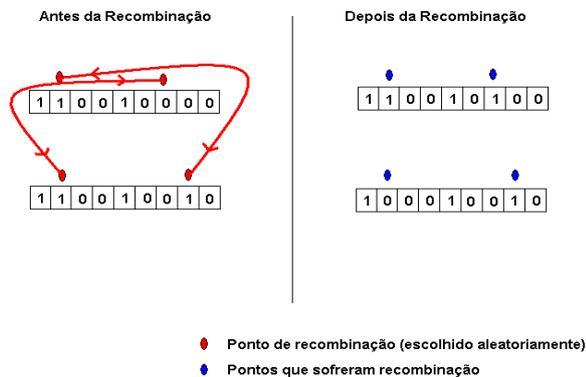


Fig. 1. Processo de recombinação

O próximo operador genético a ser utilizado é a mutação, que consiste, no caso da representação binária, na troca de 0 por 1 ou 1 por 0. Nesse processo nem todos os indivíduos sofrerão mutação, pois caso isso acontecesse, características importantes provenientes da recombinação provavelmente seriam perdidas. Normalmente de 5 a 7 por cento dos indivíduos sofrem mutação, enquanto que todo o restante permanece como estava após a recombinação. Os indivíduos e os pontos que irão sofrer mutação são escolhidos de forma aleatória.

O Algoritmo é repetido de modo a criar várias gerações, encontrando indivíduos cada vez melhores. Este processo só termina após o programa satisfazer algum critério de parada, por exemplo: atingir um número específico de iterações, encontrar uma solução ótima ou quando não há evolução nas gerações.

Esta metaheurística garante o melhoramento de um sistema, pois, a cada iteração, os indivíduos que se reproduzem, por apresentarem boas características, geram outros cada vez melhores, convergindo para uma ótima solução.

### III. PROGRAMA ALOCAÇÃO

O software para a alocação de fontes em sistemas isolados tem sua entrada de dados e todo o algoritmo para os cálculos desenvolvido na plataforma Matlab, que foi utilizada como linguagem de programação. Foram feitos os cálculos das variáveis do sistema elétrico (tensão, corrente e potência), além da programação do algoritmo genético.

O programa é utilizado para que possa ser obtido o melhor arranjo para a alocação das fontes, de modo que se possa fornecer tensão a todas as cargas, dentro de uma margem especificada para variação destas tensões, com o número mínimo de fontes e a menor perda ôhmica global no sistema.

A entrada de dados é bastante simples devido à uma boa conversacionalidade entre o programa e o usuário. O programa também possui um tratamento de erros refinado, impedindo a entrada de dados equivocados e em formatos incorretos.

O software pode ser dividido nos seguintes blocos:

- Entrada dos dados do sistema
- Cálculo dos parâmetros
- Algoritmo Genético aplicado ao problema
- Geração de um relatório

#### A. Entrada dos Dados do Sistema

O programa é capaz de fornecer uma solução a partir dos seguintes dados fornecidos pelo usuário:

- O número de nós do sistema
- O valor da tensão fornecida pelas fontes
- As distâncias entre cada dois nós consecutivos
- A bitola do fio que será utilizado no sistema
- A potência de cada carga

Com essas entradas, o software calcula o valor das resistências nas linhas e nas cargas, fornecendo então a matriz  $R_{bus}$ .

#### B. Cálculo dos parâmetros

Para o cálculo dos parâmetros do sistema, foi utilizado o Método dos Nós [7].

Neste caso:

$$[I]=[V]*[G_{bus}] \quad (1)$$

Onde:

- [I] - Matriz coluna das correntes fornecidas pelas fontes.
- [V] - Matriz das tensões nos nós.
- [G<sub>bus</sub>] - Matriz de condutâncias.

Porém, como o valor da tensão fornecida pelas fontes é conhecido, e não as correntes, não é possível aplicar este método de maneira direta. Faz-se, então, necessário acrescentar novas equações a este sistema linear.

Observa-se que, para cada fonte instalada no sistema, inclui-se uma nova equação na matriz. Essa equação é obtida a partir da tensão no nó onde a fonte é alocada. No programa, a tensão  $V$  é um dado de entrada fornecido pelo usuário. Segue uma demonstração para este processo:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{bus_{11}} & G_{bus_{12}} \\ G_{bus_{21}} & G_{bus_{22}} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Neste exemplo, temos que a fonte foi instalada no nó 2. Como  $I_2$  não é conhecido, insere-se uma nova equação à matriz, sendo esta:

$$V=V_2 \quad (3)$$

Onde:

- V: Valor da tensão da fonte, fornecida pelo usuário.

Logo, obtém-se a seguinte matriz:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & 0 \\ G_{21} & G_{22} & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Desta forma, o sistema linear possui três equações e três incógnitas, sendo possível calcular os valores de  $V_1$ ,  $V_2$  e  $I_2$ .

Estes cálculos são realizados para todos os indivíduos gerados nos processos do Algoritmo Genético.

Com os valores das tensões nos nós, é possível fazer uma análise das quedas de tensões nas linhas e, com as correntes obtidas, pode-se calcular as potências efetivas que cada fonte deve fornecer.

### C. Algoritmo Genético para Alocação de Fontes

Este algoritmo foi dividido em 5 sub-rotinas:

- População Inicial
- Função Objetivo
- Seleção
- Recombinação
- Mutação

A primeira sub-rotina gera uma matriz binária de forma aleatória, onde cada coluna representa uma configuração diferente em termos dos locais de inserção das fontes. Cada configuração é chamada de indivíduo, e essa matriz é chamada de População Inicial (PI).

O número de indivíduos da PI (A), admitidos neste trabalho, é igual a 9% do número total das configurações possíveis (ID) em se tratando de indivíduos de poucos nós ( $n < 10$ ), e dez vezes o número de nós dos indivíduos, em se tratando de indivíduos com muitos nós ( $n > 10$ ), sendo:

$$ID = 2^n - 1 \quad (5)$$

Da equação 5 verifica-se que o número total de configurações diferentes está diretamente ligado ao número de nós, pois quanto mais nós o sistema apresentar maior é o número de locais onde fontes podem ser inseridas, caracterizando assim indivíduos diferentes. Para sistemas com mais de 10 nós, o número de configurações possíveis começa a crescer rapidamente. Isso é conhecido como explosão combinatória. Por exemplo, um sistema com 20 nós teria um milhão quarenta e oito mil quinhentos e setenta e cinco configurações diferentes em termos de alocação das fontes.

Para cada indivíduo gerado, é feito o cálculo da função objetivo (FO). A FO desse programa é constituída por três parcelas, conforme mostra a equação 6. O objetivo deste algoritmo é minimizar o valor de FO para encontrar uma ótima solução.

$$FO = \sum_{i=1}^n (f_i) + K_1 + \left[ \sum_{i=1}^n (V - V_i) \right] * 0,0001 \quad (6)$$

onde:

- n - número de nós
- V - tensão nominal da fonte fornecida pelo usuário
- $V_i$  - tensão em cada nó i do sistema

$$f_i = \begin{cases} 1 \rightarrow se\_houver\_fonte \\ 0 \rightarrow se\_n\tilde{a}o\_houver\_fonte \end{cases}$$

$$K_1 = \begin{cases} (0,9*V - V_i)*100 \rightarrow Se\_V_i < 0,9*V \\ (V_i - V)*0,01 \rightarrow Se\_V_i > 0,9*V \end{cases}$$

O número de fontes é a principal característica da FO, ou seja, essa é a parcela de maior significância, visto que o objetivo deste programa é encontrar um indivíduo dentro dos padrões de qualidade, mas que tenha o menor número de fontes possível. Conforme visto na equação 6, a primeira parcela da é o somatório do número de fontes do indivíduo.

No segundo termo da equação 6, o indivíduo pode, ou não, ser penalizado. Elementos que não satisfazem o valor máximo de queda de tensão, neste trabalho definida como 10% do valor nominal da tensão da fonte, sofrem um aumento na ordem de grandeza, fazendo com que a função objetivo cresça demasiadamente, diminuindo as possibilidades de este indivíduo ser selecionado na próxima etapa do algoritmo.

Podem acontecer que duas configurações diferentes apresentem o mesmo número de fontes e a mesma menor tensão. Com isso, faz-se necessário acrescentar à FO uma outra parcela responsável por encontrar o melhor dos dois indivíduos. Essa parcela da FO soma as diferenças entre a tensão fornecida pelas fontes e as tensões de cada nó e, em seguida, multiplica o resultado por 0,0001. O indivíduo que apresentar tensões mais próximas da tensão da fonte será considerado melhor, lembrando que esta parcela não afeta as anteriores.

Desta forma, todos os indivíduos são classificados, dando-se início ao processo de seleção.

Este trabalho, como dito anteriormente, utiliza o processo de seleção por torneios. Esta etapa começa com a escolha aleatória de três indivíduos da geração atual. Seleciona-se, então, o melhor indivíduo entre os três, o qual fará parte da recombinação. Isso é feito até que se tenha todos os indivíduos necessários para a recombinação (a mesma quantidade de indivíduos da geração atual).

Essa sub-rotina começa definindo, aleatoriamente, dois indivíduos entre os selecionados anteriormente. Os então escolhidos não são selecionados mais de uma vez, o que garante que todos os indivíduos sofram recombinação.

Posteriormente, escolhem-se aleatoriamente dois pontos de recombinação em cada indivíduo e, então, inicia-se o processo descrito na figura 1.

A próxima etapa é a determinação da taxa de mutação que é, nesse caso, o número de indivíduos que passará por esse operador genético. Neste trabalho, essa taxa é de 7%. Os indivíduos escolhidos aleatoriamente sofrerão mutação.

Os processos citados acima acontecem de forma cíclica até que seja satisfeito um dos critérios de parada.

O primeiro critério de parada verifica se não há evolução nas gerações e o segundo critério determina um número máximo de gerações, interrompendo o programa. Este critério é apresentado na figura 2.

#### D. Geração de relatório

Após todas as etapas descritas anteriormente, o programa gera um relatório com a melhor configuração para a alocação das fontes, os valores das tensões em cada nó, e a potência fornecida por cada fonte.

#### E. Fluxograma simplificado.

O fluxograma simplificado do programa, com as respectivas sub-rotinas utilizadas, é apresentado na figura 2.

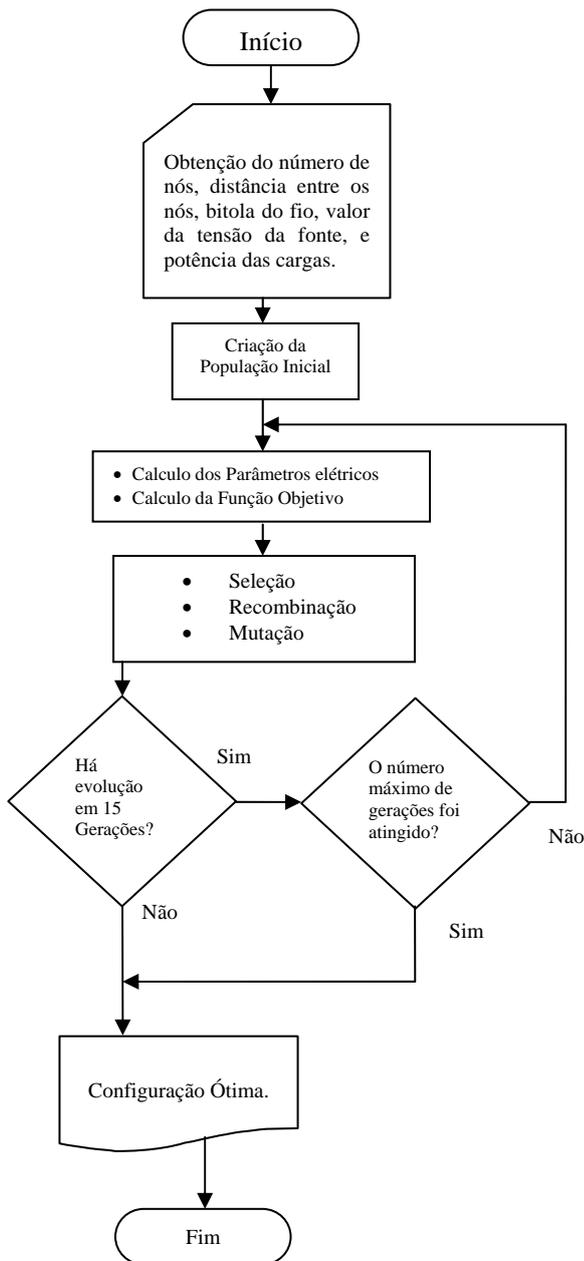


Fig. 2. Fluxograma simplificado do programa.

## IV. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

O exemplo a seguir representa uma micro-rede alimentada em corrente contínua, isolada, com as cargas distribuídas de forma radial, representando, por exemplo, uma comunidade com oito casas isoladas da rede pública. Neste caso, são instaladas fontes com tensão nominal de 100 V, bitola do fio de 6 mm<sup>2</sup> e a distribuição das cargas conforme mostra a tabela 1. A figura 3 ilustra esse sistema com apenas uma fonte no nó 1.

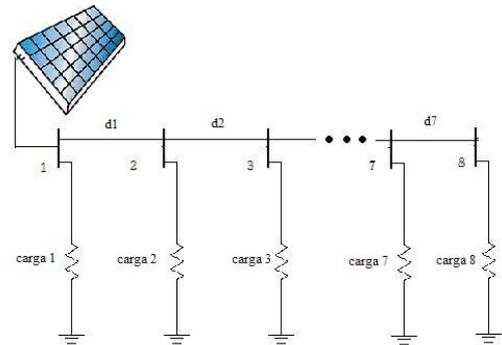


Fig. 3. Ilustração simplificada de um sistema de 8 nós

**TABELA I**  
**Distribuição das cargas em um sistema de 8 nós**

Nós	Cargas (W)	Distância entre esse nó e o adjacente (m)
1	1000	50
2	2500	70
3	1350	100
4	3000	60
5	3500	120
6	3000	200
7	2000	350
8	4000	-----

As simulações resultaram na necessidade da alocação de três fontes, de modo a se obedecer a variação máxima de tensão de 10%. As fontes foram instaladas nos nós 3, 6 e 8.

As tensões em cada nó para este sistema estão representadas na Tabela II.

**TABELA II**  
**Tensões nos nós e Potência nas fontes**

Nó	Tensão no nó (V)	Potencia exigida das fontes
1	92,06	
2	93,39	
3	100	7720 W
4	90,96	
5	90,32	
6	100	6970 W
7	93,13	
8	100	4677 W

Conforme observado na Tabela II, todas as tensões nas cargas obedecem à tolerância estabelecida para as quedas de tensão (10% do valor máximo). E esta configuração tem um número mínimo de fontes possíveis para esse sistema, sendo essa uma ótima solução. O sistema proposto foi simulado no Pspice e certificou-se que, avaliando-se todas as

possibilidades de combinações para a alocação das fontes, de fato, não há uma melhor solução.

Essa simulação também foi feita para um sistema radial com vinte e cinco nós, com cargas distintas distribuídas em todos os nós. As linhas também são de comprimentos distintos. Neste caso o programa encontrou como melhor solução um sistema com cinco fontes geradoras, sendo elas alocadas nos nós: 4, 8, 14, 20 e 24. É importante ressaltar que para este caso haveria trinta e três milhões quinhentos e cinquenta e quatro mil quatrocentos e trinta e uma configurações distintas (equação 5) a serem calculadas e comparadas entre si para que fosse encontrado o sistema ótimo.

## V. CONCLUSÕES

Neste trabalho, é discutida a necessidade de se avaliar a alocação de fontes de corrente contínua em um sistema isolado, levando-se em conta a melhor utilização da potência instalada e a redução de perdas ôhmicas. A falta de uma análise sob o ponto de vista sistêmico pode resultar em custos adicionais ou em uma má qualidade da energia no sistema isolado considerado.

A aplicação do Algoritmo Genético para a alocação de fontes demonstrou ser bastante eficiente. Foram feitas várias simulações em sistemas de corrente contínua de até vinte e cinco nós, com a convergência para soluções que apresentavam o menor número de fontes para uma dada condição de tensão nos nós. A eficiência deste método é resultado do bom desempenho do algoritmo genético e da escolha apropriada dos operadores genéticos. Embora o programa possa não convergir para o melhor resultado possível em alguns casos, esta metaheurística garante que a solução obtida será uma boa configuração.

É avaliada a potência das fontes a serem alocadas e as perdas ôhmicas nos condutores, em função da distribuição das fontes.

Os próximos passos para a evolução desta proposta será incluir, na função objetivo, termos relativos aos custos das fontes, já que, neste momento, o programa está realizando a alocação de fontes apenas baseando-se na queda de tensão nos nós.

Novas pesquisas têm sido realizadas com o intuito de se fazer uma análise mais aprimorada dos custos destes sistemas isolados em corrente contínua, alimentados particularmente por fontes fotovoltaicas. Dessa forma será inserida ao programa proposto uma rotina para o dimensionamento dos componentes do sistema, incluindo as fontes. O programa de dimensionamento já foi apresentado anteriormente por este Grupo de Pesquisa [8].

O principal objetivo deste trabalho é fomentar a idéia de se trabalhar em sistemas de corrente contínua isolados,

minimizando o número de fontes para suprir a demanda necessária e reduzir perdas. Este estudo é parte de pesquisas desenvolvidas para a avaliação de sistemas isolados alimentados por fontes renováveis, constituindo um sistema híbrido em corrente contínua.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Scheer, *Economia Solar Global. Estratégia para Modernidade Ecológica*. CRESESB-CEPEL, Rio de Janeiro, 2002.
- [2] Cresesb, *Tutorial Energia Solar, princípios e aplicações*, disponível em <http://www.cresesb.cepel.br>, Rio de Janeiro, 2007.
- [3] N. Hatziargyriou, H. Asano, R. Irvani, C. Marnay, "Microgrids", *Power and Energy Magazine*, IEEE vol. 5, no. 4, pp.78-94, July-Aug./2007.
- [4] M.A.C. Pacheco, "Algoritmos Genéticos: Princípios e Aplicações", *INTERCON 99: V Congresso Internacional de Ingeniería Electrónica, Eléctrica Y Sistemas*, pp. 11-16, Lima, 1999.
- [5] M. N. Campos, K. Saito, *Sistemas inteligentes em controle e automação de processos*, Ciências Moderna, Rio de Janeiro, 2004.
- [6] F.J. Zuben, *Computação Evolutiva: Uma Abordagem Pragmática*, Tutorial UNICAMP, disponível em <ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/vonzuben/tutorial/tutorialEC.pdf>, 2000.
- [7] G. W. Stagg, A. H El-Abiad, *Computer methods in power system analysis*, Mc-Graw Hill, USA, 1968.
- [8] D Paschoareli Jr, R.M. Sanches, F.J.M Seixas, "Desenvolvimento de um Programa Computacional para o Dimensionamento de Sistemas Fotovoltáicos de Energia", *4º Encontro de Energia no Meio Rural – Agrener 2002*, Campinas (SP), 2002.

## DADOS BIOGRÁFICOS

**Dionízio Paschoareli Jr.** é professor adjunto do Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia, UNESP, campus de Ilha Solteira. Suas áreas de interesse são: controladores eletrônicos em sistemas de corrente alternada, fontes renováveis de energia e geração distribuída.

**Diego Nelson Gewehr**, graduando do curso de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia, UNESP, campus de Ilha Solteira. Suas áreas de interesse são: fontes renováveis de energia e geração distribuída.

**Eduardo Diniz de Melo**, graduando do curso de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia, UNESP, campus de Ilha Solteira. Suas áreas de interesse são: fontes renováveis de energia e geração distribuída.