

APLICAÇÃO DE ALGORITMO GENÉTICO EM PROJETOS DE PEQUENOS CIRCUITOS ELÉTRICOS

Waleska de Souza Lima Ribeiro¹, Vinícius Albuquerque Cabral² e Ivo Chaves Silva Junior³

Resumo: Este trabalho consiste na determinação ótima de parâmetros elétricos em projetos de circuitos elétricos utilizando o método de otimização bioinspirado denominado Algoritmo Genético. Tal método tem como base inspiradora a teoria da evolução de Charles Darwin, na qual os indivíduos mais aptos ao meio sobrevivem e têm a oportunidade de gerar descendentes. Diante de um problema exemplo de circuitos elétricos foi feita a implementação no software MATLAB e resolvido via Algoritmo Genético. Com a utilização de parâmetros distintos na busca de uma resposta ótima e viável dentro da região de soluções possíveis, as respostas obtidas pelo método bioinspirado foram validadas pelo método clássico recursivo de resolução de problemas discretos conhecido como método exaustivo. Diante dos dados finais, foi possível realizar uma análise quantitativa entre os métodos de resolução do problema, bem como a análise do impacto das parâmetros estabelecidos para o algoritmo genético.

Palavras-chave: Método de otimização heurístico bioinspirado, resposta ótima, método exaustivo.

INTRODUÇÃO

Métodos de otimização bioinspirados (YANG, 2010), tais como o Algoritmo Genético (AG), vêm ganhando cada vez mais destaque nas mais diversas áreas de conhecimento, como análises do processamento ótimo industrial (GONÇALVES C. O. et al 2014), desenvolvimento de novas tecnologias na área de robótica (FURTADO L. et al, 2015), análise ótima de sistemas de transmissão de energia (MENDONÇA, I. M. et al, 2013), modelagem ótima de processos químicos (SAMED M. M. A. et al, 2007), entre outras. Os métodos de otimização bioinspirados têm maior apelo em problemas de natureza multimodal

(problemas com inúmeras soluções) e/ou com tempos de resolução proibitivos. Problemas estes que não são bem tratados por métodos clássicos de otimização.

Em engenharia elétrica, uma das aplicações de utilização dos métodos bioinspirados é no projeto de circuitos elétricos (RIBEIRO F. S. et al, 2013). A complexidade dos projetos de circuitos é variada e com ajuda computacional, tais circuitos elétricos tornam-se menos complexos de serem projetados e analisados.

O projeto de circuitos elétricos consiste em determinar a topologia do circuito e/ou os valores ótimos de cada um

1 Universidade Federal de Juiz de Fora - waleska.lima@engenharia.ufjf.br

2 Universidade Federal de Juiz de Fora - albuquerque.vinicius@engenharia.ufjf.br

3 Universidade Federal de Juiz de Fora - ivo.junior@ufjf.edu.br

dos componentes de forma que o circuito atenda seu propósito, porém dentro de determinadas especificações operacionais. Os projetos podem envolver desde circuitos elétricos de pequeno porte até circuitos de grande porte, como sistemas transmissão e distribuição de energia elétrica (ALEXANDER, C. K, 2003; COSTA, V. M. , 2013). Dessa forma, projetar e/ou analisar circuitos elétricos são de fundamental importância para engenharia elétrica.

O presente trabalho consiste em projetar um pequeno circuito elétrico, vide Figura 1, através das equações que regem o modelo e, a partir de um algoritmo genético, encontrar os valores dos resistores (R_1 , R_2 , R_3 e R_4) que satisfaçam as condições estabelecidas pelo projeto, sendo consideradas as seguintes condições:

- A corrente elétrica passante pelo resistor R_3 deve ser de 3A;
- Os resistores disponíveis para o projeto possuem valores inteiros dentro do seguinte intervalo $[1,18] \Omega$;

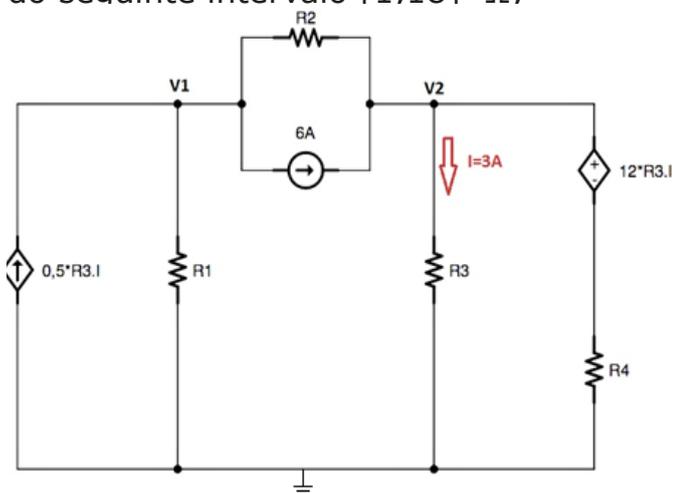


Figura 1: Circuito Elétrico em Análise.

ALGORITMO GENÉTICO

Método de otimização probabilístico inspirado na teoria evolutiva de Charles Darwin (DARWIN C., 1974). os Algoritmos Genéticos (AG) podem ser definidos como algoritmos de busca estocástica

baseados em mecanismos de evolução e fazem parte dos sistemas computacionais bioinspirados.

John Holland (HOLLAND, J. H., 1992) foi o precursor dos AG's e pelo início da aplicação desses conceitos para resolver problemas nas mais diversas áreas do conhecimento.

Um dos motivos que levam ao crescente interesse por esse método é a sua robustez, principalmente quando aplicados em problemas de natureza combinatória (normalmente de difícil trato computacional). A adoção de técnicas de hibridização, que incorporam conhecimentos específicos sobre o problema através de heurísticas, torna os AG's ainda mais robustos e eficientes.

O funcionamento dos AG's é bastante simples. Inicialmente são gerados indivíduos de forma aleatória, compondo uma população; cada indivíduo corresponde a uma possível solução do problema. Em seguida, esses indivíduos são avaliados a fim de se obter o grau de adaptação de cada um. Então, selecionam-se alguns indivíduos da população para sofrerem cruzamentos e mutação, formando então uma nova população. Essa seleção é baseada nos valores de adaptação, de forma que se privilegiem os indivíduos mais adaptados. O processo se repete até que seja atingido algum critério de parada. A Figura 2 apresenta um fluxograma básico de um algoritmo genético.

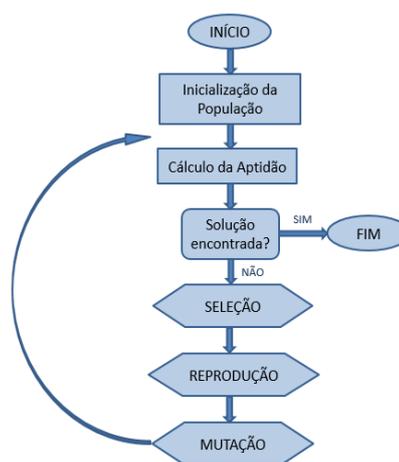


Figura 2: Fluxograma Básico AG.

A seguir, definem-se alguns termos importantes para o estudo dos AG's:

- **Geração** – iteração que o AG executa.
- **Indivíduo** – representação da solução de um determinado problema através de um vetor de caracteres, onde cada caractere é chamado de gene.
- **População** – conjunto de indivíduos (soluções).
- **Tamanho da População** – quantidade de indivíduos da população.
- **Função de Aptidão** – função que mede o grau de aptidão dos indivíduos – também conhecida como “fitness”; deve estar diretamente (problemas de maximização) ou inversamente (problemas de minimização) relacionada com o valor da função objetivo do problema em análise.
- **Seleção** – processo que escolhe os indivíduos para o cruzamento.
- **Cruzamento** – processo de troca de material genético entre indivíduos com o objetivo de se obter novos indivíduos (descendentes).
- **Mutação** – processo que atua sobre os genes dos indivíduos, modificando seu valor.

Alguns parâmetros influenciam diretamente em um melhor desempenho e até mesmo na convergência dos AG's. Estes podem influenciar mais ou menos dependendo da aplicação dos mesmos. Dentre os diversos tipos de parâmetros, tem-se: Tamanho da população; Taxa de cruzamento; Taxa de Mutação; Convergência e o Elitismo. Mais detalhes sobre estes parâmetros e sobre o próprio algoritmo podem ser obtidos em (LINDEN, 2008).

ENUMERAÇÃO EXAUSTIVA

A enumeração exaustiva é um método computacional que garante a otimalidade de sua solução. O método consiste em testar todas as possíveis combinações entre as variáveis do problema e armazenar todas as soluções factíveis, soluções estas que obedecem às condições do projeto. Para a

implementação do método da enumeração exaustiva foi utilizado o software MATLAB, versão estudante. A implementação foi feita de forma a calcular a corrente “I” no resistor “R3”; para todas as possíveis combinações de resistências. Como cada um dos quatro resistores podem assumir valores inteiros dentro do seguinte intervalo $[1,18] \Omega$ têm-se um total de 18^4 combinações possíveis. Caso a solução a ser analisada dê origem a uma corrente igual a de projeto, a combinação (solução) é armazenada.

MODELAGEM DO PROBLEMA

Diante do circuito elétrico e das condições impostas de projeto, optou-se em utilizar o método de análise nodal para a modelagem do circuito (ALEXANDER, C. K, 2003; COSTA, V. M. , 2013). As equações (1), (2) e (3) são referentes as equações nodais e a equação adicional que regem matematicamente o circuito em análise.

- Equação do nó 1:

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_1 - V_2}{R_2} + 6 = 0,5 \cdot I \quad (1)$$

- Equação do nó 2:

$$\frac{V_2}{R_3} + \frac{V_2 - V_1}{R_2} + \frac{V_2 - 12 \cdot I}{R_4} = 6 \quad (2)$$

- Equação adicional:

$$\frac{V_2}{R_3} = I \quad (3)$$

Com os valores de R_1 , R_2 , R_3 , E R_4 , conhecidos, as variáveis do modelo são as tensões V_1 , V_2 e a corrente I. Na forma matricial tem-se a equação (4).

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} & -\frac{1}{R_2} & -0,5 \\ -\frac{1}{R_2} & \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} & -\frac{12}{R_4} \\ 0 & 1 & -R_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -6 \\ 6 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Como se trata de um sistema de equações lineares da forma "A·X=B", para obter as variáveis é necessário inverter a matriz A e multiplicar pela vetor B, vide sistema de equações (5).

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} & -\frac{1}{R_2} & -0,5 \\ -\frac{1}{R_2} & \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} & -\frac{12}{R_4} \\ 0 & 1 & -R_3 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} -6 \\ 6 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Pelo sistema de equações (5) é possível verificar que o valor da corrente de projeto (I) vai depender dos valores dos resistores que serão utilizados no circuito elétrico. Ou seja, como cada um dos quatro resistores podem assumir valores inteiros dentro do seguinte intervalo [1,18] Ω têm-se um total de 18⁴ combinações possíveis. Entretanto, a procura é por uma combinação que dê origem a uma corrente de 3A passante por R3. Para tanto, cada indivíduo do AG corresponde a possíveis valores de resistência (R₁, R₂, R₃ e R₄), sendo a função objetivo correspondente ao erro entre a corrente calculada, pela equação (5), e a corrente de projeto cujo valor é de 3A. Sendo assim, o AG tem como objetivo determinar os valores ótimos dos resistores de modo a minimizar o erro absoluto entre o valor calculado e o imposto pelo projeto, vide equação (6).

$$FOB = | I - 3 | \quad (6)$$

O formulação geral do problema de otimização em estudo é apresentado a seguir.

$$\text{Min } FOB = | I - 3 |$$

s. a

$$I = \frac{V_2}{R_3}$$

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_1 - V_2}{R_2} + 6 = 0,5 \cdot I$$

$$\frac{V_2}{R_3} + \frac{V_2 - V_1}{R_2} + \frac{V_2 - 12 \cdot I}{R_4} = 6$$

$$0 < R_1, R_2, R_3, R_4 \leq 18$$

$$R_1, R_2, R_3, R_4 \in \mathbb{Z} +$$

Como o objetivo é o mínimo desvio da corrente em relação ao valor de projeto, a função de aptidão, equação (7), deve receber o inverso do valor da função objetivo (LINDEN, 2008). Nesta caso, uma constante k foi adicionada para evitar divisão por zero. Adotou-se k=0,01.

$$F_{\text{apt}} = \frac{1}{FOB+k} \quad (7)$$

Desta forma, a função de aptidão tenderá a um valor alto quando a corrente estiver próxima do valor de projeto, 3A. Ou seja, soluções com alto valor de aptidão representam soluções de melhor qualidade.

RESULTADOS

As análises aqui apresentadas foram realizadas através do software MATLAB, versão estudante. Os resultados obtidos pelo AG foram validados através do método de enumeração exaustiva e através do simulador de circuitos elétricos, iCircuit. A implementação do modelo matemático e a análise dos resultados foram realizados no Laboratório de Computação da Engenharia Elétrica (LACEE) – UFJF.

O programa desenvolvido foi executado 500 vezes variando o número de indivíduos e para cada simulação foi verificada a frequência de obtenção da solução ótima, bem como o tempo computacional médio de simulação, vide

Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados das Simulações- Algoritmo Genético

Simulação	Numero de Indivíduos	Frequencia de otimalidade	Tempo Computacional Médio por execução
1	5	3,20%	0,0913 segundos
2	10	59,80%	0,1277 segundos
3	100	83,00%	0,5048 segundos

Observa-se, Tabela 1, que o aumento do número de indivíduos faz com que ocorra um aumento da frequência na obtenção de valores de resistência que atendem as condições impostas pelo projeto. Entretanto, um aumento do tempo computacional é observado.

As Tabelas 2, 3 e 4 trazem os valores ótimos, dos resistores que garantem a passagem de corrente em R3 no valor especificado de projeto, para cada uma das três simulações realizadas. Ou seja, pode-se concluir que existem mais de uma combinação de valores de resistência que atendem as condições de projeto previamente estabelecidas.

Tabela 2 - Solução via algoritmo genético com 5 indivíduos

R1(Ω)	R2 (Ω)	R3 (Ω)	R4 (Ω)
12	18	12	9

Tabela 3 - Solução via algoritmo genético com 10 indivíduos

R1 (Ω)	R2 (Ω)	R3 (Ω)	R4 (Ω)
1	5	9	6

Tabela 4 - Solução via algoritmo genético com 100 indivíduos

R1 (Ω)	R2 (Ω)	R3 (Ω)	R4 (Ω)
13	6	9	6

O gráfico de convergência referente à terceira simulação é apresentada pela Figura 3.

A curva em vermelho representa a função de aptidão do melhor indivíduo e em azul representa o valor médio da função de aptidão de toda população. É possível analisar quantitativamente a função objetivo através deste gráfico, uma vez que a mesma é o inverso da função de aptidão. Tal análise demonstra a convergência ótima do problema, uma vez que a FOB tende a zero, atendendo à condição imposta de projeto. Destaca-se que o número máximo de iterações, com iterações, foi usado como critério de parada do AG.

Com o auxílio do simulador iCircuit foi possível verificar a otimalidade das respostas obtidas. Para tanto, o circuito proposto foi simulado com os valores dos resistores obtidos pelo AG e a corrente que passa em R3 foi avaliada. Na Figura 4 é mostrado o circuito elétrico em análise com os valores de resistências obtidos na terceira simulação, onde se pode verificar que a condição de corrente (projeto) foi satisfeita.

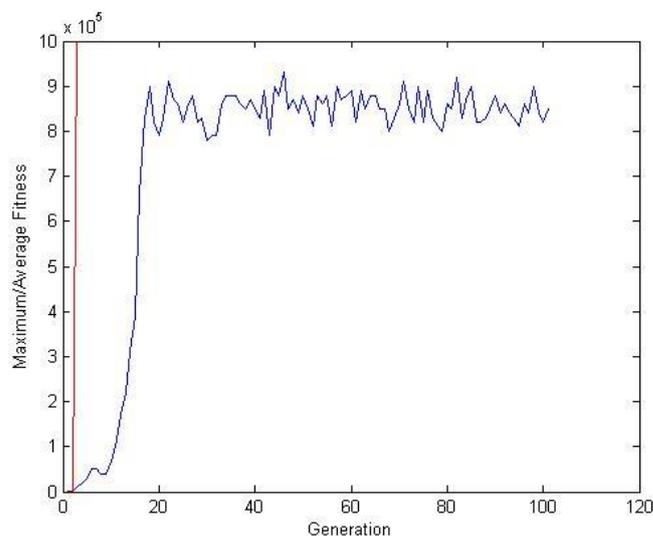


Figura 3: Gráfico de Convergência – Terceira Simulação.
R1 = 13 Ω R2 = 6 Ω R3 = 9 Ω R4 = 6 Ω

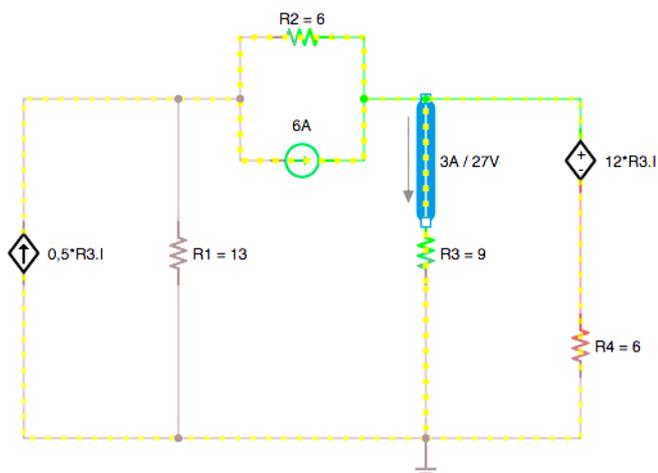


Figura 4: Circuito em Análise - iCircuit - Terceira Simulação.

Em uma última análise fez-se uso do método de enumeração exaustiva para validar as soluções apresentadas pelo AG. Nesta simulação foram avaliadas todas as 18^4 combinações possíveis, onde se pode constatar a veracidade das soluções obtidas pelo AG e que para circuitos elétricos de grande porte, com grande número de combinações, a enumeração exaustiva pode ser inviável computacionalmente (alto tempo de simulação).

Como o algoritmo genético é um método probabilístico, não são testadas todas as possíveis combinações e desta forma, o tempo de execução do AG tende a ser menor. Sendo assim, o AG não garante a otimalidade das soluções encontradas (ótimo global), garantia esta fornecida pelo méto-

do de enumeração exaustiva.

CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, podem-se citar algumas conclusões:

- Os resultados alcançados via algoritmo genético podem ser considerados satisfatórios, uma vez que as soluções obtidas atendem as condições de projeto e foram obtidas em tempos computacionais aceitáveis.
- O método de enumeração exaustiva tem como vantagem, em relação ao AG, o fato de garantir a obtenção da melhor solução, porém para circuitos de maior porte (número muito grande de variáveis e combinações) a busca exaustiva pode ser inviável devido ao excessivo tempo de processamento.
- Durante as tentativas de busca pelos valores numéricos dos parâmetros genéticos que fossem adequados ao problema aqui em análise, pode-se verificar que o ajuste de tais parâmetros é um fator relevante no tempo de obtenção das soluções obtidas.
- Como toda metaheurística, não há como garantir pelo AG a otimalidade das soluções encontradas e sim a viabilidade destas soluções.

Abstract: This work consists in the development of electrical projects using the bio-inspired heuristic optimization method called Genetic Algorithm. This method is based on a Charles Darwin's theory of evolution in which the fittest individuals in the environment survive and have the opportunity to generate descendants. On a problem of electrical circuits, the implementation was made in MATLAB software and solved with Genetic Algorithm. With the use of different parameters in the search for a great and viable solution within the region of possible solutions, the answers obtained by the bio-inspired method were compared with the classic recursive method of solving discrete known as exhaustive method. Before the final data, it was possible to carry out a quantitative analysis between the methods of solving the problem, as well as the analysis of the impact of different established parameters in the genetic algorithm.

Keywords: Bio-inspired heuristic optimization method, great solution, exhaustive method.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, C. K.; SADIKU, M. N. O.; **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. Bookman, 2003.

COSTA, V. M. **Circuitos Elétricos Lineares - Enfoques Teórico e Prático**. 1ª edição, Brasil, Editora Interciência, 2013.

DARWIN, C. **A Origem das Espécies**. 1ª edição, Editora Martin Claret, 2014.

FURTADO, L. ; ARAUJO, Wolmar ; MENEZES, Alexandre T. ; SILVA JUNIOR, I. C. ; OLIVI, Leonardo ; MARCATO, ANDRE LUIS M. **Bat Search Algorithm Aplicado na Localização de Rôbos Móveis**. In: Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2015, Natal, RN. XII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2015.

GONCALVES, C. O. ; E.M QUEIROZ ; PESSOA, F. L. P. ; LIPORACE, F. S. ; OLIVEIRA, S. G. ; COSTA, A. L. H. . **Otimização da Limpeza de Redes de Trocadores de Calor Empregando os Algoritmos Genéticos**. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis. Anais XX COBEQ. São Paulo: ABEQ, 2014. p. 1-8.
HOLLAND, J. H. **Adaptation in Natural and Artificial Systems**. MIT Press, Boston, 1992.

LINDEN, R. **Algoritmos Genéticos - Uma Importante Ferramenta da Inteligência Computacional** - 2ª Edição Brasport ,2008.

MENDONÇA, I. M.; JUNIOR, I. C. S. ; MARCATO, A. L.M. **Static planning of the expansion of electrical energy transmission systems using particle swarm optimization**. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, v. 60, p. 234-244, 2014.

RIBEIRO, F. S. ; SANTOS, S. R. ; AMARAL, J. F. M. ; AMARAL, J. L. M. **Plataforma de Desenvolvimento de Circuitos Eletrônicos Adaptativos**. In: XI Simpósio Brasileiro de Automação Industrial, 2013, Fortaleza. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI 2013) - Fortaleza, CE, 2013.

SAMED, M. M. A.; SILVA, L. K. ; RAVAGNANI, M. A. S. S. . Aplicação de um Algoritmo Genético para **Otimização de um Problema Envolvendo Reações Químicas Complexas**. In: XXXIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2007, Fortaleza. Anais do XXXIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2007.

YANG, X.S. **Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms**. 2ª edition. United Kingdom: Luniver Press Frome, 2010