

COLÔNIA DE MORCEGOS: Método de Otimização Meta-Heurístico

Myke Albuquerque Pinto de Oliveira

Discente do curso Engenharia da Computação
Faculdades Integradas de Três Lagoas – AEMS

Gênesis Medeiros do Carmo

Docente da AEMS
Faculdades Integradas de Três Lagoas – AEMS

Alan Pinheiro de Souza

Docente da AEMS
Faculdades Integradas de Três Lagoas – AEMS

RESUMO

O método de otimização por colônia de morcegos (em inglês, Particle Swarm Optimization – PSO) é uma técnica de otimização estocástica (baseada em fatores aleatórios) desenvolvida por Dr. Eberhart e Dr. Kennedy em 1995, inspirada no comportamento social de bando de pássaros e cardume de peixes. Esses dois cientistas estabeleceram que o comportamento de um animal social em busca de alimento é influenciado por dois fatores: a experiência do indivíduo e a experiência do bando. O morcego foi escolhido para representar a espécie desse indivíduo por se comunicarem a distância por sinais ultrassônicos. Desse modo o método simula um bando de morcegos que voam a procura de comida (digamos insetos, por exemplo). Inicialmente os morcegos vasculham a área sem nenhuma direção preferencial, na medida em que eles percebem áreas mais densas de insetos, voam predominantemente nessas áreas, assim como comunicam aos outros a sua descoberta. Em contraste com os métodos matemáticos de otimização via cálculo integral e diferencial ou pesquisa operacional que são dependentes do tipo de função gerada pelos modelos matemáticos, os métodos meta-heurísticos de otimização independem da classificação da função-objetivo e de suas restrições, independe inclusive da existência delas, podendo otimizar funções NP-árido (não polinomial árido, que são problemas dos quais se desconhece o método de solução determinístico capaz de resolvê-lo em tempo polinomial em uma máquina de Turing).

PALAVRAS-CHAVE: Meta-heurística bio-inspirada; Otimização; Inteligência artificial de bandos; Colônia de morcegos; Enxame de partículas.

INTRODUÇÃO

O termo vida artificial é usado para descrever pesquisas em sistemas feitos pelo homem que possuem algumas propriedades essenciais à vida. Essa área de estudo pode seguir duas abordagens:

- Vida artificial visando estudar como técnicas computacionais podem ajudar a compreender fenômenos biológicos.
- Vida artificial visando estudar como técnicas biológicas podem ajudar com problemas computacionais.

Atualmente, já existem muitas técnicas computacionais inspiradas em sistemas biológicos. Por exemplo, Redes Neurais Artificiais que é um modelo simplificado de um cérebro humano, ou Algoritmos Genéticos que são inspirados na evolução (HU; EBERHART, 2002). O método colônia de morcegos é baseado no comportamento de indivíduos em sociedade e se enquadra no que é chamado inteligência de bando. Outros métodos que se enquadram nessa categoria é a colônia de formigas (DORIGO, 2004) e a colônia de abelhas (KARABOGA, 2002).

Além da seção inicial de introdução e das seções de encerramento que apresentam as considerações finais da pesquisa e as referências bibliográficas adotadas no trabalho, esse artigo está dividido em quatro seções. A primeira que discute breve referencial teórico no assunto sendo discutido; A segunda que aponta as características da proposta, destacando as equações utilizadas e um pseudocódigo clássico de otimização colônia de morcegos; A terceira seção apresenta as implementações da proposta e quarta seção discute os resultados alcançados em cada uma das implementações.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

O método colônia de morcegos vem sendo utilizado para otimizar uma série de problemas práticos na academia, na indústria e na agropecuária, seguem alguns trabalhos publicados no Brasil:

O primeiro trabalho apresentado é uma discussão de como expandir o sistema de transmissão de energia de modo a atender a demanda de prevista para um horizonte de planejamento, com custo mínimo. Segundo (MENDONÇA, 2014), resolver esse problema consiste em determinar, dentre um conjunto de circuitos de expansão pré-definidos, qual deles deve ser construído para minimizar o custo operacional e o investimento no sistema elétrico. Considerando este problema, a metodologia utilizada é dividida em duas fases:

- Obter um conjunto reduzido de candidatos a expansão usando um algoritmo heurístico construtivo para diminuir o espaço de busca sem perder caminhos relevantes.
- Utilizar o método colônia de morcegos e o resultado da primeira fase para encontrar o custo de expansão mínimo do sistema de transmissão.

Em ambas as fases, o sistema de transmissão é representado por um modelo de fluxo de carga linearizado, onde as decisões de expansão são incorporadas ao problema usando as equações originais do modelo de corrente contínua. A metodologia proposta foi aplicada a dois sistemas reais equivalentes do sul e do sudoeste do Brasil, onde a eficiência do sistema proposto pode ser verificada.

O segundo trabalho apresentado é uma técnica de ajuste de uma malha de controle de instrumentação ou manufatura. A técnica consiste em utilizar dois métodos meta-heurísticos, colônia de formigas e colônia de abelhas, para otimizar os parâmetros de ajuste da malha (BERTRACH, 2014). A pesquisa destaca que um sistema de controle pode influenciar diretamente na qualidade de um produto interferir nos custos energéticos e financeiros em um processo ou sistema de manufatura.

Um controlador de processo apresenta dois a três parâmetros que afetam diretamente o comportamento não linear e tais parâmetros são obtidos de maneira empírica. Os métodos meta-heurísticos colônia de morcegos e colônia de formigas foram aplicados para obter os valores otimizados do controlador. Foi considerada uma função custo que leva em consideração o erro de rastreamento e a variação da ação do controle. Esse controlador otimizado foi experimentado em três plantas reais: controle de velocidade de um servomecanismo, controle de nível e controle de vazão de uma planta didática industrial. Também é apresentada a comparação do desempenho desse controlador com um controlador proporcional-integral.

O terceiro trabalho, Coelho (2013), busca minimizar as perdas na transmissão de energia elétrica selecionando a melhor configuração dos geradores no sistema. A partir de um sistema de transmissão de energia elétrica, questiona-se em que pontos devem ser instalados os geradores, e qual valor de potência ativa e reativa deve ser ajustado cada um de modo a minimizar as perdas por efeito Joule e por correntes de Foucault no próprio sistema.

Esse trabalho usa um método colônia de morcegos modificado na qual eventualmente movimentam um morcego em direção contrária a melhor solução conhecida na tentativa de evitar mínimos locais e convergir efetivamente para o mínimo global. Esse trabalho ainda efetua uma porção de simulações confrontando o método tradicional colônia de morcegos e o método modificado, mostrando

estatisticamente que obteve melhoria na qualidade da solução encontrada pelo modelo.

2 CARACTERÍSTICAS DA PROPOSTA

Imagine o seguinte cenário, um bando de morcegos voa pelo céu noturno ingerindo os insetos que encontram pela frente. Os morcegos voam às cegas e aleatoriamente porque não sabem onde há maior quantidade de insetos. Entretanto, eles têm uma boa memória e conseguem se lembrar de quando passam por locais fartos de insetos, assim como transmitem essa mensagem a outros indivíduos do seu bando.

O método colônia de morcegos aprendeu desse cenário como resolver problemas de otimização. A posição s de cada morcego é uma candidata à solução do problema e a função desse ponto $f(s)$ é a densidade de insetos naquele ponto. Os morcegos procuram a região mais farta de insetos, ou seja, $f(s)$ máximo.

O cada morcego se movimenta influenciado pelos dois pontos: melhor posição do morcego e melhor posição do bando. De modo que a aceleração do voo é uma combinação aleatória dos vetores deslocamento para a melhor posição do bando e para a melhor posição individual do morcego, conforme visto na Figura 1.

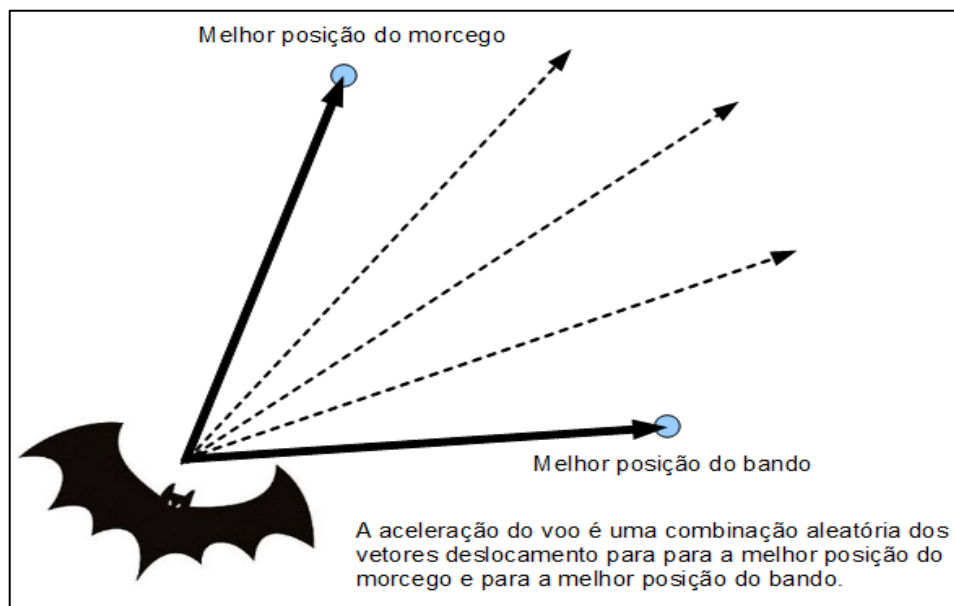


Figura 1 – Ilustração do movimento de cada morcego.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As equações do movimento de cada morcego são deduzidas a seguir, o movimento do morcego é uniformemente acelerado durante uma iteração do método, então sua velocidade varia conforme a equação eq. 1, equação horária da velocidade em um movimento uniformemente acelerado.

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t \text{ (eq. 1)}$$

Para um intervalo de tempo unitário ($t = 1$ s), a equação final da velocidade é:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} \text{ (eq. 2)}$$

A aceleração é uma combinação linear aleatória dos deslocamentos da posição atual do morcego para a sua melhor posição (\vec{m}_m) e da posição atual do morcego para a melhor posição do bando (\vec{m}_b), deduzida geometricamente a partir da Figura 1.

$$\vec{a} = \text{aleatório}_1 \cdot \text{constante}_1 \cdot (\vec{m}_m - \vec{s}) + \text{aleatório}_2 \cdot \text{constante}_2 \cdot (\vec{m}_b - \vec{s}) \text{ (eq. 3)}$$

Utilizando a eq. 3 na eq. 2, obtem-se:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \text{aleatório}_1 \cdot \text{constante}_1 \cdot (\vec{m}_m - \vec{s}) + \text{aleatório}_2 \cdot \text{constante}_2 \cdot (\vec{m}_b - \vec{s}) \text{ (eq. 4)}$$

O método considera que a variação da velocidade durante uma iteração é desprezível, então a posição do morcego é atualizada segundo a equação do movimento uniforme:

$$\vec{s} = \vec{s}_0 + \vec{v} \cdot t \text{ (eq. 5)}$$

Retomando o pressuposto de tempo unitário, obtém-se:

$$\vec{s} = \vec{s}_0 + \vec{v} \text{ (eq. 6)}$$

O método colônia de morcegos é iniciado com os morcegos distribuídos randomicamente no domínio do problema. A cada iteração, cada morcego se move seguindo dois pontos: o melhor encontrado até o momento por si mesmo e o melhor encontrado pelo bando. A velocidade e a posição são atualizadas seguindo as equações 4 e 6. Sempre que encontra um ponto melhor, ele atualiza a sua melhor posição e a melhor posição do bando.

A Figura 2 descreve possível pseudocódigo do método colônia de morcegos, onde $V[]$ é o vetor velocidade de cada morcego; $S[]$ é o vetor posição de cada morcego; $rand$ são números pseudo-aleatórios e $const0$, $const1$, $const2$ são constantes que definem a inércia e o nível de impacto da experiência individual e do bando.

```

INICIO
    Atribua pior valor possível ao melhor valor do bando.
//Iniciando o método.
    Para cada morcego faça
        Inicie o morcego com uma posição aleatória e uma velocidade
        aleatória.
        Atribua essa posição a melhor posição do morcego.
        Calcule o valor da função objetivo nessa posição.
        Atribua esse valor ao melhor valor do morcego.
        Se o melhor valor do morcego é maior ou igual ao melhor valor
do bando então
            Atribua melhor valor do morcego ao melhor valor do
bando.
        Fim do se
    Fim do para
//Laço principal do método.
    Para cada iteração faça
        Para cada morcego faça
             $V[] \leftarrow rand * cost0 * V[] + rand * const1 * (MP - S) +$ 
             $rand * const2 * (MB - S).$ 
             $S[] \leftarrow S[] + V[].$ 
        Fim do para
        Calcule o valor da função-objetivo.
        Se valor da função objetivo  $\geq$  melhor ponto do morcego então
            Atribua o valor da função-objetivo ao melhor valor do
morcego.
            Atribua essa posição à melhor posição.
            Se melhor valor do morcego  $\geq$  melhor valor do bando
então
                Atribua o melhor valor do morcego ao melhor valor
do bando.
                Atribua essa posição a melhor posição do bando.
            Fim do se
        Fim do se
    Fim do se

```

```

Se o erro é tolerado, saia do para.
Fim do para
FIM
    
```

Figura 2 – Pseudocódigo do método colônia de morcegos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3 IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA

O método foi implementado em uma macro *Microsoft Office Excel 2013* escrita em VBA (*Visual Basic For Applications*) que fornece ao usuário as opções de minimizar ou maximizar funções de células do *Microsoft Office Excel*, funcionando de forma similar ao *Solver* dessa mesma ferramenta. Também foi implementada uma aplicação de console em C++ que apenas maximiza uma função rotulada de Função Objetivo, desenvolvida no *CodeBlocks* e compilada no GCC (*GNU Compiler Collection*). O método foi testado para encontrar pontos de máximo das seguintes funções arbitrárias:

- (1) $f(x) = -x^2 - y^2 - 3x - 3y + 20$
- (2) $f(x) = -5x^2 - 3y^2 + 2xy + 7$
- (3) $f(x) = -3e^{\frac{x}{4}} \cdot \sin(\frac{xy}{5})$ na região $[-5, 5]^2$
- (4) $f(x) = -(x^4 + y^4) + \sin(x) \cdot \cos(y)$

Essas funções foram aleatoriamente selecionadas para testar o método e mostrar como a otimização por colônia de morcegos funciona, ainda que esses pontos de máximo das funções possam ser obtidos por meio do cálculo integral e diferencial. A Figura 3 apresenta a pasta de trabalho do Excel com as fórmulas já escritas. O botão Executar abre a Janela de execução do método.

	A	B	C	D	E	F	G
1	x=	0		f1=	=-x^2-y^2-3*x-3*y+20	Executar	
2	y=	0		f2=	=-5*x^2-3*y^2+2*x*y+7		
3				f3=	=-3*EXP(x/4)*SEN(x*y/5)		
4				f4=	=(x^4+y^4) + SEN(x)*COS(y)		
5							

Figura 3 – Pasta de trabalho do Excel apresentando as fórmulas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 4 mostra janela de especificação do modelo de execução, onde usuário pode maximizar ou minimizar determinada função, enquanto a Figura 5

exibe janela de configuração da aplicação, onde usuário pode especificar quantidade de quirópteros e número máximo de interações desejadas.

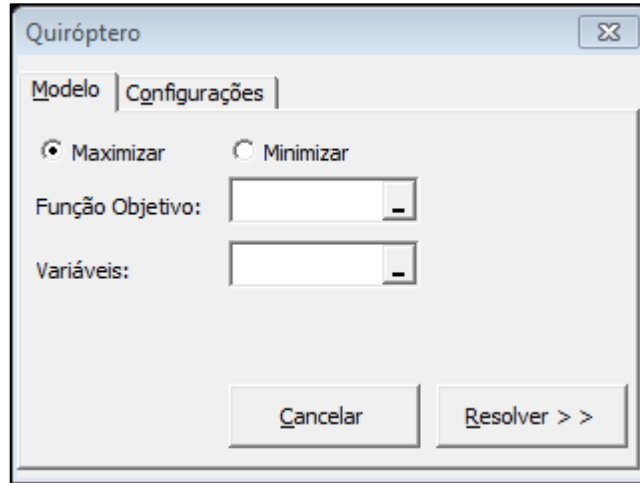


Figura 4 – Janela de configuração do modelo.
Fonte: Elaborado pelo autor.

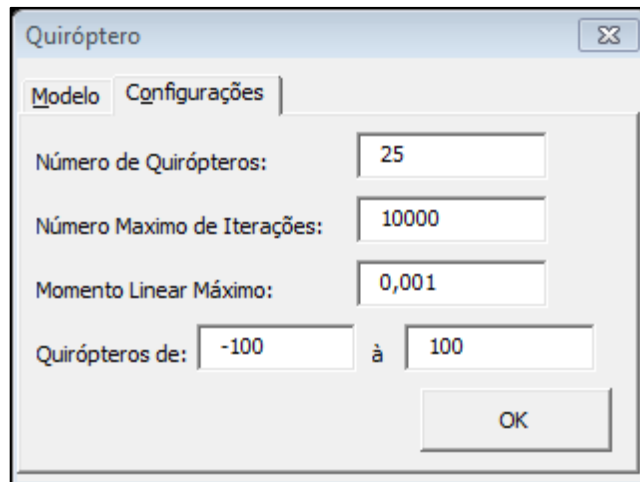


Figura 5 – Janela de configuração do método.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 1 resume as configurações que foram usadas no teste para otimizar as funções mencionadas anteriormente.

Tabela 1 – Configurações utilizadas nesse teste.

Tamanho do bando	25 morcegos
Máximo de iterações	10000 iterações
Energia cinética máxima	0,001 unidades de energia

Limite inferior da distribuição	-100 unidades das variáveis
Limite superior da distribuição	100 unidades das variáveis
Constante 1	1
Constante 2	2
Constante 3	2

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos no *Microsoft Office Excel* e na aplicação de console convergiram conforme esperado. A diferença na execução dos experimentos foi que a aplicação de console efetuou a otimização de maneira muito mais rapidamente quando comparado com as macros do *Microsoft Office Excel*. Essa observação deveu-se ao fato da aplicação console ser um arquivo executável já compilado, enquanto as macros são interpretadas. As Figuras 6 e 7 apresentam as saídas das aplicações de console e do *Excel* para a função 1.

```

D:\Documentos Locais\Programas\Quiropteros - 2\bin\Debug\Quiropteros....
O melhor valor foi encontrado no ponto (-1.5, -1.5).
O seu valor eh 24.5.
Numero total de iteracoes efetuadas: 154.
Energia cinetica final: 0.000494594
Process returned 0 (0x0)   execution time : 0.031 s
Press any key to continue.
    
```

Figura 6 – Aplicação de console apresentado resultados da otimização da função 1.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 7 apresenta a saída do Excel para a função 1.

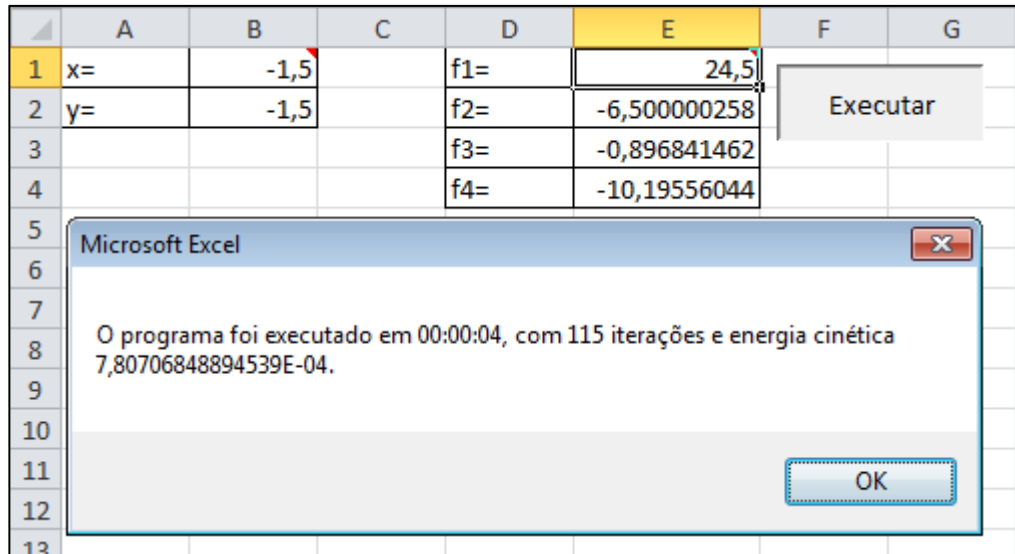


Figura 7 – Aplicação *Excel* apresentado os resultados da otimização da função 1.
Fonte: Elaborado pelo autor.

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados e o tempo de execução da otimização nas aplicações de console e do *Excel*.

Tabela 2 - Resultados do método colônia de morcegos na Aplicação de Console.

Função	Variável x	Variável y	Valor da Função	Tempo de Execução
1	-1,5	-1,5	-24,5	0,031 s
2	6,81751e-9	1,08914e-8	7	0,047 s
3	5	4,71239	10,471	0,078 s
4	0,591985	-8,24946e-9	0,435197	0,046 s

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3 - Resultados do método colônia de morcegos no *Excel*.

Função	Variável x	Variável y	Valor da Função	Tempo de Execução
1	-1,5	-1,5	-24,5	4 s
2	-1,87701e-09	3,23561e-09	7	5 s
3	5	4,71241	10,471	1 min 47 s
4	0,591985	-9,07345e-09	0,435197	5 s

Fonte: Elaborado pelo autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método mostrou-se eficaz na convergência das soluções otimizadas e é bastante simples de ser implementado. Normalmente, o método encontra soluções próximas o suficiente para a maioria das aplicações práticas antes de atingir o número máximo de iterações escolhido, podendo ter vários critérios de parada. Entretanto, os vários parâmetros do método ainda carecem de discussão, como as constantes da equação da velocidade (eq. 4), como adaptar o método para trabalhar com variáveis discretas. Pesquisas futuras sobre o mesmo tema devem incluir a otimização de problemas reais com variáveis contínuas e discretas e aplicações em inteligência artificial.

REFERÊNCIAS

ACO. **Ant Colony Optimization**. Disponível em: <www.aco-metaheuristic.org>. Acessado em: 01 out. 2014.

BERTARCHI, Arthur Hirata. **Otimização de Parâmetros via Metaheurísticas Populacionais e Validação de um Controlador de Estrutura Variável**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, 2014.

COELHO, Francisco Carlos Rodrigues. **Alocação de Geração Distribuída em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica via Otimização Bioinspirada na Ecolocalização de Morcegos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2013.

DORIGO, Marco. **Ant Colony Optimization**. The MIT Press, 2004.

HU, Xiaohui; EBERHART, Russell. **Adaptive Particle Swarm Optimization: Detection and Response to Dynamic Systems**. In: Proceedings of the IEEE World Congress On Computational Intelligence, Vancouver, Canada, 2002.

KARABOGA, Dervis. **The Artificial Bee Colony**. Computer Engineering Department, Erciyes University, Turkey, 2002.

KENNEDY, James; EBERHART, Russell. **Particle Swarm Optimization**. Purdue School of Engineering and Technology Indianapolis, Washington, DC, USA, 2002.

MCCAFFREY, James. **Artificial Intelligence: Particle Swarm Optimization**. MSDN Magazine, August, 2011.

MEDEIROS, Jose Antônio Carlos Canedo. **Enxame de Partículas como Ferramenta de Otimização em Problemas Complexos de Engenharia Nuclear**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Nuclear). Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

MELLO, Alan Godoy Souza. **Otimização por Enxame de Partículas**. Laboratório de Bioinformática e Computação Bio-inspirada, Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

MENDONÇA, Isabela Miranda de. **Planejamento da Expansão de Sistema de Transmissão através de Otimização por Enxame de Partículas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2012

OLIVEIRA, Marlin Cristine Serafim de; SILVA, Thales Lima; Aloise, Dario José. **Otimização por Nuvem de Partículas: Diferença entre Aplicações de Problemas Contínuos e Discretos**. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Minas Gerais, Brasil, 2004.