

# Aplicação do Particle Swarm Optimization para a Resolução do TEAM Workshop Problem 25

Walker Humberto Batista

LMAG – PEA – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
São Paulo/SP – Brasil  
walker.batista@poli.usp.br

Luiz Levensztajn

LMAG – PEA – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
São Paulo/SP – Brasil  
leb@pea.usp.br

**Resumo** — O escopo deste trabalho é estudar a aplicação de dois métodos numéricos para análise e síntese de máquinas eletromagnéticas: Método dos Elementos Finitos (MEF) e Particle Swarm Optimization (PSO), de modo que eles atuem na resolução do problema *Die Press Model* (TEAM Workshop Problem 25).

**Palavras-chaves** — Particle Swarm Optimization, Funções de aproximação, Método dos Elementos Finitos.

## I. INTRODUÇÃO

A pesquisa em questão tem por objetivo testar a eficácia do Particle Swarm Optimization (PSO) em solucionar problemas da área de síntese e de projetos de dispositivos eletromagnéticos. Operando em conjunto com o método dos elementos finitos (MEF), ele foi utilizado para resolver um dos problemas propostos pela International Compumag Society como padrão para teste de algoritmos, o *Die Press Model* (TEAM Workshop Problem 25).

A grande relevância em escolher o PSO para esta pesquisa se dá devido à sua baixa complexidade matemática e pouca exigência computacional.

## II. METODOLOGIA

### A. O método dos elementos finitos

O Método dos Elementos Finitos (MEF) [2] surgiu na década de 1940, durante a Segunda Guerra Mundial, para resolver com maior velocidade e precisão problemas de engenharia civil e de aeronáutica. A técnica consiste em discretizar a região de estudo em pedaços finitos, em cujos interiores será feita uma aproximação da função em estudo, que deverá ser contínua.

Neste trabalho, utiliza-se o MEF com a finalidade de estudar o comportamento do campo magnético ( $B$ ) – sua intensidade e direção na região da linha  $ef$  (figura 1b) – por meio do software FLUX2D.

### B. O Particle Swarm Optimization

O Particle Swarm Optimization (PSO) é um método meta-heurístico, que foi apresentado pela primeira vez em 1995, por James Kennedy e Russell C. Eberhart [3], e consiste basicamente em: dado um conjunto de partículas distribuídas aleatoriamente no espaço, chamado na literatura de *enxame* [4] encontramos suas novas posições ( $x_I$ ) de acordo com a equação (2).

$$v_1 = v_0 + c_1 \cdot \text{rand.}(pbest - x_0) + c_2 \cdot \text{rand.}(gbest - x_0) \quad (1)$$

$$x_1 = v_1 + x_0 \quad (2)$$

As variáveis  $pbest$  e  $gbest$  – respectivamente – armazenam a melhor posição (mínimo ou máximo) da partícula e de todo o enxame até o dado instante e  $rand$  um número aleatório entre 0 e 1. O algoritmo evolui de tal modo que chegue a uma posição de mínimo ou máximo da função objetivo.

A parcela  $v_0$ , normalmente denominada inércia da partícula, geralmente é acompanhada por uma constante  $c_0$  – fator que é chamado de autoconfiança.

As constantes  $c_1$  e  $c_2$  são a confiança, respectivamente, na melhor atuação pessoal e na melhor atuação social.

### C. Funções de aproximação

Apesar de o MEF apresentar uma grande eficácia para a resolução de sistemas de equações diferenciais, seu custo computacional inviabiliza sua junção com o PSO. O problema foi resolvido ao realizar algumas amostras do comportamento eletromagnético do dispositivo, variando os parâmetros em estudo. Esses resultados são utilizados no PSO com um interpolador – no caso, optou-se pelo Kriging ou Processo de Regressão Gaussiano [8].

## III. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA A SER RESOLVIDO

O projeto do *Die Press Model* (TEAM Workshop Problem 25) [6] consiste em criar um dispositivo para produção de ímãs permanentes anisotrópicos.

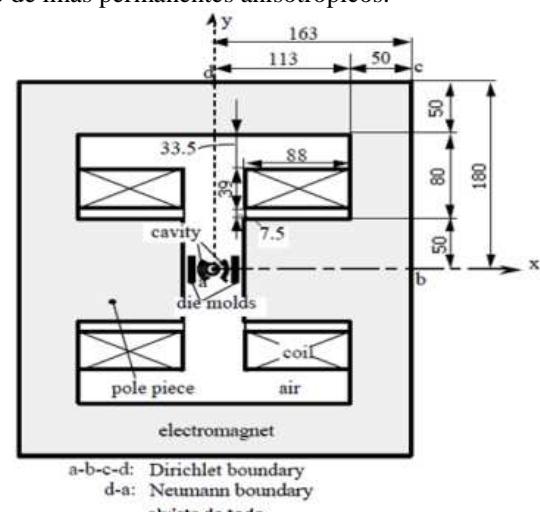


Figura 1a. Geometria do dispositivo

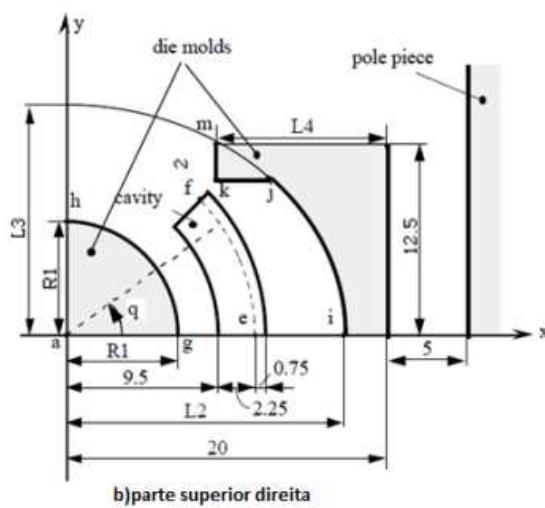


Figura 1b. Geometria do dispositivo

O dispositivo é alimentado por duas bobinas indutoras, cujos enrolamentos possuem 4253A.esp cada. Seu núcleo – chamado de *pole piece* – e sua matriz – chamada de *die molds* – são constituídos por um material magnético não linear.

As especificações do projeto consistem em haver uma densidade de fluxo sobre a linha  $\overline{ef}$  da seguinte forma:

$$\begin{cases} B_x = 0.35\cos\theta(T) \\ B_y = 0.35\sin\theta(T) \end{cases} \quad (3)$$

Onde  $\theta$  é o ângulo em relação ao eixo x. Assim, a função objetivo a ser minimizada é:

$$W = \sum_{i=1}^n \left\{ (B_{xip} - B_{xio})^2 + (B_{yip} - B_{yio})^2 \right\} \quad (4)$$

Onde n é um número correspondente a pontos específicos (=10), os índices p e o são os valores calculados e os especificados, respectivamente, dos vetores campo magnético.

Para as restrições, foram utilizadas a sugestão para o problema:

$$\begin{cases} 5 < R1 < 9.4 \\ 12.6 < L2 < 18 \\ 14 < L3 < 45 \\ 4 < L4 < 19 \end{cases} \quad (5)$$

#### IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo da análise do problema do *Die Press Model*, por meio do MEF, o parâmetro L3 mostrou pouca influência na função objetivo w. Decidiu-se realizar apenas uma análise da influência do R1, L2 e L4, e, portanto, suas otimizações. Resultados obtidos são apresentados na Tabela I.

TABELA I. PARÂMETROS OTIMIZADOS COM RESTRIÇÃO E FUNÇÃO OBJETIVO

R1 (mm)	L2 (mm)	L4 (mm)	Wx10 <sup>-4</sup>
7.20	14.47	14.84	4.02
7.19	14.36	14.24	2.72
7.20	14.37	14.23	2.72
8.87	17.66	17.18	9.55

As três primeiras linhas da tabela mostram uma convergência do PSO para o provável mínimo global da função objetivo em  $R1=7.2$  (mm),  $L2=14.4$  (mm) e  $L4=14.2$  (mm), o que está coerente com resultados publicados na literatura por meio de outros métodos [6][7][8]. No entanto, há uma solução que aponta uma região de mínimo local,  $R1=8.9$  (mm),  $L2=17.7$  (mm) e  $L4=17.2$  (mm), indicando uma dificuldade do algoritmo.

Dessa maneira, utilizou-se estratégias interessantes que podem ajudar a minimizar interferências dos mínimos locais no resultado do PSO, tais como tribos e enxames de memórias, conceitos introduzidos por Maurice Clerc [1].

Além disso, é mostrado por este autor que há uma faixa de valores ótimos para cada constante.

#### V. CONCLUSÕES

Nesse trabalho, para a análise do projeto do *Die Press Model*, foi utilizado o Método dos Elementos Finitos (MEF) para verificação da influência de seus parâmetros em conjunto com suas restrições.

Durante a otimização, utilizou-se apenas os parâmetros de maior relevância, a fim de obter um conjunto de dados amostrais com um menor custo computacional.

Com a interpolação Kriging realizada no conjunto de dados obtidos pelo MEF, foi possível constatar o bom desempenho do PSO na resolução do *Die Press Model*, com um tempo computacional reduzido.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Clerc, Maurice, "Particle Swarm Optimization", 1<sup>st</sup> edition 2005.
- [2] P.P. Sylvester, R. L. Ferrari Ferrari Finite elements for electrical engineers Cambridge University Press; 1<sup>st</sup> edition 1983.
- [3] J. Kennedy and R. C. Eberhart, "Particle swarm optimization," em: Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia, pp. 1942-1948, 1995.
- [4] Grandi, Fabio Kozak. Otimização por inteligência de enxames: algoritmos Ant Colony e Particle Swarm. 2003. 120 p. (Mestrado) - ESCOLA POLITECNICA, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- [5] TEAM Workshop, Problem 25. Optimization of Die Press Model. 1996. Disponível em: <http://www.compumag.co.uk/problems/problem25.pdf>
- [6] S. Carcangiu, A. Fanni, e A. Montisci, "Multiobjective Tabu Search Algorithms for Optimal Design of Electromagnetic Devices" em: IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 44, No. 6, June 2008.
- [7] N. Takahashi, K. Muramatsu, M. Natsumeda, K. Ohashi, K. Miyata e K. Sayama, "Solution of problem 25 (Optimization of die press model)," in Proc. ICEF'96, Hubei, China, Oct. 9-11, 1996, pp. 383-386.
- [8] L. Lebentsjajn, C. A. Rondini Marretto, M. C. Costa, e J. Coulomb "Kriging: A Useful Tool for Electromagnetic Device Optimization" em IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 40, No. 2, March 2004.