

# 10<sup>o</sup>

# FEPEG FÓRUM

ENSINO • PESQUISA  
EXTENSÃO • GESTÃO  
RESPONSABILIDADE SOCIAL: INDISSOCIABILIDADE  
ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



ISSN 1806-549 X

Autor(es): ALLYSSON STEVE MOTA LACERDA, JHENNYFER EMANUELLE BRITO OLIVEIRA, BRENO REIMS NOGUEIRA SOUZA, FRANCISCO DE ASSIS PEREIRA DE ARAÚJO SANTOS, VIRGILIO HENRIQUE DOS SANTOS GIMENES

## Proposta de um algoritmo evolucionário baseado em KD-Trees para solução de problemas multiobjetivo

### Introdução

Ao longo da última década, vários trabalhos foram propostos com o intuito de se alcançar melhores resultados em problemas multiobjetivo. Dentre as abordagens propostas, algumas se destacam, como o NSGA-II (DEB, 2002) e, mais recentemente, o MOEA/D-DE (ZHANG e LI, 2007). No entanto, quando o número de objetivos aumenta, a capacidade de busca de tais algoritmos se torna bastante deteriorada.

Devido a isso, o presente trabalho propõe um novo algoritmo evolutivo baseado em KD-Trees para mitigar tais limitações. As árvores binárias de busca possuem uma estrutura dinâmica que garante maior agilidade na busca. Já as Árvores Binárias de Busca Multidimensionais (Multidimensional Binary Search Trees), mais conhecidas como KD-Trees, oferecem uma estrutura capaz de trabalhar com quaisquer dimensões de dados.

Testes computacionais mostraram que o método proposto, embora simples, é bastante competitivo, quando comparado ao MOEA/D-DE.

### Otimização multiobjetivo

Em problemas de otimização, quando há apenas um objetivo a ser otimizado, procura-se encontrar a melhor solução disponível, chamada de ótimo global, ou pelo menos uma boa aproximação dela (Coello 2006). Entretanto, em muitas situações, há diversos objetivos a serem otimizados simultaneamente e, normalmente, tais objetivos são conflitantes entre si. Tais problemas com duas ou mais funções objetivo são conhecidos como Problemas Multiobjetivo (*Multiobjective Problem – MOP*) e requerem novos modelos e algoritmos. Segundo Ticona (2003), a maior parte dos problemas reais encontrados na área de otimização envolve a obtenção de diversas metas que devem ser atingidas simultaneamente. Elas geralmente são conflitantes, ou seja, não existe uma solução única que otimize todas ao mesmo tempo. Para tal classe de problemas devemos buscar um conjunto de soluções eficientes.

Um dos maiores problemas da otimização multiobjetivo é encontrar uma solução que resolva todas as metas. No entanto, geralmente não existe uma solução única que contemple todas as metas, surgindo a necessidade de buscar um conjunto de soluções que tentem resolvê-las da melhor forma. Em MOPs reais, além de satisfazer os objetivos, as soluções também devem atender a um conjunto de restrições (SARAMAGO, STEFFEN JR, 2008).

### KD-Trees

Árvore de Pesquisa Binária Multidimensional (*Multidimensional Binary Search Tree*), ou KD-Tree, é uma estrutura de dados para pesquisa associativa. Apresentada por Jon Bentley em 1975, ela foi criada como uma opção para tratar casos em que existam o problema de recuperação associativa de dados. A pesquisa é chamada de associativa quando uma query é capaz de especificar condições mesmo com a multiplicidade de campos (BENTLEY, 1975). Ou seja, se, ao realizar busca de dados em um arquivo, só puder especificar condições de pesquisa em um único dado/campo/atributo, a pesquisa não poderá ser considerada associativa.

Ela armazena pontos em espaços k-dimensionais e todos os pontos precisam ter a mesma quantidade de dimensões. Cada nó da árvore possui um dado armazenado, como um ponto do plano cartesiano, dois ponteiros e um indicador da dimensão de corte (OMOHUNDRO, 1987). Cada nível da árvore é associado a uma dimensão. Esta, indica um hiperplano que passa pelo ponto de forma perpendicular a dimensão atual dividindo o espaço em dois. As dimensões são alternadas para cada nível da árvore (GIESEKE et al., 1990). E para se escolher a dimensão de corte da raiz existem diversas maneiras, como, por exemplo, escolher o eixo em que os pontos estão mais espalhados. Os ponteiros apontam para os filhos à direita e à esquerda, sendo cada um deles a raiz de uma subárvore. Caso nenhum dos ponteiros sejam usados, significa que o nó atual é uma "folha", e não se torna necessário nenhum hiperplano de corte (MOORE, 1990).

### O método proposto

O Sistema Multiagente Evolucionário baseado em KD-Trees (KD-MOEMAS) utiliza o conceito de decomposição proposto pelo MOEA/D em uma topologia de ilhas, o que permite sua execução em ambientes distribuídos. Além disso, a estrutura de vizinhança é definida pela utilização de KD-Trees no espaço de objetivos.

# 10<sup>o</sup>

# FEPEG FÓRUM

ENSINO • PESQUISA  
EXTENSÃO • GESTÃO

RESPONSABILIDADE SOCIAL: INDISSOCIABILIDADE  
ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



ISSN 1806-549 X



As ilhas são independentes entre si e podem utilizar quaisquer operadores para evoluir suas subpopulações. No entanto, nos testes foi utilizado apenas o algoritmo de Evolução Diferencial (*Differential Evolution* – DE), devido ao seu bom desempenho, já conhecido. A principal diferença para o algoritmo tradicional está no fato de os pais serem selecionados dentre uma vizinhança definida pela KD-Tree.

## Experimentos computacionais

Para avaliar a qualidade do método proposto, foram realizados testes computacionais utilizando o conjunto de problemas conhecido como LZ09 (LI e ZHANG, 2009). Foram realizadas 30 execuções independentes de cada método para cada problema e os resultados são apresentados na Figura 1. Foi utilizado o IGD como indicador de desempenho, uma vez que o mesmo é capaz de indicar tanto a convergência quanto a diversidade das soluções encontradas. Os resultados foram ordenados para facilitar a sua visualização.

## Considerações finais

O presente trabalho apresentou o KD-MOEMAS, um sistema multiagente evolutivo para solução de problemas multiobjetivo que utiliza uma estrutura de vizinhança baseada em KD-Trees. Testes computacionais mostraram que o método proposto se mostrou competitivo quando comparado ao MOEA/D-DE em problemas com dois objetivos. Os próximos passos são a sua utilização em problemas com muitos objetivos e o desenvolvimento de novos operadores evolutivos.

## Referências bibliográficas

- BENTLEY, Jon Louis. **Multidimensional Binary Search Trees Used for Associative Searching**. Communications of the ACM, New York, NY, USA, volume 18, 19ª edição, p. 509-517, setembro, 1975.
- COELLO-COELLO, Carlos A. **Evolutionary Multi-Objective Optimization: Some Current Researches Trends and Topics that Remain to be Explored**. Frontiers of Computer Science in China, China, volume 3, 1ª edição, p. 18-30, março, 2009.
- DEB, Kalyanmoy, PRATAT, Amrit, AGARWAL, Sameer, MEYARIVAN, T. **A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II**. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, volume 6, 2ª edição, p. 182-197
- GIESEKE, Fabian, HEINERMANN Justin, OANCEA, Cosmin, IGEL, Christian. **Buffer k-d Trees: Processing Massive Nearest Neighbor Queries on GPUs**. Proceedings of the 31st International Conference on Machine Learning (ICML), 2014, Dinamarca, p. 172-180.
- LACERDA, A. S. M. **Proposta de um Algoritmo Evolucionário Nebuloso Para Solução de Problemas de Otimização Multiobjetivo**. Junho de 2010. 75 páginas. Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica – UFMG, Belo Horizonte, 2010.
- LI, H.; ZHANG, Q. Multiobjective optimization problems with complicated pareto sets. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, v. 13, n. 2, 2009.
- MOORE, Andrew W. **Efficient memory-based learning for robot control**. Novembro de 1990. 248 f. Dissertação (PhD) – Trinity Hall, University of Cambridge, Cambridge – Cambridgeshire, United Kingdom, 1990.
- OMOHUNDRO, S. M. **Efficient Algorithms with Neural Network Behavior**. Journal of Complex Systems. Champaign, Illinois, USA, p. 273-347, 1987.
- PANTUZA JUNIOR, Guido. **Métodos de otimização multiobjetivo e de simulação aplicados ao problema de planejamento operacional de lavra em minas a céu aberto**. Março de 2011. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEM, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG, 2011.
- SHAH, R; REED, P. **Comparative analysis of multiobjective evolutionary algorithms for random and correlated instances of multiobjective d-dimensional knapsack problems**. European Journal of Operational Research, v.211, p. 466-479, 2011.
- TICONA, Waldo Gonzalo Cancino. **Algoritmos Evolutivos Multi-Objetivo Para a Reconstrução de Árvores Filogenéticas**. 11 de fevereiro de 2008. 158 folhas. Tese de Doutorado – USP São Carlos. São Carlos, SP, 2008.
- ZHANG, Qingfu, LI, Hui. **MOEA/D: A Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition**. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, volume 11, 6ª edição, p. 712-731, 27 de novembro de 2007.

# 10<sup>IO</sup>

# FEPEG

FÓRUM ENSINO · PESQUISA  
EXTENSÃO · GESTÃO

RESPONSABILIDADE SOCIAL: INDISSOCIABILIDADE  
ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



ISSN 1806-549 X

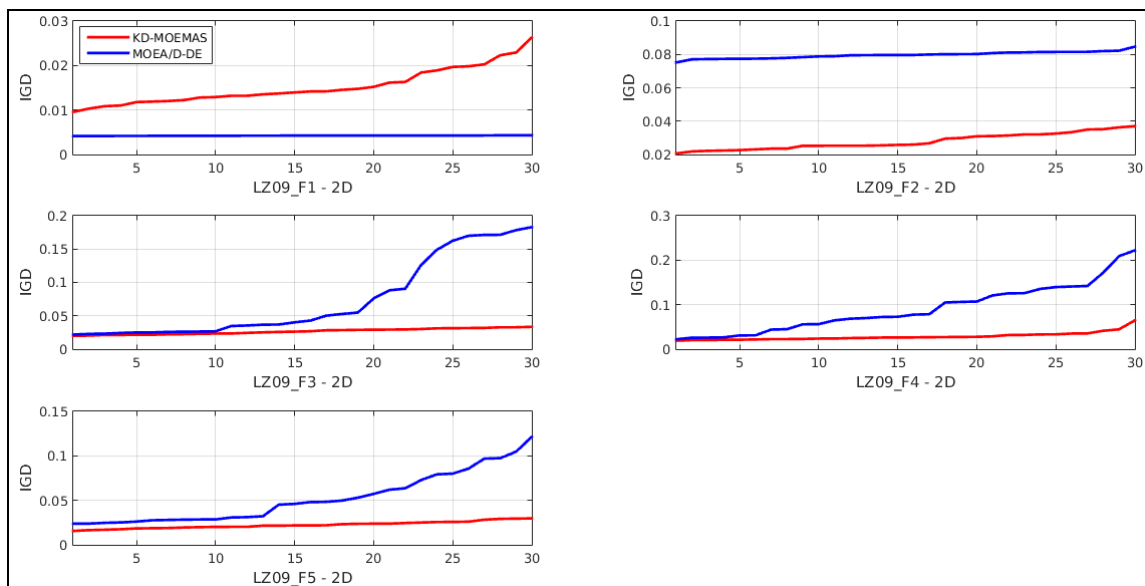


Figura 1. Valores de IGD ordenados após 30 execuções.