

COMPARAÇÃO DE ALGORITMOS METAHEURÍSTICOS NA OTIMIZAÇÃO PARAMÉTRICA DE UMA TRELIÇA ESPACIAL

OTÁVIO AUGUSTO PETER DE SOUZA¹; LETÍCIA FLECK FADEL MIGUEL²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – otavio.souza@ufrgs.br

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul – letffm@ufrgs.br

1. INTRODUÇÃO

Grande parte dos problemas de otimização estrutural são não-lineares e apresentam muitas restrições (BORGES, 2013). Nesses problemas, os algoritmos metaheurísticos se mostram muito eficientes, pois não necessitam de informações do gradiente da função objetivo. Por serem estocásticos, esses algoritmos utilizam uma troca entre a randomização e a pesquisa local. Em geral, algoritmos metaheurísticos trabalham com um processo de tentativa e erro que não garante que a melhor solução seja obtida, mas sim uma aproximação onde a precisão varia conforme as características do problema a ser resolvido (YANG, 2010).

O algoritmo *Particle Swarm Optimization* (PSO), desenvolvido por KENNEDY e RUSSELL (1995) considera os agentes pesquisa como partículas que se movem em um espaço de pesquisa em busca da solução global ótima de forma semelhante que um enxame de pássaros se move em busca de alimento.

O *Harmony Search* (HS), criado por GEEM et al. (2001), é um algoritmo inspirado na atuação de um grupo musical que busca a harmonia perfeita produzida por diversos instrumentos, de forma que os valores de cada variável de projeto que influenciam na avaliação da função objetivo são comparados aos sons de cada um dos instrumentos que compõem uma harmonia musical.

YANG (2009) propôs o *Firefly Algorithm* (FA) onde é feita uma analogia entre o processo de otimização e a forma como os vagalumes usam suas características luminescentes para atrair parceiros e possíveis presas. No FA, os agentes de pesquisa possuem uma atratividade relativa, de acordo com a distância entre ele e proporcional ao seu brilho, sendo este em função da distância do agente em relação ao ótimo global da função objetivo.

O *Search Group Algorithm*, implementado por GONÇALVES et al. (2015), é definido em cinco etapas: Geração da população inicial, seleção do grupo de pesquisa inicial, mutação do grupo de pesquisa, geração das famílias de cada membro do grupo de pesquisa e seleção do novo grupo de pesquisa. O principal diferencial do SGA é o uso da estratégia de que quando melhor é o integrante do grupo de pesquisa, mais indivíduos ele gera em uma determinada iteração.

MIRJALILI e LEWIS (2016) desenvolveram o *Whale Optimization Algorithm* (WOA), onde o processo de otimização foi inspirado na estratégia de caça da baleia jubarte. O algoritmo é regido por equações que descrevem os movimentos de ataque da baleia jubarte e a interação entre elas durante a caça de presas.

O objetivo do presente trabalho é promover uma comparação da eficiência dos algoritmos PSO, HS, FA, SGA e WOA na otimização paramétrica de uma treliça espacial sujeita a restrições de tensão e deslocamento.

2. METODOLOGIA

A estrutura otimizada trata-se da treliça espacial apresentada na Figura 1. As variáveis de projeto são contínuas e representam as seções transversais das

barras que constituem a estrutura. A treliça apresenta, como propriedades, massa específica $\rho=2767,99 \text{ kg/m}^3$ e módulo de Young $E=68,95 \text{ GPa}$.

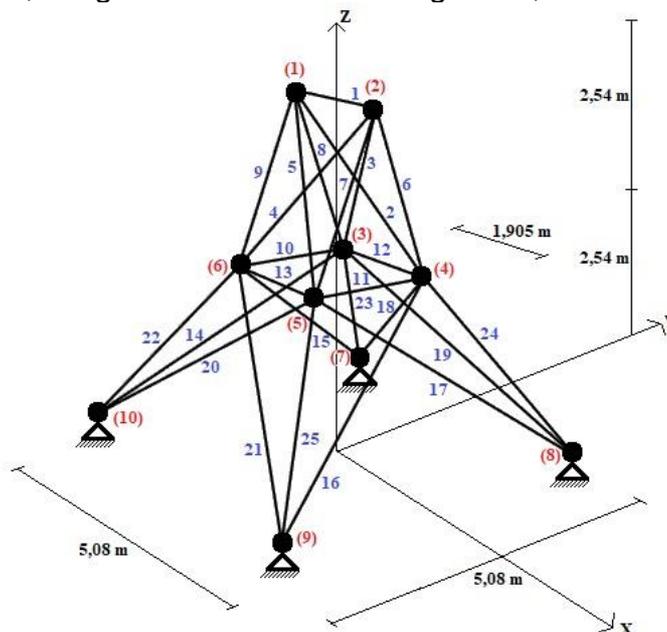


Figura 1 – Treliça Espacial

A treliça deve ser otimizada de modo a suportar dois casos de carregamento independentes, isto é, dois carregamentos que não ocorrem simultaneamente. No primeiro caso, as cargas atuam nos nós 1, 2, 3 e 6 enquanto no segundo caso somente os nós 1 e 2 estão sujeitos a cargas, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Componentes de Cargas Nodais (KN) Atuando na Treliça

Caso	Nó	X	Y	Z
1	1	4,4482	44,482	-22,241
	2	0	44,482	-22,241
	3	2,2241	0	0
	6	2,2241	0	0
2	1	0	88,964	-22,241
	2	0	-88,964	-22,241

Para manter a simetria da estrutura, as barras são reunidas em oito grupos nos quais os membros de cada grupo possuem a mesma seção transversal. Assim, são oito as variáveis de projeto do problema. O agrupamento das barras e as restrições de compressão do problema são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Detalhe do Agrupamento das Barras e Restrições de Compressão

Grupo	Membros	Restrição de Compressão (MPa)
1	1	-241,79
2	2 a 5	-79,91
3	6 a 9	-119,31
4	10 e 11	-241,95
5	12 e 13	-241,95
6	14 a 17	-46,60
7	18 a 21	-47,98
8	22 a 25	-76,41

A restrição de tração é igual para todos os membros e possui valor de 275,79 MPa. A restrição de deslocamentos para os nós 1 e 2 é de 0,889 cm em todas as direções.

Para o presente estufo, foram realizadas cinco execuções independentes do problema para cada algoritmo. Em cada execução, foram consideradas 200000 avaliações compostas por 40 agentes de pesquisa e 5000 iterações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para a seção transversal (cm²) de cada grupo de barras, bem como a massa da treliça (kg) são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Projeto ótimo para a treliça

Grupo	PSO	HS	FA	SGA	WOA
1	0,065	0,162	0,065	0,065	0,065
2	12,659	12,319	13,077	12,777	12,803
3	19,172	19,431	18,668	19,365	19,335
4	0,065	0,570	0,074	0,065	0,211
5	0,065	0,348	0,065	0,065	0,161
6	4,427	4,045	4,500	4,450	4,478
7	11,043	11,339	10,920	10,827	10,818
8	17,145	17,537	17,222	17,111	17,081
Massa (kg)	247,37	248,33	247,44	247,28	247,52

O melhor projeto foi obtido através do algoritmo SGA. Esse valor, inclusive, é melhor do que o valor obtido por outros autores que também estudaram este problema de otimização, mas não utilizaram o mesmo conjunto de algoritmos deste trabalho. MIGUEL e FADEL MIGUEL (2013) obtiveram uma massa ótima de 247,84 kg com o HS, 247,31 kg com o FA e 248,09 kg com o algoritmo ABC. BORGES (2013) obteve uma massa mínima de 248,82 kg com o HS e 247,35 kg com o FA.

É importante salientar que nenhuma das restrições foi violada, todavia, as restrições de deslocamento dos nós 1 e 2 na direção Y tornaram-se ativas após o processo de otimização. Isso significa que os deslocamentos especificados atingiram o máximo valor permitido.

Na Tabela 4 são apresentados os valores de desvio padrão da massa mínima, obtido após cinco execuções independentes de cada algoritmo e o tempo computacional necessário para cada execução.

Tabela 4 – Desvio padrão e tempo computacional

	PSO	HS	FA	SGA	WOA
Desvio	0,05	0,66	1,51	0,03	0,52
Tempo (s)	309,02	310,08	327,69	273,84	275,70

Os algoritmos SGA e PSO obtiveram um desvio padrão muito pequeno, mostrando que mesmo em diferentes execuções eles geraram resultados com valores muito próximos uns dos outros. Em relação ao tempo computacional, os algoritmos SGA e WOA apresentaram os melhores resultados.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho promoveu a otimização paramétrica de uma treliça espacial, reduzindo a sua massa, através de cinco diferentes algoritmos metaheurísticos de otimização. Os resultados obtidos comprovaram a eficiência desses algoritmos e apontaram uma leve superioridade do algoritmo SGA em relação aos demais, uma vez que além de gerar a menor massa ótima, o SGA obteve o melhor desempenho referente ao desvio padrão entre resultados de execuções independentes e o menor tempo computacional de operação.

Outros tipos de análises estruturais estão sendo realizadas dentro desta linha de pesquisa, tais quais a otimização de estruturas sujeitas a restrições de frequência natural e a otimização de forma.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPQ pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES, A. A. **Otimização de forma e paramétrica de estruturas treliçadas através dos métodos meta-heurísticos Harmony Search e Firefly Algorithm**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

GEEM, Z.; KIM, J. H.; LOGANATHAN, G. V. A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search. **Simulation**. v. 76, n. 2, p. 60-68, feb. 2001.

GONÇALVES, M. S.; LOPEZ, R. H.; FADEL MIGUEL, L. F. Search group algorithm: A new metaheuristic method for the optimization of truss structures. **Computers and Structures**. v. 153, p. 165-184, june. 2015.

KENNEDY J.; EBERHSRT R. Particle swarm optimization. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS**. 1995. Perth. Proceedings... IEEE, 1995, p. 1942-1948.

MIGUEL, L. F. F.; FADEL MIGUEL, L. F. Assessment of modern metaheuristic algorithms – HS, ABC and FA – in shape and size optimization of structures with different types of constraints. **Int. J. Metaheuristics**, v. 2, n. 1, p. 256-293, sept. 2013.

MIRJALILI, S.; LEWIS A. The Whale Optimization Algorithm. **Advances in Engineering Software**, v. 95, p. 51-67, may. 2016.

YANG, X-S. Firefly algorithms for multimodal optimization. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON STOCHASTIC ALGORITHMS**, 5., 2009, Sapporo. Proceedings... Berlin: Springer, 2009, p. 169-178.

YANG, X-S. **Nature-inspired Metaheuristic Algorithms**. 2ª e d. Frome: Luniver Press, 2010.