



INFORMAÇÕES GERAIS DO TRABALHO

Título do Trabalho: Análise e Implementações de Metaheurísticas Bio-Inspiradas

Autor (es): Deylon Carlo Fidelis Couto, Carlos Alexandre Silva

Palavras-chave: Otimização, Algoritmo Colônia de Vaga-lume, Benchmarck

Campus: Sabará

Área do Conhecimento (CNPq): Computação

RESUMO

Neste trabalho apresentamos uma descrição de todas as atividades realizadas referentes ao projeto de pesquisa Análise e Implementação de Meta-heurísticas Bio-inspiradas. O projeto trata da análise e implementação das meta-heurísticas bio-inspiradas Colônia de Vagalume e Algoritmo do Lobo. Para avaliar os algoritmos foram criados *benchmarks* de funções multimodais e multidimensionais, incluindo novas funções que não foram encontradas em trabalhos da literatura, de acordo com a pesquisa bibliográfica realizada. Para o algoritmo Colônia de Vagalumes foi possível analisar a influência dos principais parâmetros nos resultados obtidos. Para o algoritmo do Lobo foi feita uma implementação parcial e uma comparação entre os dois algoritmos utilizando algumas funções com as mesmas características do *benchmark*.



INTRODUÇÃO:

A inteligência computacional (IC) tem sido bastante utilizada para resolver diversos problemas práticos reais. Muitos algoritmos de IC tem surgido nos últimos anos, especialmente os algoritmos baseados em inteligência por enxames. Dentre os algoritmos mais recentes podemos citar: colônia de vaga-lumes (Yang, 2008), colônia de bactérias (Niu & Wang, 2013), otimizador da formiga-leão (Mirjalili, 2015), entre outros. Desde sua criação em 2008, o algoritmo de Colônia de Vaga-lumes (ACV) vem sendo explorado na otimização de problemas reais como na reconfiguração de antenas para telecomunicação (Chatterjee et al., 2012), no sequenciamento de tarefas (Marichelvam et al., 2014) e outras aplicações.

Na primeira etapa deste projeto implementamos e analisamos o desempenho do ACV, proposto por (Yang, 2008), em um benchmark de funções multimodais e multidimensionais, visto que estas características são frequentes em funções objetivo de problemas de otimização, especialmente os que retratam aplicações reais. O ACV é baseado no comportamento dos vaga-lumes, sendo estes insetos conhecidos pela emissão de luz (bioluminescência) produzindo pequenos *flashes* rítmicos luminosos. Estas "luzes" influenciam na atração entre as espécies para fins de reprodução e na atração de presas ou prevenção de predadores. Em relação a um ponto fixo, a intensidade da luz emitida por um vaga-lume diminui à medida que este se afasta do ponto fixo, ou seja, a intensidade da luz é inversamente proporcional à distância. Devido a absorção da luz pelo ar, costuma-se considerar que $I \propto 1/r^2$, onde I é a intensidade luminosa de um vaga-lume e r é a distância entre dois vaga-lumes. No ACV, a intensidade luminosidade é associada à função objetivo a ser otimizada.

Na segunda etapa deste projeto implementamos parcialmente o Algoritmo Lobo (AL), porém na versão do Lobo Cinza (Mirjalili et al, 2014) e comparamos alguns resultados. Tivemos alguns bons resultados em relação ao ACV. Os lobos cinzas vivem em bandos de 5 a 12 lobos em média e são divididos hierarquicamente em 4 (quatro) grupos:

- α (alfa) - são os líderes do bando (um macho e uma fêmea). São responsáveis pelas tomadas de decisão do bando sobre caçada, local de dormir, hora de acordar e outras. Estes lobos são chamados de lobos dominantes e não são necessariamente os mais fortes.
- β (beta) - estão no segundo nível da hierarquia e são subordinados aos alfas, ajudando-os nas tomadas de decisões do bando. O beta pode ser macho ou fêmea e é o provável candidato a sucessor do beta quando este se tornar muito velho.
- δ (delta) - se o lobo não é alfa, beta ou ômega, então ele é chamado de subordinado ou delta. Eles são subordinados ao alfa e beta, mas dominam os ômegas. Eles são: sentinelas, anciãos, caçadores e cuidadores.
- ω (ômega) - estes estão no nível mais baixo da hierarquia. Eles são os últimos lobos a se alimentarem. Em alguns casos, os ômegas são considerados como "babás" dos lobos mais jovens.



OBJETIVO GERAL

- Analisar e implementar metaheurísticas bio-inspiradas específicas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar novas ferramentas computacionais para resolução de problemas de otimização de áreas como Computação e Engenharias.
- Implementar as técnicas computacionais Colônia de Vagalumes e Algoritmo do Lobo.
- Analisar os resultados obtidos utilizando embasamento estatístico.
- Aprimorar técnicas de programação e conhecimentos teóricos adquiridos no curso.



METODOLOGIA:

1-INTRODUÇÃO A OTIMIZAÇÃO E A METAHEURÍSTICAS BIO-INSPIRADAS (1° MÊS):

Foi realizado seminário com o orientador para apresentação do contexto de otimização abordado no projeto que introduziu o conceitos e tipos de metaheurísticas relacionadas com a otimização. Foram feitas leituras de vários artigos da literatura, bem como o artigo base para esse projeto (Yang, 2008).

2- INTRODUÇÃO À OCTAVE/MATLAB (2° MÊS): Foi apresentado o ambiente de programação em Octave e MatLab e seus principais comandos. Foram simulados pequenos problemas para familiarizar-se com as linguagens. Além disso foram feitos testes computacionais para o conhecimento da interface gráfica da linguagem.

3- INTRODUÇÃO AO ALGORITMO DE COLÔNIA DE VAGALUMES (2° MÊS):

Foi apresentado o Algoritmo de Vagalume de (Yang, 2008) através de pseudocódigo e de uma versão simples de MatLab. Foram estudadas as principais características do algoritmo como os parâmetros de aleatoriedade, atratividade e absorção de luz. Deu-se início a implementação da metaheurística.

4- IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO DE COLÔNIA DE VAGALUMES EM OCTAVE/MATLAB (3° MÊS AO 6° MÊS): Foram utilizadas várias funções encontradas na literatura com características de multimodalidade e multidimensionalidade. Foram testadas variações dos parâmetros do algoritmo classificando as funções de acordo com sua dimensão.

5- INTRODUÇÃO AO ALGORITMO DO LOBO (7° MÊS): Apresentação do Algoritmo do Lobo (AL). Foram apresentadas as principais características do algoritmo, para o entendimento do funcionamento do mesmo através de pseudocódigo.

6- IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO DO LOBO EM OCTAVE/MATLAB (8° MÊS AO 10° MÊS): Foi iniciado o processo de implementação do algoritmo. Foram utilizadas as mesmas funções da etapa 4.

7- ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ALGORITMO DE COLÔNIA DE VAGALUMES E ALGORITMO DO LOBO (11° MÊS): Em virtude de problemas a comparação realizada compreendeu apenas uma pequena quantidade das funções do benchmark.

8- ESCRITA DE TEXTO CIENTÍFICO (12° MÊS): Todas as etapas anteriores foram sintetizadas através de texto científico, considerando a facilidade de compreensão dos assuntos abordados como prioridade da elaboração do texto.



RESULTADOS E DISCUSSÕES:

No desenvolvimento deste projeto foi construído um benchmark de funções multidimensionais e multimodais. As funções foram divididas de acordo com sua dimensionalidade. Procuramos variar os parâmetros do algoritmo em relação à aleatoriedade do método, o parâmetro de atração entre os vaga-lumes e a absorção da luz pelo meio. O algoritmo Colônia de Vagalumes (ACV) encontra a solução para as funções em um tempo razoavelmente pequeno, cerca de 2 segundos em uma máquina i5 2.5 GHz, utilizando 50 vaga-lumes e com um número máximo de gerações de 500. Em uma média global, verificou-se que em todas as simulações, pouco mais de 25%, foram obtidos valores ótimos melhores do que da literatura. Isso representa um bom indicativo de eficiência do ACV, pois não era esperado superar estes resultados, mas sim obter soluções próximas ou exatamente estas soluções. Para o conjunto de funções utilizadas no benchmark há um indício de que o algoritmo se comporta melhor com uma aleatoriedade média-baixa, em torno de 25%, uma baixa atratividade entre os vaga-lumes, por volta de 10%, e com a absorção da luz dos vaga-lumes pelo meio com valores diferentes dos extremos, ou seja, não assumindo valores muito próximos da total absorção ou da ausência de absorção. A Figura 1 quantifica a influência dos parâmetros de aleatoriedade, atratividade e absorção da luz pelo meio na otimização das funções multidimensionais. As colunas “Função” e “N” descrevem a função e sua dimensionalidade, respectivamente. As colunas “ α ”, “ β ” e “ γ ” são os parâmetros característicos do algoritmo. As colunas “%” à direita de cada parâmetro indicam a frequência do parâmetro (à esquerda) nas melhores soluções. A notação $*/\{c_1, \dots, c_n\}$ significa que todas as configurações do parâmetro são válidas com exceção das configurações c_1, \dots, c_n .

N	Função	α	%	β	%	γ	%
4	Colville	*	20.00	*	20.00	*	20.00
5	Salomon	0.1,0.25	45.45	0.5	54.54	0.75	45.45
5	Zahkarov	*	20.00	*	20.00	*	20.00
9	ANNsXOR	0.75,1	26.04	1	26.04	0.01,0.25	21.87
10	Alpine	1.00	21.05	0.1	26.31	$*/\{0.01\}$	21.05
10	Paviani	$*/\{0.1\}$	20.32	$*/\{0.75,1\}$	20.32	$*/\{0.25,0.75\}$	20.32
10	Sargan	0.1,0.25	34.72	$*/\{0.25,0.5\}$	20.83	$*/\{0.01,1\}$	20.83
17	Cola	-	-	-	-	-	-

Figura 1: Impacto dos parâmetros nas soluções das funções ND

Uma das primeiras análises feita neste trabalho foi investigar o impacto da quantidade de vaga-lumes na otimização das funções. Fizemos testes computacionais com um conjunto de funções 2D, 3D e ND e chegamos ao resultado que será ilustrado através de uma função 2D multimodal. A função $f(x, y) = -e^{-(x-4)^2 - (y-4)^2} - e^{-(x+4)^2 - (y-4)^2} - 2e^{-x^2 - (y+4)^2} - 2e^{-x^2 - y^2}$ possui dois mínimos locais e dois



mínimos globais em $(-4,4)$, $(4,4)$ e $(0,-4)$, $(0,0)$, respectivamente, com $f(-4,4) = f(4,4) = -1$ e $f(0,-4) = f(0,0) = -2$.

A função e as curvas de nível em torno dos ótimos são apresentadas na Fig. 2.

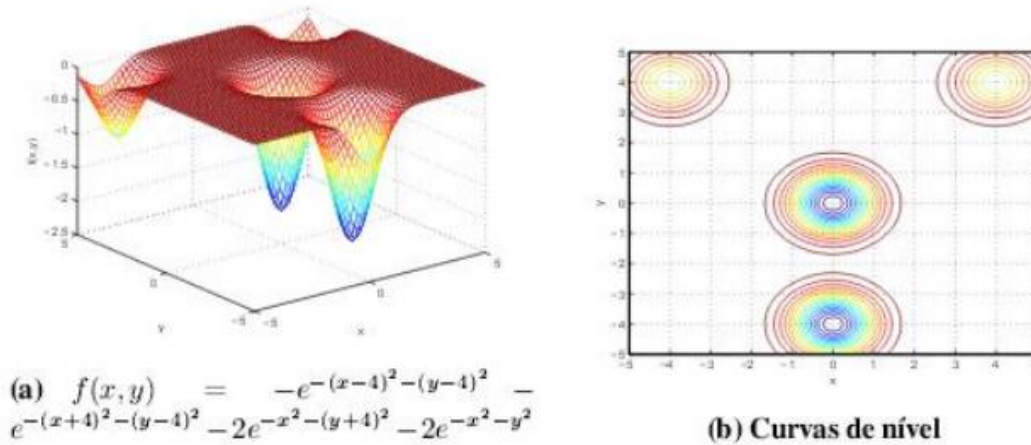


Figura 2: Função teste e curva de nível

Fixando o número de iterações em $\text{MaxGen} = 100$ e variando o número de vaga-lumes, obtemos a relação entre a quantidade de vaga-lumes e as quantidades de ótimos locais, globais e ambos. No intervalo de 25 a 50 vaga-lumes houve uma melhor aproximação dos pontos do gráfico da Figura 3 com a bissetriz do primeiro quadrante, ou seja, quase todos os vaga-lumes encontraram o ótimo, seja local ou global. A partir desta estimativa fixamos nossos testes em 50 vaga-lumes.

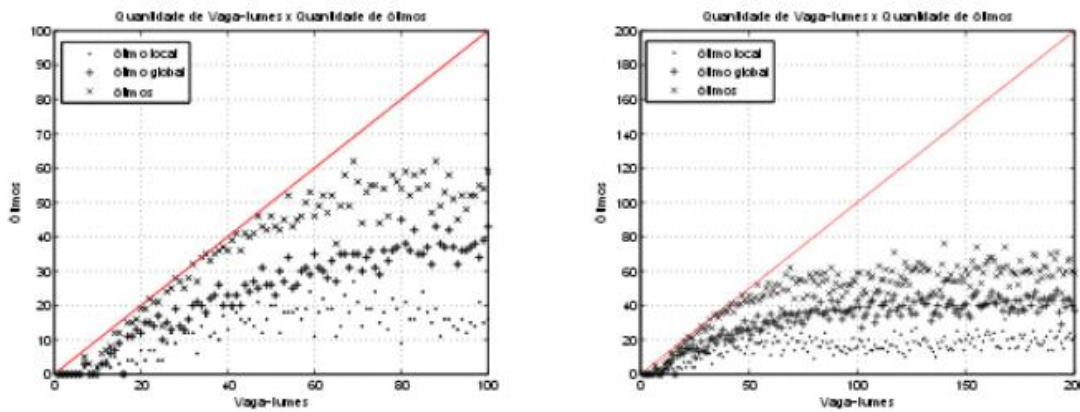


Figura 3: Relações do número de vagalumes com o número de ótimos encontrados, fixando em 100 gerações para cada quantidade de vagalumes

Os resultados obtidos em relação ao algoritmo do Lobo são descritos na comparação abaixo.



Funções unimodais

F5(x)	Fbest (melhor resultado)
ACV	26.272
AL	26.81258

$F_5(x) = \sum_{i=1}^{n-1} [100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2]$ $n = 30$; intervalo de domínio = $[-30, 30]$; $F_{\min} = 0$ (ótimo global);

Funções multimodais

F8(x)	Fbest
ACV	-5418.6
AL	-6123.1

$F_8(x) = \sum_{i=1}^{n-1} -x_i \sin(\sqrt{|x_i|})$ $n = 30$; intervalo de domínio = $[-500, 500]$; $F_{\min} = -418.9829$ (ótimo global).

F9(x)	Fbest
ACV	14.251
AL	0.310521

$F_9(x) = \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]$ $n = 30$; intervalo de domínio = $[-5.12, 5.12]$; $F_{\min} = 0$ (ótimo global).

F11(x)	Fbest
ACV	16.818
AL	0.004485

$F_{11}(x) = \frac{t}{4000} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1$ $n = 30$; intervalo de domínio = $[-600, 600]$; $F_{\min} = 0$ (ótimo global).



Funções multimodais de “pequena” dimensão

F16(x)	Fbest
ACV	-1.03160
AL	-1.03163

$F_{16}(x) = 4x_1^7 - 2.1x_1^4 + \frac{1}{3}x_1^6 + x_1x_2 - 4x_2^7 + 4x_2^4$; $n = 2$; intervalo de domínio = $[-5,5]$; $F_{\min} = -1.0316$ (ótimo global).

F17	Fbest
ACV	0.397890
AL	0.397889

$F_{17}(x) = \left(x_2 - \frac{5.1}{4\pi^2}x_1^2 + \frac{5}{\pi}x_1 - 6\right)^2 + 10\left(1 - \frac{1}{8\pi}\right)\cos x_1 + 10$; $n = 2$; intervalo de domínio = $[-5,5]$; $F_{\min} = 0.398$ (ótimo global).

F18	Fbest
ACV	3.000000
AL	3.000028

$F_{18}(x) = [1 + (x_1 + x_2 + 1)^2(19 - 14x_1 + 3x_1^2 - 14x_2 + 6x_1x_2 + 3x_2^2)] \times [30 + (2x_1 - 3x_2)^2 \times (18 - 32x_1 + 12x_1^2 + 48x_2 - 36x_1x_2 + 27x_2^2)]$

$n = 2$; intervalo de domínio = $[-2,2]$; $F_{\min} = 3$ (ótimo global).

Pode-se perceber que o AL teve uma performance melhor para funções de grande dimensão. Para as funções multimodais de pequenas dimensões, os dois algoritmos obtiveram resultados similares.



CONCLUSÕES:

As etapas do projeto descritas para o algoritmo Colônia de Vagalumes foram totalmente cumpridas, destacando-se a análise de impactos dos parâmetros do algoritmo ACV. Para o algoritmo do Lobo, foi possível fazer uma implementação parcial, mas com possibilidade de comparação entre os dois algoritmos propostos no projeto.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CHANGAN, L.; XIAOHU, Y.; CHUNYANG, L.; HUA, W. The Wolf Colony Algorithm and Its Application. Chinese Journal of Electronics 20(2), 2011.

FISTER, I.; FISTER Jr., I.; YANG, X. S.; BREST, J.; FISTER, D. A Brief Review of Nature-Inspired Algorithms for Optimization. Elektrotehniski Vestnik 80(30): 1-7, 2013.

LOPES, H. S.; Takahashi, R. H. C. Computação Evolucionária em Problemas de Engenharia. Omnipax, 2011.

LOPES, H. S.; Rodrigues, L. C. A.; Steiner, M. T. A. Meta-Heurísticas em Pesquisa Operacional. Omnipax, 2013.

MIRJALILI, S.; MIRJALILI, S. M.; LEWIS, A. Grey Wolf Optimizer, Advances in Engineering Software, vol. 69, pp. 46-61, 2014.

TANG, R.; FONG, S; YANG, X.S.; DEB, S. Wolf search algorithm with ephemeral memory. In: Digital Information Management (ICDIM), 2012 Seventh International Conference on, pages 165–172, 2012.

YANG, X.S.; HE, X.S. Firefly algorithm: recent advances and applications. Int. J. Swarm Intell. 1(1), 1-14, 2013.

YANG, Xin-She. Swarm Intelligence and Bio-Inspired Computation: Theory and Applications. Elsevier, 2013.

YANG, X.S. Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms. First Edition, Luniver Press, 2008.



Participação em Congressos, publicações e/ou pedidos de proteção intelectual:

Destaca-se como resultados deste projeto as seguintes publicações que foram, respectivamente em congresso internacional, congresso nacional e congresso regional:

COUTO, D. C. F.; SILVA, C.A. Otimização de funções multimodais via técnica de inteligência computacional baseada em Colônia de Vaga-lumes. In: CILAMCE, 2015, Rio de Janeiro. XXXVI Ibero-Latin American Congress on Computational Methods in Engineering, 2015. v. 1.

COUTO, D. C. F.; SILVA, C. A. Otimização irrestrita de funções multimodais via algoritmo colônia de vaga-lumes. In: XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2015, Porto de Galinhas. SBPO, 2015. v. 1.

COUTO, D. C. F.; SILVA, C. A. Algoritmo Colônia de Vaga-lume aplicado na otimização de funções N-dimensionais. In: Congresso de Matemática Aplicada e Computacional, 2015, Vitória. III CMAC - Sudeste 2015, 2015. v. 1.