

# Metaheurística “*Colônia de Formigas*” aplicada à Engenharia de Transportes

**Palavras-Chave: METAHEURÍSTICA, ENGENHARIA, TRANSPORTES**

**Autores:**

**GUSTAVO DE GODOI, FT-UNICAMP.**

**FELIPE PASTORI LOPES, FT-UNICAMP.**

**Prof. Dr. WILLIAM MACHADO EMILIANO (coorientador), FT-UNICAMP.**

**Prof. Dr. YURI ALEXANDRE MEYER (orientador), FT-UNICAMP.**

---

## INTRODUÇÃO:

Em problemas relacionados ao campo de Engenharia de Transportes, é fundamental que sejam aplicadas ferramentas que otimizem o processo de logística. Assim, a busca pelo conhecimento de melhoria das ações intervencionistas dos profissionais dessa área é um campo vasto para o desenvolvimento das pesquisas acadêmicas. Destaca-se que uma linha de pesquisa notória para soluções de problemas de otimização é a chamada metaheurística, sendo definida por Swan et. al (2022) como “um processo mestre iterativo que guia e modifica as operações de heurísticas subordinadas para produzir eficientemente soluções de alta qualidade. A cada iteração, ela manipula uma solução única completa (ou parcial) ou então uma coleção de tais soluções”. A abordagem no presente trabalho baseia-se em agentes chamados “formigas artificiais”, destacando o processo que permite a aquisição de uma determinada solução para problemas de otimização combinatória, uma vez que “algoritmos metaheurísticos inspirados em formigas, conhecidos como otimização de colônias de formigas (ACO), oferecem uma abordagem que tem a capacidade de resolver problemas complexos em domínios discretos e contínuos” (Bhavya, 2023). Assim, dada a importância da logística urbana e conhecendo-se os desafios enfrentados pelas grandes cidades, a aplicação em questão vem como uma alternativa na melhoria de serviços e minimização de custos através da busca por rotas de caminho ótimo.

O presente trabalho contribui para a resolução de um problema estratégico-operacional relacionado à problemática de escolhas de melhores localidades para instalação de postos de serviços nas rodovias, através da análise abrangente dos métodos metaheurísticos de otimização das colônias de formigas. Em outras palavras, busca elucidar a resposta para a questão: quais são os melhores lugares para instalar postos de serviços em uma rodovia?

## METODOLOGIA:

A modelagem matemática e física utilizada no presente trabalho foi realizada com o Excel – escolha realizada para permitir o uso de um software convencional. Deste modo, inicialmente, a metodologia esteve centrada a partir da modelagem do cenário considerando-se a metaheurística “Colônia de Formigas”. Buscou-se adequar aos conceitos de Engenharia de Transportes – permitindo o a comparação entre os pontos já construídos e àqueles fornecidos pelo método de estudo.

A partir das formulações apresentadas por Souza, 2019, foi possível desenvolver um estudo matemático para a análise entre os pontos ótimos e reais voltados à aplicação em Engenharia de Transportes, cuja problemática foi apresentada anteriormente, chegando à seguinte equação:

$$\frac{LR}{LO} = \frac{Q}{\tau_{ij}(t+1) - Q(1-\rho)} \quad [1]$$

Em que:

- $\rho \in [0, 1]$ : parâmetro que regula a redução de  $\tau_{(ij)}(t)$ ;
- $\tau_{(ij)}(t)$ : intensidade do feromônio presente na aresta (i,j) na t-ésima iteração;
- Q: parâmetro que se refere à quantidade de feromônio depositada por uma formiga para toda uma solução;
- $L_R$ : a distância Real;
- $L_O$ : a distância Ótima.

Como o interesse central é fazer uma correlação com parâmetros de Engenharia de Transportes, destaca-se a tabela a seguir para elucidar a correspondência entre os conceitos metaheurísticos e de Engenharia de Transportes:

Tabela 1 – Correlação entre os parâmetros teóricos da metaheurística “Colônia de formigas” e Engenharia de Transportes. Fonte: Autores, 2024

Q	Capacidade do Tanque de Combustível do Veículo Padrão;
$\rho$	Rendimento de um litro de Combustível por Quilômetro Rodado;
$\tau_{(ij)}(t)$	Nível Mínimo de Combustível no Tanque para que o Abastecimento Ocorra.

A partir dessa nova consideração, surge uma adequação dos conceitos desenvolvidos a partir da metaheurística colônia de formigas para o estudo de pontos ótimos dentro de um trecho de rodovia.

Para desenvolvimento dos cálculos, optou-se pela utilização do programa *Microsoft Excel*, haja vista sua grande disseminação dentro do ambiente corporativo e estudantil, permitindo que o estudo realizado seja aplicado tanto em outros setores quanto a partir de novas perspectivas.

Com isso, a equação [1] é escrita da seguinte forma:

$$LR/LO = ABS((B18/(B19-(B18*(1-B20)))))) [2]$$

Sendo cada componente da fórmula um valor correspondente ao da célula como apresenta a imagem a seguir:

	A	B
16	<b>Parâmetros</b>	
17		
18	<b>Q</b>	47
19	<b>T<sub>ij</sub></b>	0,1
20	<b>P</b>	0,07
21		
22	<b>Resultados</b>	
23		
24	<b>LR/LO =</b>	1,07
25	<b>LR(12) =</b>	325,39
26	<b>LO(12)=</b>	349,42
27	<b>Fator Conf Econ:</b>	24,04

Figura 1 –Print do Microsoft Excel – fonte: dos autores (2024)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A partir da metodologia utilizada descrita anteriormente, os resultados são apresentados na tabela 2.

Para obtenção dos resultados foram utilizados valores considerados apropriados para um veículo de passeio popular, sendo este o veículo padrão de estudo, estes são apresentados a seguir:

- Q = 47 Litros;
- $\rho = 15$  Quilômetros por Litro ( $1/15 = 0,07$ );
- $\tau_{(ij)}(t) = 10\%$  da capacidade total do tanque.

Aplicando a metodologia no *Microsoft Excel*, tem-se os seguintes resultados apresentados na tabela 2 a seguir:

Tabela 2 - Atribuição dos valores do Fator de Confiabilidade Econômico (FCE) para cada ponto de coordenada.  
Fonte: Autores, 2024.

Ponto	E(Km) - Real	LR/LO	E(Km) - Ótimo	FCE
1	255,59	1,07	274,47	18,88
2	255,85	1,07	274,75	18,90
3	288,10	1,07	309,39	21,28
4	294,15	1,07	315,88	21,73
5	296,21	1,07	318,09	21,88
6	299,18	1,07	321,28	22,10
7	302,72	1,07	325,09	22,36
8	311,00	1,07	333,98	22,98
9	313,61	1,07	336,78	23,17
10	316,31	1,07	339,67	23,37
11	319,34	1,07	342,93	23,59
12	325,39	1,07	349,42	24,04

Observa-se, através do resultado apresentado, a seguinte análise:

Os valores da última coluna representam o **Fator de Confiabilidade Econômica (FCE)** que se configura em uma área (resultado da subtração entre o Valor de Coordenada Real com o Valor de Coordenada Ótimo) em que há a otimização do local para instalação de postos de serviço. A estrutura da fórmula nos permite compreender que, ao considerarmos carros com um rendimento maior, há uma diminuição desta área, permitindo assim resultados mais acurados. Torna-se válido também mencionar que apenas a coordenada X (neste caso E visto a adoção do sistema de coordenadas UTM) é utilizada para a verificação e otimização neste estudo: ao considerar a coordenada Y (N) como fixa, evita-se a sua alocação para dentro da rodovia, o que é inviável em termos de construção e fluxo.

## CONCLUSÕES:

Conclui-se que o trabalho desenvolvido, sendo este um trabalho inicial do Grupo de Estudos de Econofísica da Faculdade de Tecnologia da Unicamp, apresenta resultados consideráveis para aplicações da metaheurística de colônia de formigas para a verificação de pontos ótimos em rodovias ou demais vias de estudos da Engenharia de Transportes. Contudo, para melhores resultados, entende-se a necessidade de aplicações em estudos de casos e usos de recursos computacionais para simulações, a fim de adequar ainda mais a fórmula desenvolvida aos parâmetros reais de um fluxo contínuo de veículos. Destaca-se por fim que a análise da correlação da fórmula de metaheurística com conceitos de Engenharia de Transportes permitiu a proposição de um fator econômico intitulado de Fator de Confiabilidade Econômica (FCE).

---

## BIBLIOGRAFIA

SWAN, Jerry et al. Metaheuristics "In the Large". *European Journal of Operational Research*, v. 297, n. 1, p. 393-406, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.05.042>. Acesso em: 31 jul. 2024.

BHAVYA, Ravinder; ELANGO, Lakshmanan. Ant-Inspired Metaheuristic Algorithms for Combinatorial Optimization Problems in Water Resources Management. *Water*, v. 15, n. 9, p. 1712, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w15091712>. Acesso em: 31 jul. 2024.

SOUZA, Fernanda Gonçalves. Método metaheurístico de colônia de formigas e sua aplicação na alocação de petróleo. 2019. 165 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia Química) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.