

# Aplicação de meta-heurísticas para problemas de roteamento

**Palavras-Chave:** Meta-heurísticas, Otimização combinatória, Roteamento em arco

**Autores(as):**

**Matheus Leal Viana, Instituto de Computação (IC), UNICAMP**  
**Prof. Fábio Luiz Usberti, Instituto de Computação (IC), UNICAMP**

---

## INTRODUÇÃO:

Este trabalho visa explorar metodologias de meta-heurísticas com o objetivo de resolver um problema específico relacionado à prevenção da dengue. A pesquisa foca na otimização do roteamento de um caminhão de nebulização, utilizando técnicas avançadas de meta-heurísticas para determinar a rota mais eficiente.

A dengue é uma doença transmitida por mosquitos, e a nebulização é uma estratégia crucial para o controle da população de mosquitos e, conseqüentemente, para a prevenção da doença. O desafio reside em determinar a melhor rota para o caminhão de nebulização, de forma a maximizar a cobertura e a eficácia das operações, enquanto se considera uma série de restrições, como limitações de recursos, a dinâmica do ambiente e a necessidade de adaptabilidade contínua.

Para enfrentar este desafio, foi estudada uma metodologia baseada em algoritmos gulosos e técnicas de meta-heurísticas. Essas abordagens foram modeladas matematicamente, implementadas em C++ e testadas em um conjunto de casos de teste representativos de cenários reais de controle de dengue.

## METODOLOGIA:

O problema estudado consiste em otimizar a rota de um caminhão de nebulização em uma cidade, com o objetivo de maximizar a prevenção de casos de dengue. Utilizamos dados reais de mapas urbanos e relatórios de incidência de dengue para modelar o cenário. Cada rua da cidade pode ou não ser nebulizada pelo caminhão, o que influencia tanto na eficácia da prevenção quanto no tempo total necessário para completar a rota e desta forma, para um melhor estudo do problema, foi realizado uma conversão dos mapas para um grafo

A conversão do mapa da cidade para um grafo começou com a coleta de mapas detalhados, que forneceram informações precisas sobre ruas e interseções. Interseções foram mapeadas como nós do grafo, enquanto ruas que conectam essas interseções foram mapeadas como arestas. A cada

aresta foram atribuídos atributos como comprimento e tempo de percurso, além de dados sobre incidência de dengue para priorização de nebulização. Por fim, o grafo foi adaptado para incluir variáveis específicas do problema de roteamento do caminhão de nebulização, como a possibilidade de nebulizar ruas e o impacto no tempo total de viagem.



O grafo gerado foi validado e ajustado com base em dados adicionais, garantindo a precisão em relação à estrutura urbana real. Por fim, o grafo foi adaptado para incluir variáveis específicas do problema de roteamento do caminhão de nebulização, como a

possibilidade de nebulizar ruas e o impacto no tempo total de viagem. Desta forma, o problema pode ser definido formalmente como:

Grafo orientado  $G(V,E)$ , onde  $V$  é o conjunto de  $n$  vértices e  $E$  é o conjunto de  $m$  arestas, onde cada aresta é representada por um par ordenado de vértices  $(u, v)$ , cada aresta  $e$  possui uma distância  $d(e)$  e um benefício  $b(e)$ . Um carro de nebulização possui velocidade  $k1$  quando está nebulizando uma aresta ou  $k2$  caso contrário. Desta forma, deseja-se encontrar um circuito  $C$  em  $G$ , correspondendo a uma sequência de vértices arestas visitadas e um subconjunto de arestas  $E1(C)$ , que serão nebulizadas, e um subconjunto de arestas  $E2 = E \setminus E1$ , que não serão nebulizadas de modo que o tempo total de nebulização seja no máximo  $T$ .

### Função Objetiva:

$$\text{Maximizar: } \sum_{e \in E1(C)} b_e$$

### Restrições:

- $b_e, d_e \geq 0$
- $k1, k2 > 0$
- $\sum_{e \in E1(C)} (d_e/k1) + \sum_{e \in E2(C)} (d_e/k2) \leq T$

Para uma melhor análise do problema, foram criados casos de testes extras com o objetivo de explorar e comparar diferentes soluções em cenários diferentes, esses casos de testes tiveram como base os dados coletados das cidades porém alterando as variáveis do problema, de modo que diferentes tipos de grafos fossem analisados e para isso foram considerados fatores como: velocidade do caminhão, clusterização de vértices e densidade de benefícios.

## Modelagem da solução:

Uma possível solução é determinada por um conjunto de arestas  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{|P|}\}$ , que representam quais arestas serão nebulizadas e em qual ordem a nebulização ocorrerá. Além disso, a rota escolhida pelo caminhão entre  $p_i$  e  $p_{i+1}$  será o caminho de tempo mínimo entre  $V_{p(i)}$  e  $U_{p(i+1)}$ , de modo que  $Tmin(u, v)$  representa a rota de tempo mínimo entre os respectivos vértices. Formalmente, a solução  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{|P|}\}$ , representa a seguinte rota:

$$\{U_{p(1)}, V_{p(1)}, Tmin(V_{p(1)}, U_{p(2)}), \dots, Tmin(V_{p(|P|-1)}, U_{p(|P|)}), V_{p(|P|)}, U_{p(1)}\}$$

Para resolver o problema de roteamento do caminhão de nebulização inicialmente foi utilizado o GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure - Procedimento de Busca Guloso Adaptativo e Aleatorizado). Desta forma, foram considerados duas estratégias distintas para avaliar os resultados:

1. **Início com um Único Vértice:** A solução começa com um único vértice. A cada iteração, o veículo decide a próxima aresta a ser adicionada com base em um critério guloso, de forma a sempre considerar a distância mínima entre vértices e o tempo necessário para retornar ao início da rota.
2. **Início com um Ciclo Trivial:** A solução começa com um ciclo trivial de tamanho 1. Em cada iteração, o veículo decide qual aresta adicionar com base nos critérios gulosos. É necessário verificar todas as possíveis posições para a nova aresta dentro do ciclo atual, garantindo que após a inserção, o circuito continue válido e que o tempo total permaneça dentro do limite T.

Para encontrar os possíveis candidatos a serem incrementados na solução na fase construtiva, foram considerados os seguintes critérios gulosos:

- Arestas com maior benefício ( $b_e$ );
- Arestas com menor distância ( $d_e$ );
- Densidade de Benefício por Tempo ( $\frac{b_e}{d_e/k_1}$ ).

Essas estratégias gulosas ajudam na construção de uma solução inicial eficiente, equilibrando o benefício de nebulização com as restrições de tempo e garantindo a viabilidade do circuito de acordo com os limites estabelecidos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO:**

A implementação das estratégias gulosas para a construção da solução gerou os seguintes resultados:

A estratégia que priorizou arestas com o maior benefício direto para a nebulização das áreas com alta incidência de dengue foi eficaz na cobertura das regiões críticas. No entanto, essa abordagem frequentemente excedeu o tempo máximo permitido devido ao custo elevado das arestas, o que representa um desafio significativo para manter o percurso dentro do limite de tempo. Por outro lado, ao selecionar arestas com a menor distância entre vértices, foi possível reduzir o tempo total de deslocamento e facilitar a adesão ao limite de tempo estabelecido. Embora essa estratégia tenha melhorado a eficiência do percurso, a cobertura das áreas críticas de dengue foi menos otimizada, sugerindo uma compensação entre tempo e cobertura. A abordagem baseada na densidade de benefício por tempo mostrou-se a mais equilibrada, oferecendo uma boa combinação entre o benefício da nebulização e o tempo necessário para visitar cada aresta. As soluções obtidas com esta estratégia conseguiram se ajustar bem ao tempo disponível, proporcionando uma cobertura razoável das áreas prioritárias sem comprometer significativamente o tempo de execução.

## **CONCLUSÕES:**

Os resultados demonstraram que a abordagem baseada na densidade de benefício por tempo foi a mais eficaz para o problema de roteamento do caminhão de nebulização. Essa estratégia conseguiu equilibrar bem a cobertura das áreas críticas com a restrição de tempo, oferecendo soluções que se ajustaram adequadamente ao limite máximo disponível. Enquanto a estratégia de maior benefício proporcionou uma boa cobertura das áreas prioritárias, frequentemente excedeu o tempo permitido, e a escolha de arestas com menor distância melhorou o tempo de deslocamento, mas não cobriu de forma ideal as áreas críticas. Portanto, a densidade de benefício por tempo se destacou como a solução mais equilibrada e eficiente.