

André Felipe Vigarani (avlipe44@gmail.com)

Matheus Mascarenhas de Barros (matheusmbarros01@gmail.com)

Tobias Felipe Kiefer (tobias.kiefer@edu.udesc.br)

PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO/ALOCAÇÃO DE ANTENAS DE TRANSMISSÃO

1. O PROBLEMA

Neste estudo, o foco se direciona para o desafio de posicionar antenas de telecomunicações, como aquelas responsáveis pela transmissão de sinais de rádio, televisão e internet via rádio, em locais específicos dentro de uma determinada região. O principal objetivo consiste em atender a uma maior quantidade de pontos de demanda com o menor número possível de antenas, reduzindo a distância entre os pontos de demanda e as antenas.

Além do objetivo de cobertura máxima, o problema também envolve a minimização dos custos operacionais, que incluem a instalação e manutenção das antenas. Portanto, a alocação eficiente de antenas é essencial para reduzir despesas operacionais.

Função Objetivo:

$$\text{Maximizar } f(x) = K \cdot \sum_{i=1}^n b_i - \sum_{j=1}^m C_j a_j - \sum_{i=1}^n \min\{d_{ij} \mid j \in A, a_j = 1\}$$

Restrições:

$$\begin{aligned} \text{Sujeito a } \sum_{j \in N_i} a_j &\geq b_i, \quad i = 1, \dots, n & - \quad 1 \\ \sum_{j=1}^m a_j &\geq 1 & - \quad 2 \\ b_i &\in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, n & - \quad 3 \\ a_j &\in \{0,1\}, \quad j = 1, \dots, m & - \quad 4 \end{aligned}$$

A função objetivo busca maximizar a cobertura dos pontos de demanda, minimizando o número de antenas e otimizando sua proximidade aos pontos de demanda.

K é um peso que prioriza a cobertura dos pontos de demanda.

A restrição 1 indica que os pontos de demanda serão considerados como atendidos, se estiverem dentro do raio de cobertura de alguma antena instalada. A restrição 2 garante que no mínimo deve ser usada uma antena. Por último, as restrições 3 e 4 indicam a escolha binária para b_i e a_j . Onde $b_i = 1$ indica o atendimento ao ponto de demanda i e $b_i = 0$ indica o não atendimento. Um ponto de demanda é considerado atendido, se existir pelo menos uma linha de visada direta entre ele e alguma facilidade, com distância menor ou igual ao máximo alcance do sistema. Também, $a_j = 1$ indica que a facilidade foi utilizada e $a_j = 0$, indica o seu não uso.

- $B = \{1, \dots, n\}$: conjunto de pontos de demanda (um ponto de demanda pode ser um bairro ou um quarteirão de um bairro);
- $A = \{1, \dots, m\}$: conjunto de locais candidatos, pontos potenciais onde podem ser alocadas antenas ou facilidades (se no ponto $j \in A$ é alocada uma antena, então é dito que a facilidade j é aberta; caso contrário a facilidade j está fechada);
- C_j : custo para abrir a facilidade j ;
- d : alcance de transmissão (raio de ação) de uma antena ou facilidade;
- d_{ij} : distância (Euclidiana) do ponto i ao ponto j ;
- a_j, b_i : variáveis de decisão $\in \{0,1\}$. Se a facilidade j é aberta tem-se $a_j = 1$, caso contrário $a_j = 0$. $b_i = 1$ se o ponto de demanda $i \in B$ é atendido por uma facilidade aberta, caso contrário $b_i = 0$;
- $N_i = \{ j \in A \mid d_{ij} \leq d \}$: conjunto de facilidades que podem atender ao ponto de demanda i .
- K = O parâmetro K desempenha o papel de um peso ou fator de ponderação.

Detalhes sobre o problema e sua modelagem, estão disponíveis no artigo usado como base disponibilizado no repositório.

2. INSTÂNCIAS

Os artigos utilizados na pesquisa não oferecem instâncias que possamos utilizar, criamos então um algoritmo gerador de instâncias. O gerador foi criado para produzir várias instâncias de teste para o problema, tanto pequenas quanto grandes, ambas com coordenadas aleatórias. Essas instâncias podem ser usadas para experimentar e avaliar algoritmos de resolução, testar a eficácia de diferentes heurísticas ou métodos de otimização, e comparar o desempenho de algoritmos em diferentes tamanhos de problemas.

As instâncias são arquivos texto, onde na primeira linha tem-se a quantidade de locais candidatos (A), quantidade de pontos de demanda (B) custo das antenas (C), alcance das antenas (D), o máximo de iterações do algoritmo GRASP (mi) e o fator peso (K). O restante do corpo da instância comporta as coordenadas dos pontos de demanda(n) tal como os locais candidatos para instalação de antenas(m). O gerador atribui valores fixos para o custo ('C') e alcance da antena ('D'). Para cada ponto de demanda e local candidato, o gerador escolhe coordenadas x e y aleatórias, em quilômetros, dentro de limites especificados na chamada do gerador. Isso cria a topologia da instância, definindo as posições espaciais dos pontos de demanda e locais candidatos. Os locais candidatos são as possíveis localizações para as instalações, e os pontos de demanda são os locais que precisam ser atendidos.

Exemplo do corpo de uma instância:

```
A 25 B 98 C 7000 D 10000 mi 10000 K 100000  
n 18647 14325  
n 27853 25334  
n 23360 595  
n 18712 4438  
n 5241 3236  
m 20431 8195  
m 31718 1195  
m 21154 11411  
m 20554 7173  
m 16926 22165
```

Mais detalhes sobre o gerador e como executá-lo estão no arquivo README do repositório.

3. IMPLEMENTAÇÃO

Disponível em: https://github.com/tobiasfkk/metodos_quantitativos

3.1 LEITURA DE INSTÂNCIA

Para permitir uma leitura eficiente de instâncias a partir de arquivos de entrada, a função extrai parâmetros essenciais do problema, como o número de antenas disponíveis (A), o número de pontos de demanda (B), o custo de abertura de uma antena (C), o alcance máximo de transmissão (D), o fator de ponderação (K) e o máximo de iterações (mi). As coordenadas dos pontos de demanda e das potenciais localizações para antenas são organizadas nas listas correspondentes (nx, ny, mx, my), fornecendo uma estrutura para a subsequente resolução do problema.

Integrado a um sistema de resolução de alocação de antenas, esse código estabelece uma base para a análise e otimização de redes de comunicação. Sua capacidade de ler instâncias a partir de arquivos simplifica o processo de entrada de dados, permitindo uma modelagem eficiente dos cenários específicos de cada problema.

3.2.1 GRASP

A heurística GRASP é uma abordagem em otimização combinatória. Ao unir a ganância na escolha local ótima com a aleatoriedade para diversificar as soluções exploradas, o GRASP busca encontrar soluções de alta qualidade para problemas complexos. A natureza gananciosa do algoritmo garante que, em cada iteração, seja feita a escolha localmente ótima. No entanto, para evitar convergir rapidamente para mínimos locais, a aleatoriedade é introduzida, permitindo que o algoritmo explore diferentes regiões do espaço de solução.

3.2.2 FASE DE CONSTRUÇÃO SEMI GULOSA

Na Fase de construção objetivo é alocar repetidamente todas as antenas necessárias para atender todos os pontos de demanda ou até que não haja mais antenas disponíveis. Inicialmente, é calculado um score para cada antena disponível, considerando sua proximidade aos pontos de demanda não atendidos. Esses scores orientam a escolha

aleatória de antenas, seguindo um índice especificado na chamada da resolução do problema. As antenas selecionadas são então alocadas, e, se necessário, são realizadas trocas para otimização da configuração. O processo de alocação e otimização continua iterativamente até que todos os pontos de demanda sejam atendidos ou não haja mais antenas disponíveis para alocar. Esse método busca encontrar soluções eficientes explorando de maneira dinâmica a proximidade das antenas aos pontos de demanda não atendidos, proporcionando uma abordagem adaptativa e eficaz na construção da configuração final.

3.2.3 FASE DE BUSCA LOCAL

A fase de busca local no GRASP para alocação de antenas busca o aprimoramento da solução inicial obtida durante a fase de construção. Durante iterações sobre as antenas alocadas, o algoritmo cria cópias auxiliares das estruturas de dados, removendo temporariamente uma antena e ajustando as estruturas correspondentes. A atualização dos pontos de demanda afetados por essa remoção é seguida pelo cálculo da distância mínima entre esses pontos e as antenas remanescentes. A função objetivo é recalculada considerando essa distância mínima, sendo então comparada à melhor solução encontrada até o momento. Se a nova solução representar uma melhoria, as variáveis que a representam são atualizadas, contribuindo para o aprimoramento local da alocação de antenas. Esse processo iterativo busca configurações mais eficientes, refinando a solução global do problema de alocação de antenas de maneira adaptativa e detalhada.

4. AMBIENTE EXPERIMENTAL

O ambiente experimental do código inclui a leitura de instâncias de problemas de alocação de antenas a partir de arquivos de texto. O usuário fornece o nome do arquivo de instância como argumento de linha de comando, juntamente com um percentual de aleatoriedade para influenciar o comportamento da heurística semi-gulosa.

A estrutura do arquivo de instância segue um formato específico, onde as informações relevantes, como o número de antenas (A), pontos de demanda (B), custo de abertura de uma antena (C), e alcance máximo de transmissão (D), são extraídas para inicializar as variáveis globais. Além disso, as coordenadas dos pontos de demanda (n_x , n_y) e potenciais locais de antenas (m_x , m_y) são armazenadas para o cálculo de distâncias.

A heurística semi-gulosa é aplicada para alocar antenas aos pontos de demanda. O processo é iterativo, escolhendo antenas com base em uma pontuação calculada considerando a proximidade e eficiência em atender os pontos de demanda. A

aleatoriedade é introduzida na seleção das antenas para diversificar a busca por soluções. O código é executado em um loop até que todos os pontos de demanda sejam atendidos ou não haja mais antenas disponíveis.

O código também inclui funcionalidades para imprimir os resultados da alocação, como o número de antenas alocadas, não alocadas, pontos de demanda atendidos, não atendidos, custo total e estados finais de antenas e pontos de demanda. Além disso, há uma validação de erro para garantir que a instância informada exista. O código pode ser executado em múltiplas instâncias usando a opção 'T'. O tempo de execução não é especificado, e os critérios de término não são abordados no código fornecido.

5. RESULTADOS

Após a execução com diversos índices de aleatoriedade diferentes, foi utilizado 0,2 como padrão para os testes, haja visto que com este percentual foram obtidos os melhores resultados.

Cada instância foi executada 10 vezes e então foi feita a média das soluções para compor a tabela a seguir. Percebemos também que os resultados são em média 98% iguais, com um desvio padrão da população das instâncias pequenas de 92385.17285 e de 345815.5948 para as instâncias grandes.

Instância	Modelo Matemático - GLPK	Heurística - GRASP
Pequena - 1	9310985.040197683	9209692.279406015
Pequena - 2	9428619.72846961	9319099.595614837
Pequena - 3	9442736.737879649	9325129.101243047
Pequena - 4	9310637.21925693	9221605.949979104
Pequena - 5	9311803.801878944	9203348.069582047
Pequena - 6	9236359.089432603	9112451.845863417
Pequena - 7	9402491.208578378	9295518.169528948
Pequena - 8	9450459.2391236	9358873.425339334

Instância	GLPK	GRASP
Grande - 1	39312125.491114154	38621922.34101626
Grande - 2	39301404.81786961	38649237.56775393

Grande - 3	39354855.97868114	38646036.033820175
Grande - 4	39402432.674816795	38665225.30013242
Grande - 5	39332885.20133579	38648835.478364035
Grande - 6	39355225.767150566	38705105.81232927
Grande - 7	39428819.080425926	38716332.494069695
Grande - 8	39385823.67178376	38721983.74144919

6. CONCLUSÃO

Diante da implementação e análise do algoritmo GRASP para o problema de alocação de antenas, os resultados obtidos revelam uma abordagem eficiente, e embora os resultados não tenham atingido os níveis ideais previstos pelo modelo matemático, eles se aproximaram significativamente.

Dessa forma, os resultados indicam que o algoritmo, ao integrar a ganância e aleatoriedade de maneira controlada (com uma baixa aleatoriedade), oferece uma boa solução para o problema de alocação de antenas. Futuras pesquisas podem se concentrar em refinamentos algorítmicos e ajustes nos parâmetros para aprimorar a eficiência da heurística em cenários um pouco mais diferentes.

REFERÊNCIAS

Repositório GitHub: https://github.com/tobiasfkk/metodos_quantitativos

ARROYO, José E. C.; MARQUES, Tarcísio B. **HEURÍSTICA GRASP APLICADO AO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE ANTENAS DE TRANSMISSÃO**. Disponível em: <http://www.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2006/pdf/arq0199.pdf>. Acesso em: 10 nov 2023.

MARQUES, Tarcísio B. **HEURÍSTICAS PARA O PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO / ALOCAÇÃO DE ANTENAS DE TRANSMISSÃO**. Disponível em: https://mpoic.ucam-campos.br/wp-content/uploads/2007/11/tarc%C3%ADsio_barroso_marques.pdf. Acesso em: 10 nov 2023.