

Trabalho Prático - Projeto e Análise de Algoritmos

Thiago Gomes Martins, Henrique Mendonça Castelar Campos

¹Ciência da Computação – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC MG)

Abstract. *Optimization problems are common across various sectors, including the planning of industrial or commercial facility locations. This study addresses the challenge faced by a network of stores in opening multiple franchises, minimizing installation costs, and maintaining a minimum distance between stores to avoid internal competition. We implement brute-force and branch-and-bound approaches to explore configurations and eliminate unproductive solutions, respectively. The comparative analysis evaluates the effectiveness and processing times of both strategies for franchise location planning.*

Resumo. *Problemas de otimização são comuns em diversos setores, incluindo o planejamento de localização de instalações industriais ou comerciais. Este estudo aborda o desafio enfrentado por uma rede de lojas na abertura de várias franquias, minimizando custos de instalação e mantendo uma distância mínima entre as lojas para evitar concorrência interna. Implementamos abordagens por força bruta e branch-and-bound para explorar configurações e eliminar soluções improdutivas, respectivamente. A análise comparativa avalia a eficácia e os tempos de processamento de ambas as estratégias para o planejamento de localização de franquias.*

1. Introdução

Otimização de problemas é uma área fundamental em diversos setores, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento e na eficiência de processos industriais, comerciais e logísticos. Um dos desafios mais comuns nesse campo é o planejamento da localização de instalações, como lojas, fábricas ou centros de distribuição, dentro de uma determinada região. A decisão de onde posicionar essas instalações pode ter um impacto significativo nos custos operacionais, na eficiência da cadeia de suprimentos e na satisfação do cliente.

Este artigo aborda especificamente o problema de localização de franquias de uma rede de lojas, considerando a minimização dos custos de instalação e a necessidade de manter uma distância mínima entre as lojas para evitar competição interna. A otimização dessa localização é essencial para garantir o sucesso e a sustentabilidade do negócio, equilibrando a acessibilidade para os clientes, os custos de operação e a viabilidade financeira das franquias.

Neste contexto, são apresentadas duas abordagens para resolver o problema de localização das franquias: uma solução por força bruta, que explora todas as configurações possíveis, e um método de branch-and-bound, que busca aprimorar a eficiência da solução por meio da eliminação de soluções improdutivas. Será realizada

uma análise comparativa entre esses métodos, avaliando não apenas a qualidade das soluções encontradas, mas também os tempos de processamento e a escalabilidade para problemas de maior complexidade

Por meio deste estudo, busca-se fornecer insights valiosos para redes de lojas e empresas interessadas em otimizar a localização de suas instalações, contribuindo para a melhoria dos processos de tomada de decisão e para o aumento da eficiência operacional.

2. Solução proposta

A resolução desse problema consiste em gerar subconjuntos por meio da adição de cada ponto informado pelo usuário. O subconjunto que estiver de acordo com a restrição e com o critério de otimização, será considerado como a melhor solução para esse problema. A restrição é a distância mínima permitida entre as lojas e o fato de somente existir uma loja por franqueado. E o critério de otimização é o número de franquias ser o maior possível, e o custo total de instalação, o menor possível.

Um dos algoritmos utilizados é o algoritmo da Força Bruta, que consiste em gerar todas as soluções possíveis e escolher a melhor das que atendem à restrição e o critério de otimização. Para isso, serão gerados todos os subconjuntos do conjunto de pontos candidatos, e aquele subconjunto que estiver de acordo com a restrição (distância mínima) e for o melhor, será considerado como a melhor solução.

Outro algoritmo utilizado é o algoritmo Branch and Bound, que consiste em recursivamente gerar subconjuntos do conjunto dos pontos candidatos, por meio da adição e da não adição do elemento analisado. Caso o elemento analisado não atenda a restrição, ele não será adicionado e nem comparado a melhor solução, e nem serão gerados filhos dele. Caso ele atenda a restrição, e tenha terminado a recursão, ele será comparado com a melhor solução até então. Caso ele seja melhor que a melhor solução, ou não exista até então uma melhor solução, ele será considerado como a melhor solução. O algoritmo pára quando o índice de recursão for igual ao número máximo de franquias.

Na análise do consumo de memória, ambos algoritmos, no pior caso, gastaram $f(n) = 2^n$, que é o espaço gasto para armazenar todas os vetores possíveis. Já no processamento o algoritmo da Força Bruta gastou $T(n) = 2^{(n+1)} - 2$, e o Branch and Bound $T(n) = 3 * 2^{(n-1)} + 1$.

$$\begin{cases} T(n) = 2T(n-1) + 2 \\ T(1) = 2 \end{cases} \quad (1)$$

Figura 1. Equação de recorrência do tempo de processamento do Força Bruta

$$\begin{cases} T(n) = 2T(n-1) + 1 \\ T(1) = 2 \end{cases} \quad (2)$$

Figura 2. Equação de recorrência do tempo de processamento do Branch and Bound

3. Implementação

A implementação da solução de software para resolução de problemas de otimização foi feita na linguagem de programação Java. Para isso, foram criados três pacotes (*packages*): modelo, visão e controlador, seguindo o padrão *Model View Controller*.

No pacote modelo, estão as classes:

- *PontoCandidato*, que armazena os dados de um ponto que se pensa instalar uma loja;
- *ListaPontosCandidatos* que armazena em um dicionário (*Dictionary*) com todos os pontos candidatos;
- *Algoritmo* que define os atributos e métodos que uma classe que executa um algoritmo de otimização deve implementar;
- *BranchAndBound* que implementa o algoritmo de otimização Branch-and-Bound;
- *ForcaBruta* que implementa o algoritmo de otimização Força-Bruta;
- *Solucao* que implementa atributos e métodos utilizados na verificação da qualidade de uma solução.

No pacote visão, estão as classes:

- *FuncoesGraficas* que contém métodos estáticos para obtenção da resolução da tela;
- *GerarCor* que contém método estático para gerar cor com base em um índice;
- *IncreaseDecreaseJTextField*, que implementa um *JTextField* com botões de incrementar e decrementar o valor numérico;
- *JanelaArquivo*, utilizado na abertura e salvamento de arquivos;
- *JanelaDistanciaMinima*, que implementa uma janela para obter do usuário a distância mínima permitida entre dois pontos (lojas) escolhidos;
- *JanelaGerarDados*, que implementa uma janela para obter do usuário a quantidade de franquias e a quantidade de lojas por franquias que ele deseja gerar;
- *JanelaPrincipal*, que implementa a janela principal do programa;
- *JanelaResultados*, que mostra os resultados da execução dos algoritmos.

E no pacote controlador, estão as classes:

- *ControladorJanela*, responsável por controlar o funcionamento do programa quando estiver no modo com interface gráfica;
- *ControladorLinhaComando*, responsável por controlar o funcionamento do programa no modo linha de comando.

O desenvolvimento de interfaces gráficas foi feito por meio do uso das bibliotecas *Java Swing* e *Java Awt*, nativas da linguagem Java. Para este programa foram desenvolvidas seis janelas:

- a janela principal, que é a primeira janela a ser exibida para o usuário, e quando gerado a solução nela é desenhado o mapa;
- janela para geração de dados aleatórios, que mostra a opção para o usuário selecionar o número de franquias e o número de lojas por franquia;
- janela de resultados, que mostra uma tabela com os pontos (lojas) selecionados (número de franquia, coordenadas, custo e cor do ícone no mapa);
- janela para abertura de arquivos, que permite o usuário selecionar o arquivo que ele deseja abrir;
- janela para salvamento de arquivos, que permite o usuário selecionar a pasta e o nome que deseja utilizar para salvar um arquivo;
- janela para configuração da mínima distância permitida, que permite o usuário definir a mínima distância permitida entre os pontos escolhidos.

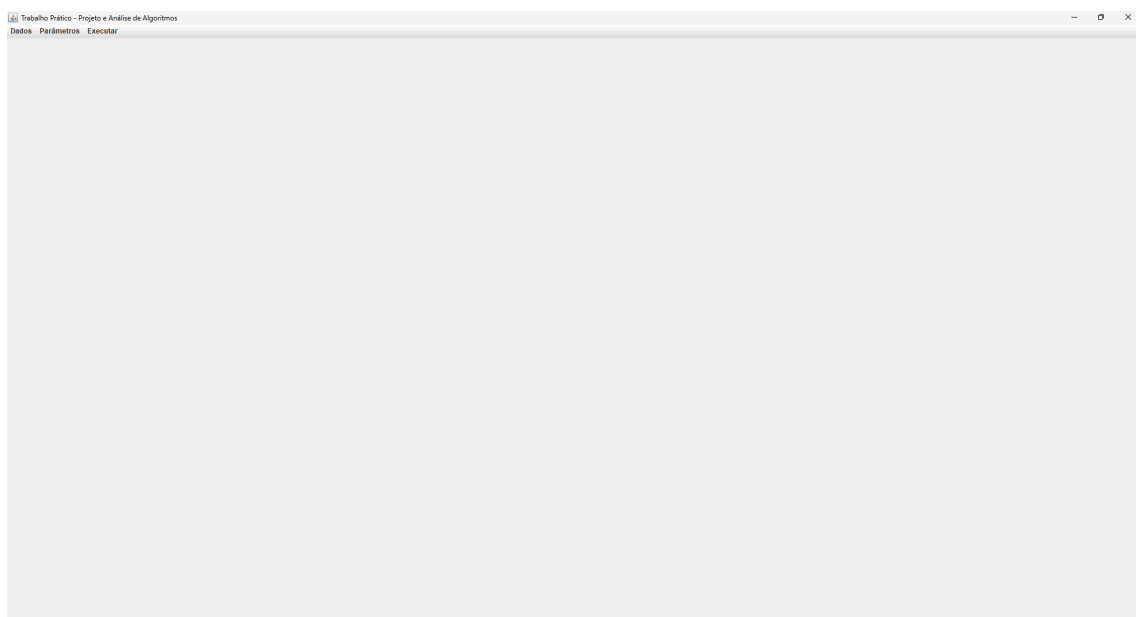


Figura 3. Janela principal, quando o programa é iniciado

The image shows a software window with a standard Windows-style title bar containing a small icon on the left and three control buttons (minimize, maximize, close) on the right. The window is divided into two main sections, each with a label and a control area. The first section is labeled 'Quantidade Franquias' and contains a text input field with the number '1', followed by a '+' button and a '-' button. The second section is labeled 'Quantidade de Lojas por Franquia' and also contains a text input field with the number '1', followed by a '+' button and a '-' button. At the bottom of the window, there are two large, light blue buttons: 'OK' and 'Cancelar'.

Quantidade Franquias

1 + -

Quantidade de Lojas por Franquia

1 + -

OK

Cancelar

Figura 4. Janela para a geração de dados aleatórios



Figura 5. Janela principal, mostrando o mapa de pontos escolhidos

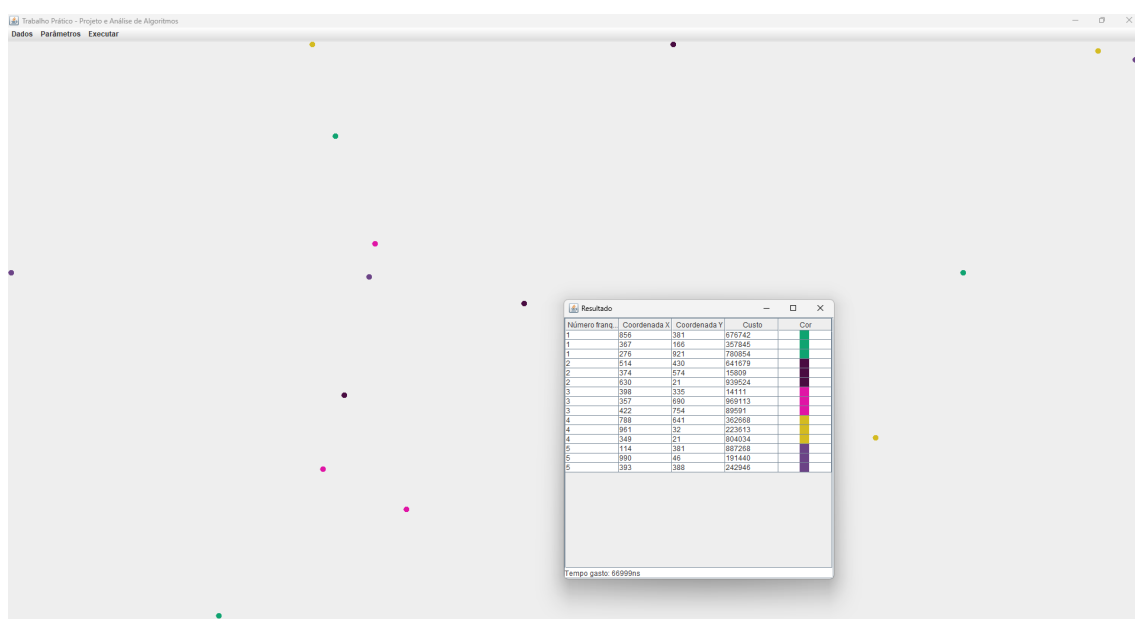


Figura 7. Janela principal atrás da janela de resultados, mostrando o mapa, a solução encontrada e o tempo gasto

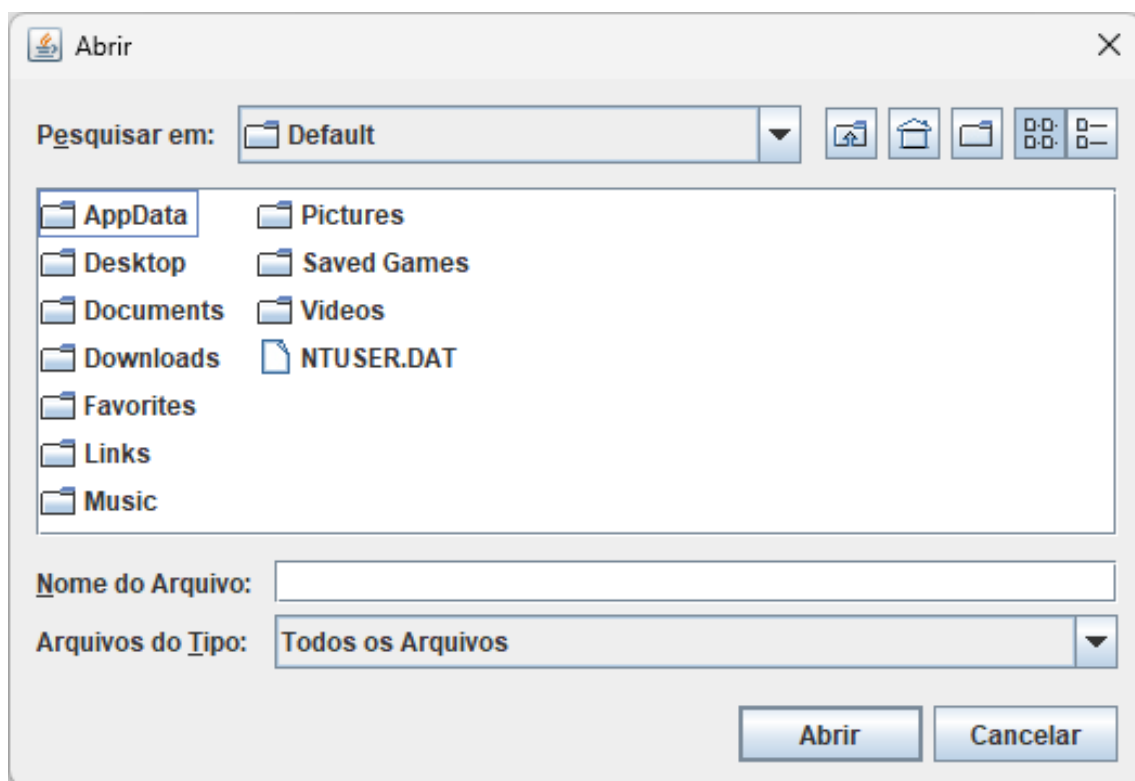


Figura 8. Janela de abertura de arquivos

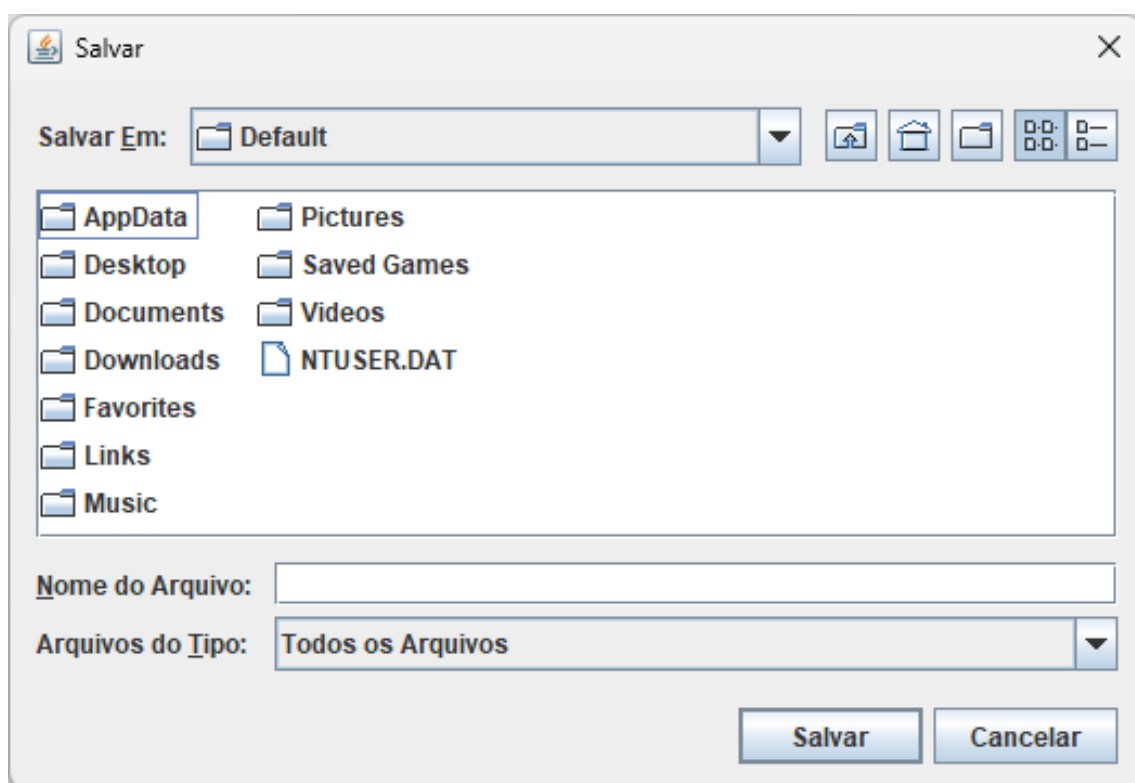


Figura 9. Janela de salvamento de arquivos

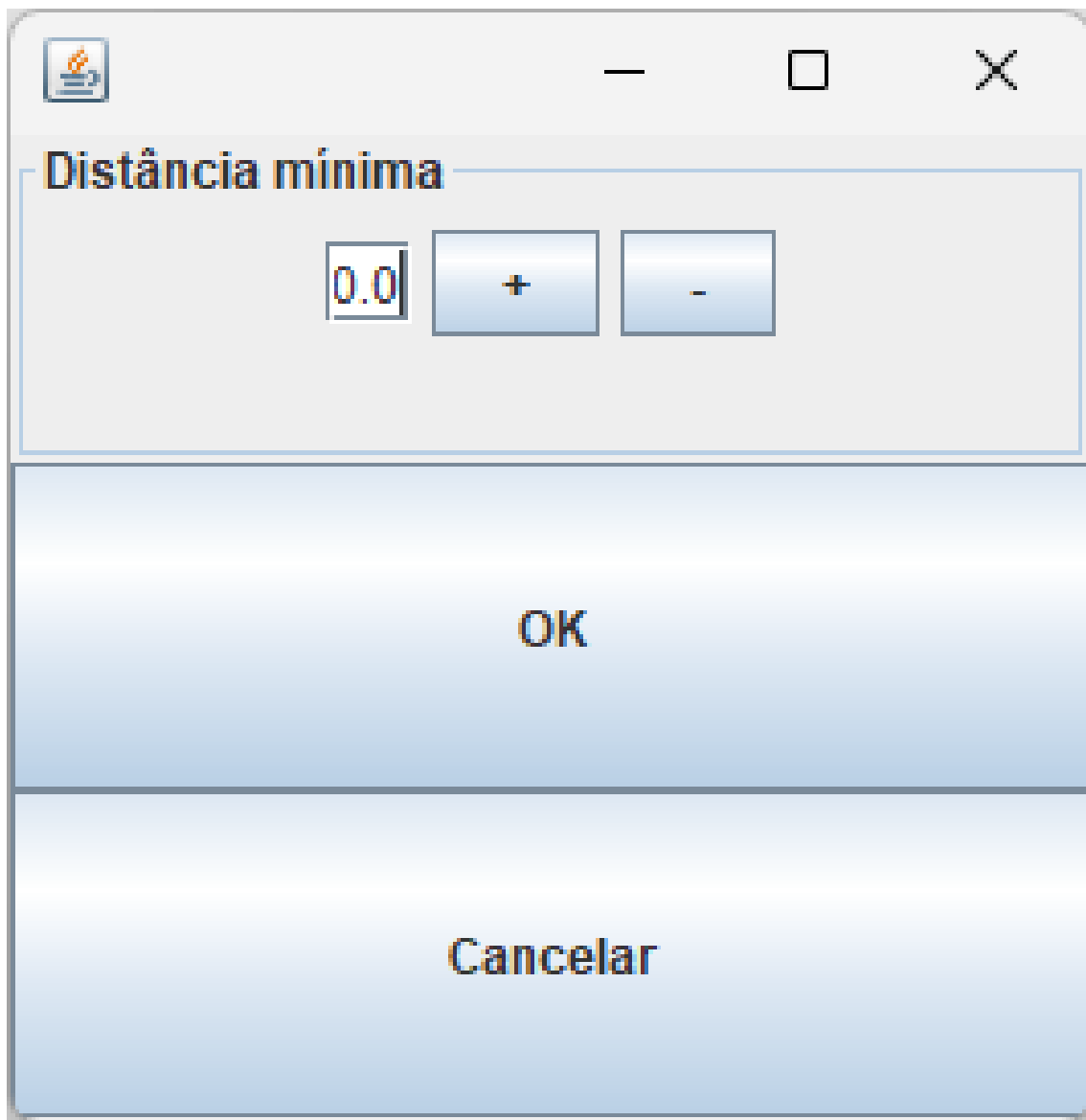


Figura 10. Janela para a configuração da distância mínima permitida entre os pontos escolhidos

Além das janelas, também foi desenvolvida a opção de executar o programa por meio de argumentos de linha de comando, permitindo a realização de testes automatizados de desempenho e a coleta dessas métricas para a produção de gráficos. Para isso foi desenvolvido comandos e opções que devem ser passados por argumentos na execução do programa.

Os comandos são:

- `?`, `-h`, ou `--help`, que exibe o menu de ajuda, permitindo o usuário entender o funcionamento o programa por linha de comando.
- `--calcular-tempo`, que executa a função de cálculo de tempo de execução.

As opções são:

- `--arquivo-dados <nome-arquivo-dados>`, que especifica qual arquivo de dados deve ser aberto pelo programa.
- `--distancia-minima <distancia-minima>`, que especifica a distância mínima permitida entre os pontos escolhidos.
- `--algoritmo <nome-algoritmo>`, que define qual algoritmo de otimização deve ser utilizado: *branch-and-bound* ou *forca-bruta*.

Para a validação do funcionamento dos algoritmos de otimização e os seus tempos de execução, foram desenvolvidos testes de unidades por meio do JUnit. Dentre os testes desenvolvidos estão:

- `testExemploProfessorRestricaoMaxima`, que executa o teste com os dados de exemplo do enunciado do trabalho, com a restrição (distância mínima permitida) máxima (300).
- `testExemploProfessorMeiaRestricao`, que executa o teste com os dados de exemplo passados no enunciado do trabalho, com metade da restrição (150).
- `testExemploProfessorNenhumaRestricao`, que executa o teste com os dados de exemplo passados no enunciado, com nenhuma restrição (0).
- `testAlgoritmosAleatoriamente`, que utiliza o *Random* (com seed predefinida), para gerar os pontos candidatos.
- `testAlgoritmosAleatoriamenteSeguro`, que utiliza o *SecureRandom* (completamente aleatório), para gerar os dados dos pontos candidatos.

4. Relatório de testes

Para a realização de testes de desempenho foi utilizado uma planilha no Jupyter, no qual era feita a execução do programa no modo linha de comando, passando o algoritmo de otimização, o arquivo de dados e a distância mínima permitida entre os pontos escolhidos, e era coletado à saída do programa com o tempo de execução gasto em nanossegundos pelo algoritmo. No final esses dados eram exportados em um arquivo Comma Separated Values (CSV). Em outra planilha, o arquivo CSV era importado, e seus dados eram processados para a geração de gráficos.

Esse gráfico de barras comparanda a média dos tempos de execução dos algoritmos da Força Bruta e Branch and Bound. Nele é possível ver que o algoritmo Branch and Bound tem um desempenho médio um pouco melhor que o algoritmo da Força Bruta.

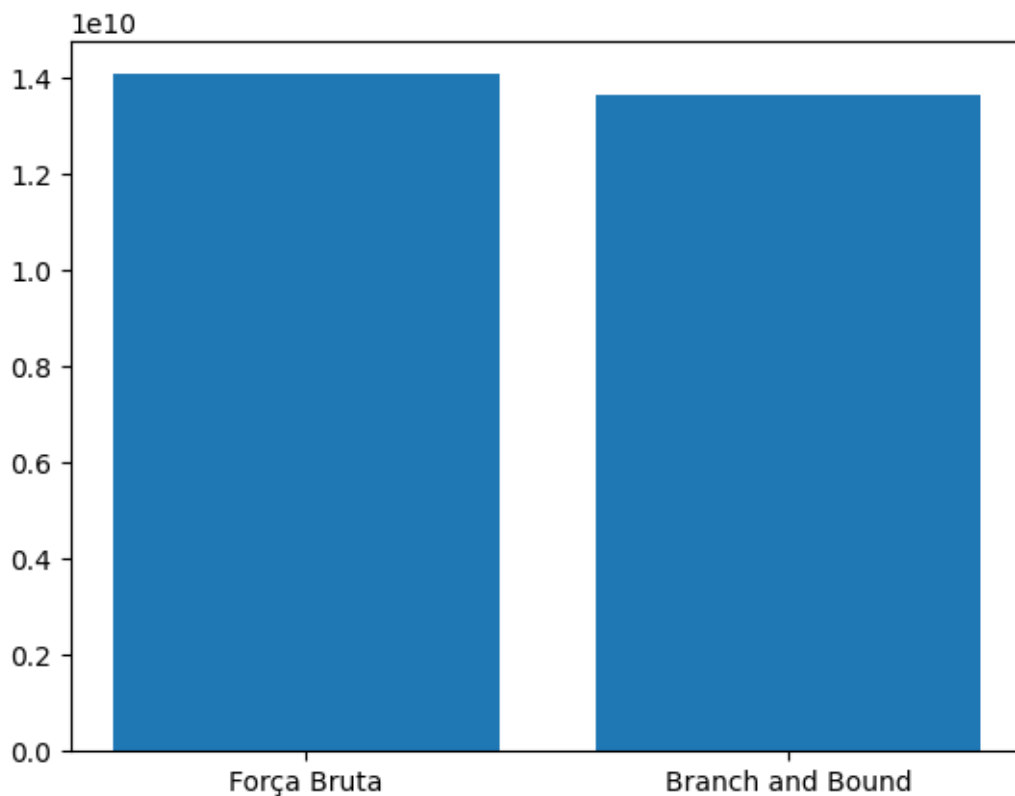


Figura 11. Gráfico de barras comparando a média do tempo de execução do algoritmo da Força Bruta e do Branch and Bound

5. Conclusão

Neste estudo foi colocado em prática o desenvolvimento e a análise de algoritmos de otimização em um problema da vida cotidiana, demonstrando a importância do estudo, pesquisa e desenvolvimento de algoritmos eficientes para a resolução de problemas do dia a dia.

Referências

- Machado, A. M. C. (2024a). Projeto e análise de algoritmos: Parte ii: Algoritmos iterativos. Documento PDF distribuído em sala de aula.
- Machado, A. M. C. (2024b). Projeto e análise de algoritmos: Parte iii: Algoritmos recursivos. Documento PDF distribuído em sala de aula.
- Machado, A. M. C. (2024c). Projeto e análise de algoritmos: Parte iv: Técnicas para problemas de otimização. Documento PDF distribuído em sala de aula.