

Fatec – Faculdade de Tecnologia de Ribeirão Preto

Análise e Desenvolvimento de Sistemas

Programação Linear

Prof. Me. Júnior César Bonafim

### **Trabalho Final**

**Problema de localidade de centros de distribuição de produtos para atender  $n$  cidades.**

**Guilherme Francisco Alves  
Rodrigues**

**Ronald Viana da Silva**

**Leonardo Testa**

**Luis Felipe Novaes Barcheschi**

**Gabriel Lourenço Figueiredo**

**Gabriel Diogo Pereira**

Ribeirão Preto

2024

## **Problema de localidade de centros de distribuição de produtos.**

A questão da localização estratégica dos centros de distribuição em áreas urbanas é um desafio clássico na pesquisa operacional. Há décadas, especialistas nesse campo têm explorado formas de otimizar a distribuição de mercadorias. Com o progresso tecnológico, especialmente no campo da computação, tornou-se crucial aprofundar esses estudos. Isso inclui o desenvolvimento de modelos matemáticos avançados para gerenciar e planejar operações de produção. Diversos setores industriais são impulsionados a aprimorar suas operações, como logística, manufatura e distribuição. O objetivo é aumentar a eficiência, enfrentar a concorrência acirrada do mercado, minimizar o desperdício e os custos, e melhorar a pontualidade das entregas.

Uma empresa deseja instalar  $m$  centros de distribuição de produtos para atender a  $n$  localidades representadas por  $L_1, L_2, \dots, L_n$ . Inicialmente, a empresa determinou, dentre as  $n$  localidades a serem atendidas, um conjunto  $C$  contendo aquelas que estariam aptas a receber os centros de distribuição, levando em conta fatores econômicos e estruturais das cidades envolvidas. A empresa estima o número de viagens que serão feitas para cada uma das  $n$  localidades a cada semana.

## **Modelos**

- a) Minimização da Distância Total Percorrida: Determine quais localidades devem ser escolhidas para abrigar os centros de distribuição, associando a cada uma delas os clientes que devem ser atendidos pelas mesmas, de modo que se minimize a distância total percorrida para as entregas semanais.

### **# Dados**

$m$ : cidades

$n$ : centros de Distribuição

## # Variáveis de decisão

- $x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se } i \text{ atende } j \\ 0, & \text{se não} \end{cases}, i \in C, j = 1, \dots, m$
- $y_i = \begin{cases} 1, & \text{se } i \text{ é um CD} \\ 0, & \text{se não} \end{cases}, i \in C, j = 1, \dots, m$

## # Parâmetros

$C_i$  → Cidade  $i$  que pode ser centro de distribuição

$E_j$  → Número de entregas da cidade  $j$ ,  $j = 1, \dots, m$

$P_i$  → Coordenada da cidade  $i$ ,  $i = 1, \dots, n$

$D_{ij}$  → Distância da cidade  $i$  para o centro  $j$ ,  $i = 1, \dots, n$ ,  $j = 1, \dots, m$

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

## # Função Objetivo

$$\text{MIN} \sum_{i \in C} \sum_{j=1}^m E_j * D_{ij} * x_{ij}$$

## # Restrições

$$\sum_{i \in C} x_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, m$$

$$\sum_{i \in C} y_i = n$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq (m - n + 1) * y_i, \quad i \in C$$

- b) Equilíbrio das Distâncias Percorridas: Determine as localidades para os centros de distribuição supondo agora que a empresa deseja escolher tais localidades de maneira que as distâncias semanais percorridas pelos veículos de cada centro sejam as mais próximas possíveis, ou seja, de modo que haja equilíbrio entre as distâncias percorridas pelas frotas de cada centro de distribuição. Utilize distância euclidiana (em linha reta) entre as localidades.

### # Variáveis de decisão

- $x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se } i \text{ atende } j \\ 0, & \text{se não} \end{cases}, i \in C, j = 1, \dots, m$
- $y_i = \begin{cases} 1, & \text{se } i \text{ é um CD} \\ 0, & \text{se não} \end{cases}, i \in C, j = 1, \dots, m$
- $z \rightarrow$  Variável utilizada como limitador de  $\sum_{j=1}^m E_j * D_{ij} * x_{ij}, i \in C$

### # Parâmetros

$C_i \rightarrow$  Cidade  $i$  que pode ser centro de distribuição

$E_j \rightarrow$  Número de entregas da cidade  $j, j = 1, \dots, m$

$P_i \rightarrow$  Coordenada da cidade  $i, i = 1, \dots, n$

$D_{ij} \rightarrow$  Distância da cidade  $i$  para o centro  $j, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

### # Função Objetivo

$MIN z$

## # Restrições

$$\sum_{i \in C} x_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, m$$

$$\sum_{i \in C} y_i = n$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq (m - n + 1) * y_i, i \in C$$

$$\sum_{j=1}^m E_j * D_{ij} * x_i \leq z, i \in C$$

## Experimentos Computacionais:

O experimento computacional apresentado na imagem envolve a utilização do **Gurobi Optimizer** para resolver um problema de localização de Centros de Distribuição (CDs). O código desenvolvido importa as bibliotecas necessárias, como ``gurobipy`` e ``math``, e define uma série de instâncias de teste representando diferentes cenários logísticos.

Utilizando um loop iterativo, o usuário pode escolher qual conjunto de dados deseja analisar. O programa então processa o arquivo selecionado, extrai dados críticos como o número de CDs a serem criados, coordenadas das cidades candidatas, número de entregas por cidade e a possibilidade de cada cidade se tornar um CD.

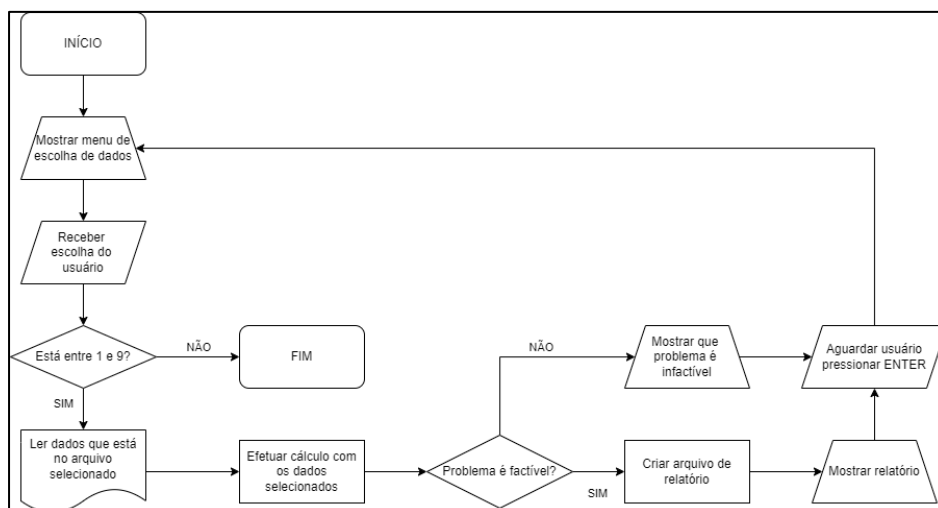
Com base nesses dados, o *modelo de otimização* é construído no Gurobi, buscando minimizar a *distância total percorrida* pelos CDs, enquanto atende a *restrições específicas*. Essas restrições incluem a alocação adequada de CDs às cidades e a capacidade de entrega de cada CD.

Após a execução do modelo, os resultados são avaliados quanto à *viabilidade*. Se a solução for viável, ela é apresentada em *detalhes*, mostrando a **distância percorrida individualmente por cada CD e a distância total combinada de todos os CDs**, fornecendo insights valiosos para a tomada de decisão em logística.

## Pseudo - Fluxograma:

- **Começamos** o processo.
- **Preparamos** os dados para uso.
- **Verificamos** se o número de controle está entre 0 e 10.
  - Se **sim**, mostramos um menu para selecionar qual dado será lido.
    - **O usuário escolhe uma opção.**
      - Se a escolha for **0**, o processo termina.
      - **Se não for 0, continuamos.**
        - **Lemos** um arquivo txt.
        - **Processamos** esses dados.
        - **Calculamos** uma matriz de distâncias.
        - **Criamos** um modelo no programa Gurobi.
        - **Definimos** as variáveis que o modelo vai usar.
        - **Estabelecemos** o objetivo do modelo.
        - **Adicionamos** regras ao modelo para ele seguir (restrições).
        - **Executamos** o modelo para ver se funciona.
          - Se o modelo **não funcionar**, dizemos que ele é “infactível” e o processo **termina**.
          - Se funcionar, salvamos e mostramos os resultados e depois o processo **termina**.
  - Se **não**, ou seja, se o número de controle não estiver entre 0 e 10, o processo também **termina**.

## Fluxograma:



**Resultados Obtidos:**

<b>DADOS</b>	<b><i>DISTÂNCIA TOTAL PERCORRIDA POR UM CD NO MODELO A</i></b>			<b><i>DISTÂNCIA TOTAL PERCORRIDA POR UM CD NO MODELO B</i></b>		
	<b>MÁXIMA</b>	<b>MÍNIMA</b>	<b>DIFERENÇA DO MIN P/ MAX</b>	<b>MÁXIMA</b>	<b>MÍNIMA</b>	<b>DIFERENÇA DO MIN P/ MAX</b>
<b>inst_20_3</b>	13916,77 km	1035,53 km	<b>1243,93%</b>	9313,06 km	8468,13 km	<b>9,98%</b>
<b>inst_20_4</b>	7823,86 km	1121,88 km	<b>597,39%</b>	5103,50 km	4859,46 km	<b>5,02%</b>
<b>inst_30_4</b>	14241,07 km	2064,29 km	<b>589,88%</b>	7594,74 km	7361,11 km	<b>3,17%</b>
<b>inst_40_8</b>	4970,23 km	1805,50 km	<b>175,28%</b>	3842.00 km	3480.59 km	<b>10,38%</b>
<b>inst_40_9</b>	8551,21 km	0,00 km	<i>N/A</i>	3679.76 km	2960.09 km	<b>24,31%</b>
<b>inst_50_7</b>	9274,68 km	204,43 km	<b>4436,85%</b>	5649.70 km	5189.31 km	<b>8,87%</b>
<b>inst_50_10</b>	4557,10 km	1010,71 km	<b>350,88%</b>	3036.68 km	2145.95 km	<b>41,51%</b>
<b>inst_60_11</b>	6977,11 km	1075,12 km	<b>548,96%</b>	3627.77 km	3130.08 km	<b>15,90%</b>
<b>inst_60_12</b>	6220,56 km	0,00 km	<i>N/A</i>	2854.74 km	2400.57 km	<b>18,92%</b>

<b>DADOS</b>	<b>VALOR ÓTIMO</b>		
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>DIFERENÇA DO 'A' PARA O 'B'</b>
<b>inst_20_3</b>	<i>22940,30 km</i>	<i>26464,95 km</i>	<b>+ 15,36%</b>
<b>inst_20_4</b>	<i>17831,96 km</i>	<i>20690,78 km</i>	<b>+ 16,03%</b>
<b>inst_30_4</b>	<i>26897,33 km</i>	<i>30101,53 km</i>	<b>+ 11,91%</b>
<b>inst_40_8</b>	<i>27043,49 km</i>	<i>29064,79 km</i>	<b>+ 7,47%</b>
<b>inst_40_9</b>	<i>26369,69 km</i>	<i>30652,63 km</i>	<b>+ 16,24%</b>
<b>inst_50_7</b>	<i>35203,65 km</i>	<i>38362,70 km</i>	<b>+ 8,97%</b>
<b>inst_50_10</b>	<i>24248,90 km</i>	<i>28345,25 km</i>	<b>+ 16,89%</b>
<b>inst_60_11</b>	<i>34197,33 km</i>	<i>37932,20 km</i>	<b>+ 10,92%</b>
<b>inst_60_12</b>	<i>28556,53 km</i>	<i>32046,64 km</i>	<b>+ 12,22%</b>

## **Conclusão:**

Este estudo aborda a otimização da localização de centros de distribuição para atendimento a diversas cidades, um tema crítico na logística moderna. Utilizando o software Gurobi Optimizer, foram conduzidos experimentos computacionais para avaliar dois modelos principais: um focado na minimização da distância total percorrida nas entregas semanais e outro visando equilibrar as distâncias percorridas pelos veículos de cada centro de distribuição.

Os resultados dos experimentos revelam a eficácia dos modelos propostos. Ao comparar os valores ótimos encontrados em diferentes cenários, observou-se uma variação significativa na distância total percorrida. Por exemplo, na instância "inst\_20\_3", a diferença entre a distância mínima obtida e a distância resultante do equilíbrio das distâncias percorridas foi de 15,36%. Essas diferenças sublinham a influência da localização estratégica dos centros de distribuição na eficiência operacional e nos custos logísticos.

Adicionalmente, os experimentos destacam a importância de considerar múltiplos aspectos na tomada de decisão, incluindo a capacidade de entrega de cada centro e a correta atribuição desses centros às cidades. A análise aprofundada dos resultados oferece informações preciosas para a gestão logística, possibilitando a identificação de oportunidades de aprimoramento na distribuição de mercadorias e na configuração da rede de centros de distribuição.

Portanto, este trabalho representa uma contribuição valiosa para a pesquisa operacional e logística, propondo ferramentas práticas e eficazes para a decisão estratégica na localização de centros de distribuição. Os modelos sugeridos e os resultados alcançados enfatizam o papel crucial da otimização na busca por eficiência operacional e redução de custos, demonstrando seu potencial de aplicação em diversos segmentos industriais.



## **Refêrencias:**

SILVA, A. R. et al. Otimização multicritério para o problema de localização de centros de distribuição de uma empresa com unidade produtiva no Polo Industrial de Manaus. In: Revista Produção Online, Florianópolis, SC, 2012.

FERNANDES, D. R. M. Algoritmos de otimização para decisões de localização de facilidades e distribuição em sistemas multiníveis de transporte rodoviário de carga. Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Brasil, 2016.

SOUZA, G. S. et al. Fatores que auxiliam na localização de Centro de Distribuição: Uma Análise Bibliométrica. In: Revista Gestão & Tecnologia, Pedro Leopoldo, MG, 2018.