



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas - ICEA
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção - COEP
Campus João Monlevade



MATHEUS GRANATO DE ARAUJO

**LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES PARA UMA INDÚSTRIA
METALÚRGICA**

JOÃO MONLEVADE – MG
2023

MATHEUSGRANATO DE ARAUJO

**LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES PARA UMA INDÚSTRIA
METALÚRGICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção de título de bacharel em Engenharia de Produção pelo Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientadora: Profa. Dra. Mônica do Amaral

JOÃO MONLEVADE – MG
2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A663l Araujo, Matheus Granato de.
Localização de facilidades para uma indústria metalúrgica.
[manuscrito] / Matheus Granato de Araujo. - 2023.
26 f.: il.: color., gráf., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Mônica do Amaral.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia de
Produção .

1. Aço - Metalurgia. 2. Controle de custo. 3. Ferro - Metalurgia. 4.
Indústrias - Localização. 5. Logística empresarial. 6. Modelos
matemáticos. 7. Otimização combinatória. I. Amaral, Mônica do. II.
Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



FOLHA DE APROVAÇÃO

Matheus Granato de Araújo

Localização de facilidades para uma indústria metalúrgica

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção

Aprovada em 23 de março de 2023

Membros da banca

Dra. Mônica do Amaral - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)

Dr. Alexandre Xavier Martins - Universidade Federal de Ouro Preto

Dr. Thiago Augusto de Oliveira Silva - Universidade Federal de Ouro Preto

Mônica do Amaral, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 22/05/2023



Documento assinado eletronicamente por **Monica do Amaral, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/05/2023, às 16:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0529915** e o código CRC **24B9D881**.

Agradecimentos

Assim como muitas outras vitórias que tive a felicidade de conquistar, concluir esta mais essa etapa não foi fácil, e a contribuição de algumas pessoas foi fundamental para que eu conseguisse chegar até aqui.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que de alguma forma me manteve de pé, me dando forças para caminhar e concluir os meus objetivos.

Agradeço a minha professora e orientadora Mônica do Amaral, que não só compartilhou comigo os seus conhecimentos, mas contribuiu com o meu desenvolvimento pessoal e profissional, esteve comigo até o último momento acreditando em mim quando tudo parecia estar perdido. Muito obrigado, seus puxões de orelha que, desde a turma de logística, foram muito mais importantes para mim que você imagina. Muito obrigado.

Agradeço a minha namorada Rafaella, que está sempre caminhando ao meu lado, dividindo sonhos e construindo um futuro.

À minha família, devo tudo o que sou. Obrigado por serem a base para a formação do meu caráter.

Agradeço também a minha segunda família, a República Tokaia (quem conhece, sabe que não “faia”!!) que, além de garantir bons anos de vida universitária, me deu a oportunidade de conhecer pessoas maravilhosas que hoje chamo de amigos e levarei para o resto da vida!

Por fim, agradeço a todos os amigos que estiveram comigo nessa jornada longa, mas muito proveitosa e divertida!

RESUMO

O problema clássico de otimização combinatória, denominado p -medianas, consiste em encontrar as p melhores localizações, chamadas de medianas, em uma rede, de forma a minimizar a soma das distâncias de cada nó de demanda até sua mediana mais próxima. Esse modelo matemático é bastante aplicado para reduzir os custos de transporte e pode ser utilizado para escolher as melhores localizações para a abertura de facilidades industriais. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é implementar um modelo matemático de p -medianas e testar diferentes cenários para apoiar a alta direção de uma indústria de ferro e aço na tomada de decisões relacionadas à abertura de um centro de distribuição para atender aos principais clientes e de lojas de varejo para atender clientes menores em uma área de cobertura menor. O estudo tem como finalidade reduzir custos logísticos por meio de uma escolha estratégica de localização das instalações.

Palavras-chaves: Localização de facilidades, rede logística, otimização, ferro e aço.

ABSTRACT

The classic combinatorial optimization problem known as p -median aims to find the location of p nodes, called medians, in a network to minimize the sum of the distances from each demand node to its nearest median. Therefore, applying a mathematical model such as p -median to choose the best locations for opening facilities in an industry is a good option to reduce transportation costs. In this context, this study aims to implement a mathematical model and test different scenarios to support the top management of an iron and steel industry in making decisions regarding the location for opening a distribution center to serve major customers and opening retail stores to serve smaller customers in a smaller coverage area. The objective of the study is to reduce logistics costs and improve customer service through a strategic choice of facility location.

Key-words: *Location of facilities, logistics network, optimization, iron and steel.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico de produção mundial de aço bruto.....	09
Figura 2: Localização das unidades de varejo em operação	10
Figura 3: Processo de modelagem	14
Figura 4: Gráfico de representatividade do faturamento por classe de produto.....	16
Figura 5: Mapa de atendimento $p=2$	20
Figura 6: Clusters de atendimento $p=3$	21
Figura 7: Gráfico de custo de atendimento por facilidade aberta – Cenário 1.....	21
Figura 8 - Mapa com os clusters de atendimento $p=2$ – Cenário 2	22
Figura 9: Gráfico de custo de atendimento por facilidade aberta – Cenário 2.....	23
Figura 10: Mapa de atendimento com demandas - Cenário 3.....	23
Figura 11: Gráfico de custo de atendimento por facilidade aberta – Cenário 3.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Faturamento por estado.....	16
Tabela 2: Faturamento de chapas da indústria por cidade.....	16
Tabela 3: Faturamento de tubos da indústria por cidade.....	17
Tabela 4: Faturamento de perfis da indústria por cidade.....	17
Tabela 5: Custo de frete para cidades candidatas	17
Tabela 6: Cidades candidatas a abertura de CD	18
Tabela 7: Matriz de distâncias Cidades candidatas X Cidades atendidas.....	18
Tabela 8: Tabela de frete Indústria x Cidades.....	18
Tabela 9: Matriz de atendimento das lojas.....	19
Tabela 10: Centros de distribuição abertos (cenário 1)	20
Tabela 11: Centros de distribuição abertos (cenário 2)	23
Tabela 12: Centros de distribuição abertos (cenário 3)	24

SUMÁRIO	
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos gerais da Pesquisa	11
1.1.1 Objetivos Específicos	11
1.2 Justificativa	11
1.3 Estrutura do Trabalho	11
3 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.3 Trabalhos relacionados	13
3 METODOLOGIA	14
4 COLETA E ANÁLISE DE DADOS	15
5 RESULTADOS COMPUTACIONAIS	19
5 CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

A indústria metalúrgica é base para diversos setores produtivos, como a construção civil, a indústria automotiva, a indústria naval, a indústria aeronáutica, entre outras, além disso, o segmento gera empregos e renda em todo o país, seja nas grandes empresas do setor ou nas pequenas e médias empresas, que atuam em áreas como a reciclagem de metais e a fabricação de produtos derivados.

No Brasil, a metalurgia tem uma longa tradição, que se iniciou no século XIX, com a produção de ferro em Minas Gerais. Ao longo do tempo, a indústria se modernizou e se expandiu, tornando-se uma das mais importantes do país. Segundo o anuário estatístico metalúrgico de 2021, com base nos dados do ano de 2020 o Brasil aparece em 9º lugar na produção de aço bruto, conforme mostrado na Figura 1.

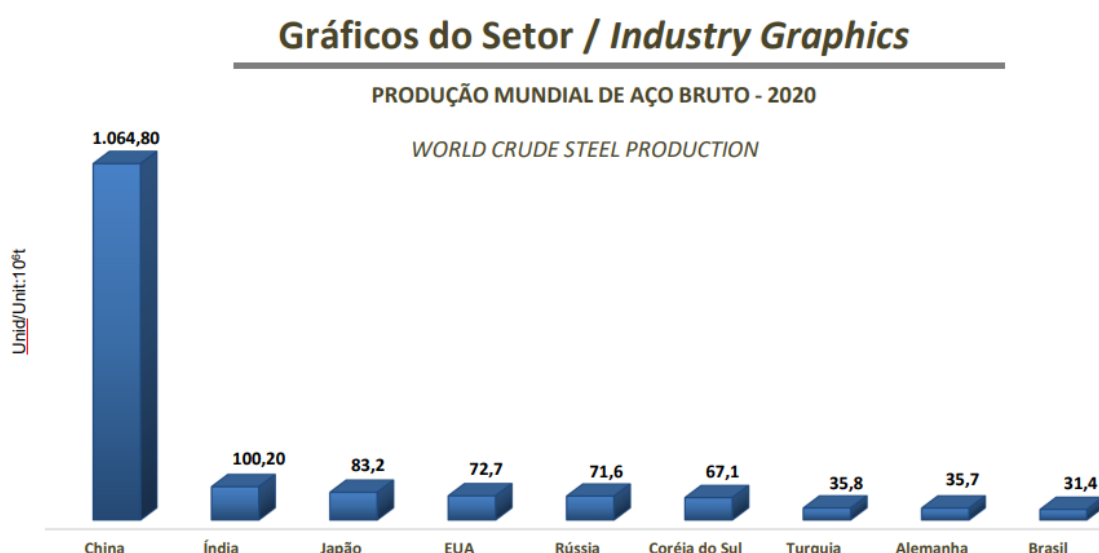


Figura 1 - Gráfico de produção mundial de aço bruto

Fonte: Anuário estatístico 2021 – Setor metalúrgico

Conforme a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), a seção C: Indústrias de transformação, divisão 24, Metalurgia:

“compreende a conversão de minérios ferrosos e não-ferrosos em produtos metalúrgicos por meios térmicos, eletro metalúrgicos ou não (fornos, convertedores, etc.), e outras técnicas metalúrgicas de processamento para obtenção de produtos intermediários do processamento de minérios metálicos, tais como gusa, aço líquido, alumina calcinada ou não, mates metalúrgicos de cobre e níquel, etc., a produção de metais em formas primárias ou semiacabados (lingotes, placas, tarugos, biletos, palanquilhas, etc.), a produção de laminados, relaminados, trefilados, retrefilados (chapas, bobinas, barras, perfis, trilhos, vergalhões, fio-máquina, etc.) e a produção de canos e tubos. (IBGE, 2023)”

O objeto de estudo deste trabalho é uma Indústria metalúrgica cujo parque industrial está localizado no eixo Rio-São Paulo, em proximidade geográfica de importantes polos consumidores. A organização foi fundada em 1975 como um ferro velho, inicialmente apenas como comércio, comprando e vendendo sucatas metálicas. Durante as duas primeiras décadas

de funcionamento, a empresa começou a se estruturar como beneficiadora de aço, instalando equipamentos produtivos e sendo reconhecida como uma das principais produtoras de telhas metálicas e perfis laminados do país na época.

Nos anos subsequentes, a organização continuou investindo em novos equipamentos e ampliando seu portfólio, consolidando-se no Brasil como referência na produção de tubos com costura, chapas, perfis laminados, *slitter* e telhas, oferecendo ao mercado um amplo *mix* de produtos de ferro e aço.

Com o objetivo de atender de maneira mais individualizada as necessidades de pequenas serralherias e clientes finais, a organização ampliou sua rede de atendimento por meio da abertura de sete facilidades que atualmente funcionam como lojas e pontos de apoio industrial. Além de possuírem armazéns próprios, essas facilidades contam com processos produtivos que permitem atender de forma personalizada clientes que têm necessidades mais específicas. Ademais, essas facilidades funcionam ainda como revendedoras de produtos complementares, como ferramentas, revestimentos, fixadores, entre outros. O foco destas facilidades é o atendimento dos clientes menores, do varejo, entretanto as lojas também atendem comercialmente grandes clientes, realizando vendas pelo canal de atacado, sendo neste caso o material expedido do parque industrial.

Conforme a Figura 2, as lojas estão localizadas nos estados de Minas Gerais, com duas lojas localizadas em Juiz de Fora, uma em Belo Horizonte e uma na região industrial de Contagem, e no Rio de Janeiro com uma loja em Três Rios e outra em Petrópolis e, mais recentemente, em São Paulo com uma loja operando em Taubaté.



Figura 2 - Localização das unidades de varejo em operação
Fonte: Dados internos da organização

Nos últimos anos, a organização implementou um plano de reestruturação na área de logística. Para isso, a empresa formou uma ampla frota própria destinada ao abastecimento de suas facilidades e à distribuição das rotas de varejo, que são atendidas por essas facilidades. Além disso, para atender clientes que estão em regiões mais distantes ou demandam um volume maior, a empresa conta com transportadoras parceiras especializadas, que são responsáveis pela distribuição.

Atualmente a organização pretende expandir sua rede de lojas e também abrir um centro de distribuição, a fim de reduzir os custos de atendimento associados ao transporte de material.

Para tanto, a escolha das localizações deve levar em consideração o posicionamento geográfico dos clientes atuais e os volumes de material demandados por eles.

1.1 Objetivos gerais da Pesquisa

Este trabalho tem como objetivo principal implementar um modelo matemático de p -medianas e testar diferentes cenários para apoiar a tomada de decisão quanto as localizações para a abertura de um centro de distribuição e para as lojas varejistas para produtos de ferro e aço produzidos na cidade de Três Rios – RJ.

1.1.1 Objetivos Específicos

Têm-se como objetivos específicos, realizar:

- Um estudo da geografia do problema de projeto de rede, definindo os principais fluxos e principais candidatos à abertura das facilidades pertinentes, sejam lojas ou centro de distribuição;
- Criar um conjunto de possíveis cenários para auxiliar as decisões.

1.2 Justificativa

A necessidade de ter as mercadorias entregues na hora, no lugar e na quantidade certa é contraposta pelos altos custos de distribuição. Esta foi a motivação central deste estudo: apoiar a organização para que ela possa encontrar as melhores estratégias quanto a localização das facilidades para atender os clientes e garantir uma redução nos custos de distribuição das suas mercadorias.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho, a partir da introdução, está estruturado da seguinte forma: o Capítulo 2 faz um pequeno referencial teórico a respeito de modelos de localização. O Capítulo 3 discute a metodologia utilizada, enquanto o Capítulo 4 mostra a discussão dos resultados computacionais. O trabalho é encerrado no Capítulo 5, em que são discutidas as conclusões e as recomendações de trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para Arenales et al. (2007), a localização das facilidades é um ponto importante do planejamento estratégico das organizações, sejam elas públicas ou privadas, como por exemplo, a localização de centros de saúde no caso do setor público ou localização de fábricas, armazéns e centros de distribuição no setor privado.

As decisões da localização de facilidades e a destinação de clientes às respectivas facilidades podem ser feitas simultaneamente.

Arenales et al. (2007) propõe os seguintes parâmetros para descrever os problemas de localização de facilidades:

J = conjunto de nós j que representam os clientes, $j = 1, \dots, n$

I = conjunto de locais i candidatos à localização de facilidades, $i = 1, \dots, m$

q_j = demanda do cliente j
 d_y = distância do cliente j à facilidade i
 c_{ij} = custo para atender a demanda q_j a partir de uma localização i
 f_i = custo fixo de uma abertura da facilidade no local i
 Q_i = capacidade da facilidade aberta em i
 $y_i = \{1, \text{ se a facilidade é aberta em } i \text{ e } 0, \text{ caso contrário}\}$

O problema de p -medianas é um problema clássico e, segundo Arenales et al. (2007), o problema envolve a localização de p facilidades e a destinação dos clientes a essas facilidades com o objetivo de minimizar o somatório das distâncias entre as facilidades abertas e os clientes destinados a elas. Para este problema, as localizações das facilidades estão contidas no conjunto de localizações de clientes, ou seja: $I \subset J$.

As restrições deste modelo garantem que cada cliente seja designado a somente uma facilidade e que sejam abertas exatamente o número de facilidades desejadas.

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} y_i = p \quad (4)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (6)$$

Arenales et al. (2007) explica que a função objetivo (1) minimiza o custo total da destinação de clientes a facilidades. A restrição (2) tem o objetivo de garantir que cada cliente j é atendido apenas por uma única facilidade. Já a restrição (3) garante que cada cliente j só pode ser designado a uma facilidade que foi aberta na localização i . A restrição (4) determina o número p de facilidades que serão abertas, enquanto as restrições (5) e (6) representam os domínios das variáveis, que são binárias.

O problema de localização de facilidades com custos fixos envolve a localização de facilidades e a designação de clientes a essas facilidades a fim de minimizar os custos fixos de abertura da facilidade e o custo de atendimento dos clientes.

$x_{i,j}$ = fração da demanda q_j atendida pela facilidade localizada em i , $\forall i \in I, \forall j \in J$

A função objetivo proposta por Arenales et al. (2007) para o problema de facilidades com capacidade limitada é a seguinte:

$$\min \sum_{i \in I} f_i y_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad (7)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in J \quad (8)$$

$$x_{ij} \leq y_i, \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (9)$$

Arenales et al. (2007) explica ainda que a função objetivo (7) busca a minimização da soma dos custos de abertura das facilidades com os custos variáveis de atendimento das demandas. A restrição (8) garante que as demandas são atendidas. A restrição (9) garante que uma fração de demanda só pode ser atendida por uma facilidade aberta em i .

2.3 Trabalhos relacionados

Pizzolato et al. (2012) realizaram um estudo com o objetivo de ressaltar a importância da temática de localização nas questões que impactam a sociedade moderna, bem como a sua relevância na comunidade acadêmica, que tem feito abundantes e altamente reconhecidas contribuições nesse sentido.

Considerando a complexidade dos desafios aplicados envolvidos na abordagem desse problema, Pizzolato et al. (2012) afirmam que é necessário buscar soluções práticas, começando pela sua formulação matemática e pela escolha adequada do método de resolução. Nesse sentido, sua pesquisa aborda diferentes metodologias para a resolução de problemas de localização, em particular aqueles relacionados ao modelo p -medianas e suas múltiplas extensões. Além disso, são apresentados na pesquisa métodos de solução heurísticos e exatos. O foco principal do artigo é o levantamento de aplicações práticas dessas metodologias, com ênfase em estudos realizados no contexto nacional, incluindo artigos, teses e dissertações.

Barreto (2004) realizou um estudo que se concentra na área de problemas de localização-distribuição, que é uma parte do sistema logístico. Na pesquisa ele aponta que esses problemas estão presentes na vida diária das pessoas, empresas e países, e são complexos o suficiente para exigir modelos confiáveis para apoiar as decisões.

Sua tese está dividida em duas partes. A primeira parte fornece uma abordagem geral sobre problemas de localização-distribuição, incluindo uma revisão bibliográfica. A partir dessa revisão, é proposta uma taxonomia de base posicional e um estudo da complexidade NP-completa desse tipo de problema.

A segunda parte da tese começa com a definição de um problema de localização-distribuição com capacidade, que integra as características teóricas mais básicas da localização e distribuição e representa muitas aplicações práticas desses problemas. O objetivo do trabalho é criar um modelo de referência na área de problemas de localização-distribuição que possa servir como base sólida para futuras pesquisas.

Em seguida, são construídos modelos matemáticos com dois e três índices para o caso orientado e não orientado. Apesar da complexidade desses problemas, é proposto um algoritmo de resolução exata que permite resolver problemas de pequena dimensão e obter limites

inferiores para problemas maiores. A integração de várias técnicas de agrupamento na construção de algoritmos heurísticos leva à avaliação das potencialidades dos métodos hierárquicos e não hierárquicos, assim como de várias medidas de proximidade.

Por fim, a pesquisa de algoritmos eficientes para a resolução do problema de localização-distribuição com capacidade mostra que a oportunidade de investigação está no cruzamento de duas áreas científicas aparentemente distintas: análise de grupos e pesquisa operacional.

Sato (2002) relata em seu trabalho que a atividade mais comum realizada pelas empresas é, sem dúvida, a tomada de decisões e que algumas dessas escolhas possuem um grande peso e importância, enquanto outras nem tanto. A escolha do local para instalação é um exemplo claro de decisão que pode impactar significativamente nos resultados, no entanto, muitos tomadores de decisão empresariais ainda não utilizam métodos científicos para selecionar a melhor localização para suas instalações. Neste sentido, seu artigo apresenta algumas das dificuldades enfrentadas nesse processo e os métodos disponíveis atualmente para auxiliar as empresas nessa importante decisão.

Em seu trabalho, Prado (2007) afirma que a localização de instalações é uma tarefa importante no campo da logística, que envolve a tomada de decisões sobre o número, tamanho e localização dessas instalações. Essas decisões estão relacionadas à variação da população em uma determinada região, investimentos de capital e estimativa de clientes que podem ser atendidos. Neste contexto, seu trabalho aborda o problema de localização de instalações com restrições de capacidade e com uma única fonte de atendimento para clientes. O objetivo é minimizar os custos de instalação e atendimento de clientes. Esse problema apresenta desafios complexos de otimização combinatória, para os quais os métodos exatos podem não ser viáveis em tempo hábil. Por essa razão, a utilização de métodos heurísticos é uma opção adequada. Este trabalho propõe o desenvolvimento e implementação de um algoritmo de busca tabu para resolver esse problema, e comparar seu desempenho com outros métodos já apresentados na literatura, especialmente em aplicações como a localização de concentradores em redes de telecomunicações.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada implica especificamente na tipologia denominada como quantitativa empírico normativa. De acordo com Morabito e Pureza (2018), esta metodologia busca desenvolver políticas, estratégias e ações para melhorar o contexto atual, baseando-se em modelos de otimização ou programação matemática.

O protocolo de pesquisa é mostrado na Figura 3.

Observando-se o problema real, a diretoria da organização deseja abrir um novo centro de distribuição, com o intuito de evitar que todos os clientes, em especial aqueles mais distantes da matriz, sejam atendidos diretamente pela fábrica. A expectativa da empresa é que o centro de distribuição ajude na gestão dos tempos de entrega para esses clientes mais distantes, além de dar suporte à instalação de novas lojas varejistas, que serão abertas ao longo dos próximos anos.

Em relação à solução do problema, são analisados alguns cenários, simulando possíveis alterações nos padrões de distribuição dos clientes, além de considerações em relação à demanda dos clientes.

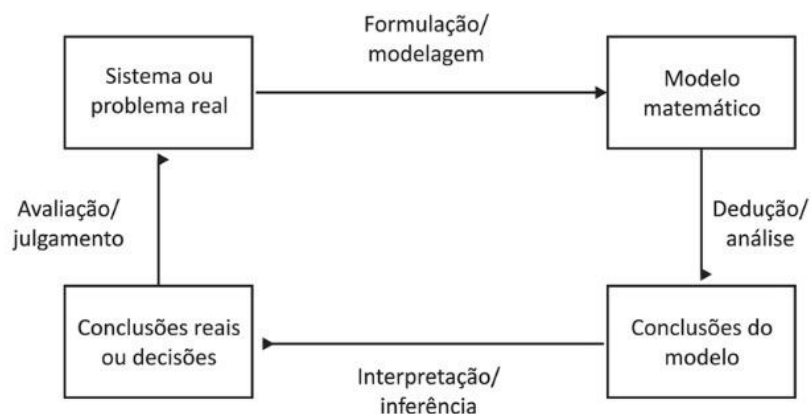


Figura 3 - Processo de modelagem
 Fonte: Morabito e Pureza (2018)

4 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

A Figura 4 mostra os faturamentos por classe de produto. A empresa organiza seu portfólio de produtos em 14 agrupamentos. Destes 14 agrupamentos, os quatro mais representativos somam 87,2% do faturamento realizado pela organização no período observado. Os outros 10 agrupamentos representam 12,8%.

Das quatro principais classes de produtos, os tubos, perfis e chapas são produzidos no polo industrial, enquanto as telhas são produzidas na própria loja, conforme demanda. Sendo assim, a Tabela 1 apresenta a distribuição da demanda das três principais classes de produtos faturados pelo polo industrial pelos estados atendidos.

Grande parte da demanda atendida pela organização se concentra na região Sudeste, com maior representatividade no estado de São Paulo, que representa 65,09% do volume faturado pela organização entre as três principais classes de produtos.

Apesar da forte demanda de consumo na região Sudeste, a região sul apresenta uma demanda considerável, sendo a segunda região mais atendida, com 4,7% do volume. A região Sul é vista pela organização como potencial para crescimento de mercado, com enfoque no setor de implementos agrícolas, seguimento que consome substancialmente as três classes de produtos observadas.

Para efeitos de testes de diferentes cenários, as demandas serão abordadas em toneladas e por cidades, de acordo com a localização dos clientes. Os dados das Tabelas 2, 3 e 4 representam o volume total faturado pela indústria de cada uma das três classes de produto mais relevantes no período analisado, as tabelas trazem as sete cidades mais relevantes para cada classe de produto.

As chapas são os produtos que mais cresceram e apresentam ainda grande potencial de crescimento no estado do Paraná. Um limitante de atendimento desta classe de produtos é a capacidade produtiva, pois as máquinas de produção de chapas são antigas e pouco produtivas, entretanto, nos próximos meses estes equipamentos serão substituídos por duas máquinas de corte transversal de última geração, com um aumento produtivo estimado de 60%. Naturalmente, as chapas serão mais representativas frente ao volume total faturado, o que pode implicar em uma demanda ainda maior para a região Sul.

Os tubos são os produtos com maior volume expedido. O parque industrial conta com 5 máquinas formadoras de tubos além de produzir em mais turnos que os demais. Os tubos são os materiais mais representativos, porém são os mais concentrados na região Sudeste e ainda

pouco explorados em outras regiões, como a região Sul que já figura com algumas cidades atendidas para os outros produtos.

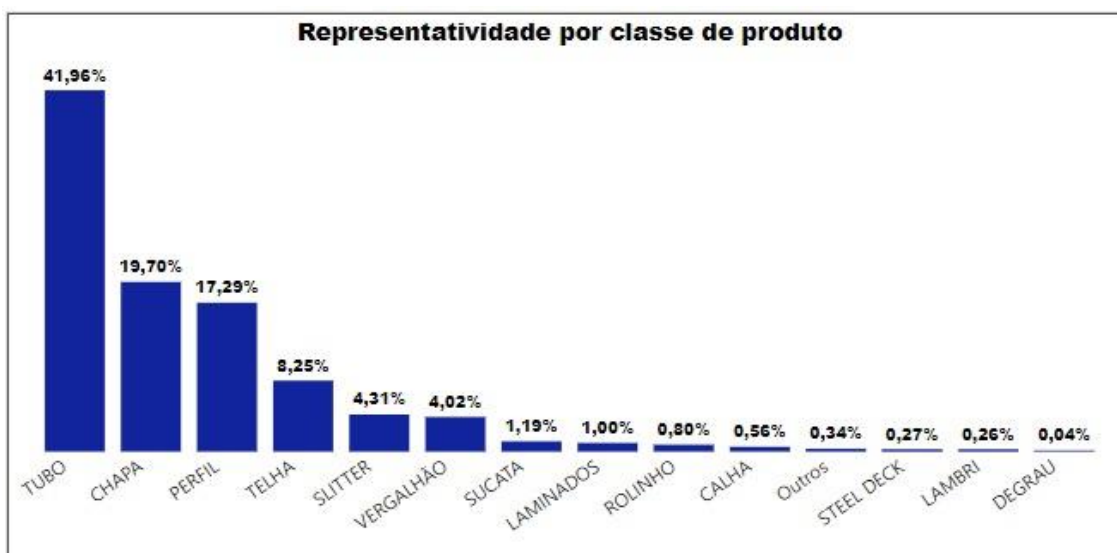


Figura 4 - Gráfico de representatividade do faturamento por classe de produto

Fonte: Dados internos da organização

Tabela 1 - Faturamento por estado

Estado	Região	Chapa		Tubo		Perfil		Total	
		Volume	Porcentagem	Volume	Porcentagem	Volume	Porcentagem	Volume	Porcentagem
SP	Sudeste	9487,47	68,46%	22577,10	72,13%	3860,39	38,45%	35924,96	65,09%
RJ	Sudeste	569,57	4,11%	4034,00	12,89%	932,81	9,29%	5536,38	10,03%
MG	Sudeste	1063,81	7,68%	1686,01	5,39%	2750,55	27,40%	5500,36	9,97%
PR	Sul	1916,89	13,83%	1297,67	4,15%	1655,52	16,49%	4870,08	8,82%
SC	Sul	694,50	5,01%	833,05	2,66%	500,61	4,99%	2028,17	3,67%
RS	Sul	0,00	0,00%	268,36	0,86%	0,87	0,01%	269,24	0,49%
GO	Centroeste	41,70	0,30%	113,86	0,36%	105,91	1,05%	261,46	0,47%
RO	Norte	8,91	0,06%	240,21	0,77%	7,24	0,07%	256,36	0,46%
PI	Nordeste	0,00	0,00%	176,50	0,56%	0,00	0,00%	176,50	0,32%
MT	Centroeste	69,76	0,50%	19,69	0,06%	60,77	0,61%	150,22	0,27%
DF	Centroeste	0,00	0,00%	0,00	0,00%	98,16	0,98%	98,16	0,18%
ES	Sudeste	0,00	0,00%	0,82	0,00%	42,15	0,42%	42,97	0,08%
MS	Sul	5,67	0,04%	26,92	0,09%	0,00	0,00%	32,58	0,06%
PE	Nordeste	0,00	0,00%	24,52	0,08%	0,00	0,00%	24,52	0,04%
MA	Nordeste	0,00	0,00%	0,00	0,00%	18,50	0,18%	18,50	0,03%
BA	Nordeste	0,00	0,00%	0,00	0,00%	6,28	0,06%	6,28	0,01%

Fonte: Dados internos da organização

Tabela 2 - Faturamento de chapas da indústria por cidade

CHAPA		2022								2021				Total
Cidade	UF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
São Paulo	SP	216,545	165,146	173,34	220,466	94,074	141,186	168,205	182,538	209,346	205,978	175,358	146,808	2098,99
Marialva	PR	0	365,139	522,689	13,008	0	0	0	0	0	0	0	0	900,836
Itatiba	SP	22,78	38,678	57,044	65,58	116,226	88,899	45,5	40,312	49,156	78,776	77,122	68,422	748,495
Mauá	SP	45,62	34,352	60,066	67,909	139,788	25,36	71,836	15,124	45,978	59,68	50,576	34,402	650,691
Jacareí	SP	10,716	0	25,117	63,768	64,936	18,395	131,214	0	100,016	177,764	0	4,096	596,022
Jundiá	SP	91,212	30,33	94,31	74,32	101,112	59,181	0	11,362	9,654	6,344	59,104	8,312	545,241
Vargem Grande Paulista	SP	30,174	56,696	123,522	55,732	41,9	50,772	46,732	20,33	30,351	19,99	20,302	10,142	506,643

Fonte: Dados internos da organização

Tabela 3 - Faturamento de tubos da indústria por cidade

TUBO		2022												2021				Total
Cidade	UF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
São Paulo	SP	436,767	314,1253	402,6635	242,881	328,503	301,133	257,978	327,191	358,996	412,1	489,52	312,445	4184,303				
Guarulhos	SP	320,6506	266,7072	347,832	282,719	348,286	321,901	285,436	343,533	361,852	197,317	263,772	136,174	3476,18				
Cotia	SP	733,408	282,029	8,966	0	16,177	3,989	1,123	30,548	456,402	152,465	456,806	223,112	2365,025				
Barra do Piraí	RJ	208,927	143,835	200,288	140,807	93,745	5,319	10,922	308,494	109,59	291,767	223,668	225,089	1962,451				
Itaquaquecetuba	SP	46,886	120,63	163,859	126,533	123,76	154,28	193,1	152,204	167,842	89,462	158,522	101,709	1598,787				
São Bernardo do Campo	SP	74,615	110,796	99,509	172,201	178,605	72,2	70,952	47,632	158,351	25,995	52,076	12,726	1075,658				
Saquarema	RJ	81,024	123,212	107,909	26,699	53,495	27,526	39,92	32,681	41,197	26,797	62,262	69,455	692,177				

Fonte: Dados internos da organização

Assim como as chapas, os perfis também têm forte representatividade na região Sul, principalmente no estado do Paraná. A organização conta com apenas duas máquinas perfiladeiras, e por isso, existe um limitante produtivo, não é percebido pela organização muito potencial de crescimento para esta classe.

Tabela 4 - Faturamento de perfis da indústria por cidade

PERFIL		2022												2021				Total
Cidade	UF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
Juiz de Fora	MG	18,2366	172,5886	92,86734	70,78135	225,3631	119,9082	85,65	1,907	40,93602	38,54125	51,95353	77,39251	996,1255				
São Paulo	SP	69,592	101,8535	84,489	132,791	39,719	19,562	40,729	124,656	60,839	57,612	61,256	55,955	849,0535				
Curitiba	PR	73,819	41,801	71,166	58,258	10,022	15,668	14,582	60,383	48,533	39,364	59,653	26,773	520,022				
Itapevi	SP	0	0	0	0	0	15,607	177,309	165,363	0	0	5,282	0	363,561				
Paranavaí	PR	22,941	52,23	51,018	0	13,399	0	0	56,323	39,705	35,105	13,379	54,983	339,083				
Rio de Janeiro	RJ	22,333	19,41605	54,945	37,396	25,323	32,235	38,496	16,834	20,98	13,1	21,737	11,299	314,0941				
Guarulhos	SP	9,506	27,487	11,008	36,758	5,879	26,648	22,826	26,573	23,843	14,366	35,135	20,059	260,088				

Fonte: Dados internos da organização

Os custos de frete para distribuição das mercadorias são dados fundamentais para a análise de localização. Devem ser identificados para os canais de distribuição já operantes e para aqueles que serão abertos. A Tabela 5, apresenta o custo de frete estimado entre a indústria e as cidades candidatas a abertura do primeiro CD, foi calculado com base em dados atuais da organização, utilizando frota própria, que é habitual para transferência de material entre as facilidades. A organização atualmente, utiliza caminhão *truck* ou carreta trucada para fazer as transferências, estes são os veículos com maior capacidade que a organização possui.

Tabela 5 - Custo de frete para cidades candidatas

Cidade Candidata	Distância da indústria KM	Custo do frete		Custo de transporte	
		Carreta	Truck	Carreta (R\$/Ton)	Truck (R\$/Ton)
Uberaba	880,00	R\$ 4.206,40	R\$ 3.520,00	R\$ 131,45	R\$ 251,43
Ribeirão Preto	713,00	R\$ 3.408,14	R\$ 2.852,00	R\$ 106,50	R\$ 203,71
São Paulo	432,00	R\$ 2.064,96	R\$ 1.728,00	R\$ 64,53	R\$ 123,43
Guarulhos	416,00	R\$ 1.988,48	R\$ 1.664,00	R\$ 62,14	R\$ 118,86
São José dos Campos	345,00	R\$ 1.649,10	R\$ 1.380,00	R\$ 51,53	R\$ 98,57

Fonte: Dados internos da organização

As cidades candidatas a abertura do primeiro CD, foram escolhidas pela alta gestão da organização, considerando principalmente que a maior demanda está concentrada no estado de São Paulo. A Tabela 6 apresenta as 5 cidades apontadas como candidatas e suas respectivas distâncias em quilometragem do parque industrial.

Tabela 6- Cidades candidatas a abertura de CD

Estado	Cidade Candidata	Distância p/ indústria KM
Minas Gerais	Uberaba	880,00
São Paulo	Ribeirão Preto	713,00
São Paulo	São Paulo	432,00
São Paulo	Guarulhos	416,00
São Paulo	São José dos Campos	345,00

Fonte: Dados internos da organização e Google Maps

Além da distância das cidades candidatas para a indústria, foram levantadas as distâncias das cidades candidatas para todas as cidades atendidas pela organização. Essas informações foram dispostas em uma matriz de distâncias conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Matriz de distâncias Cidades candidatas X Cidades atendidas

Cidades atendidas	UF	UBERABA	SãoPaulo	SãoJosédoscam pos	Guarulhos	RibeirãoPreto
Guarulhos	SP	495	26	76	0	335
Guaratinguetá	SP	627	188	100	173	460
São José dos Pinhais	PR	868	408	505	434	700
Maringá	PR	665	644	729	658	551
Itaquaquecetuba	SP	519	50	67	30	351
Fernandópolis	SP	343	554	613	567	319
São José do Rio Preto	SP	226	439	493	453	205

Fonte: Dados internos da organização

A fim de criar uma matriz binária para identificar quais cidades são elegíveis para a abertura de uma loja, utilizou-se a estratégia de agrupamento geográfico conhecida como "microrregião". Para que um cliente possa ser atendido por uma loja, é necessário que ambas as localizações pertençam à mesma microrregião. Nessa matriz, foi atribuído o valor 1 quando as cidades pertencem à mesma microrregião, e o valor 0 quando não pertencem. A tabela 8 apresenta um recorte dessa matriz.

Tabela 8 - Matriz de atendimento das lojas

	Santa_Luzia	Alfenas	Matao	Catanduva	Juiz_de_Fora	Francisco_Dumont	Maua
Juiz_de_Fora_1	0	0	0	0	1	0	0
Juiz_de_Fora_2	0	0	0	0	1	0	0
Belo_Horizonte	1	0	0	0	0	0	0
Contagem	1	0	0	0	0	0	0
Lafaiete	0	0	0	0	0	0	0
Barbacena	0	0	0	0	0	0	0
Ipatinga	0	0	0	0	0	0	0
Uba	0	0	0	0	0	0	0
Tres_Coracões	0	1	0	0	0	0	0
Taubate	0	0	0	0	0	0	0
Indaiatuba	0	0	0	0	0	0	0
Guarulhos	0	0	0	0	0	0	0
Diadema	0	0	0	0	0	0	1
Osasco	0	0	0	0	0	0	0
Mogi_Minim	0	0	0	0	0	0	0
Tres_Piões	0	0	0	0	0	0	0
Petropolis	0	0	0	0	0	0	0
Rio_de_Janeiro	0	0	0	0	0	0	0
Volta_Redonda	0	0	0	0	0	0	0
Sao_Jose_dos_Pinhais	0	0	0	0	0	0	0
Curitiba	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: O Autor

O frete da indústria para os clientes é calculado com base em uma tabela de frete interna, majoritariamente por caminhões fretados. Os caminhões da frota própria são direcionados para

rotas de varejo e abastecimento das facilidades, estes são utilizados para atender clientes somente em situações extremamente específicas ou emergenciais.

A Tabela 8 é uma matriz de custo de frete da indústria para os clientes para diversos tipos de carros. A escolha do tipo de carro para cada entrega é feita considerando as capacidades e os custos. Fretes podem ser conjugados para realizar as entregas.

Tabela 9 - Tabela de frete Indústria x Cidades

	Truck	Bitruck	Carreta Sim	Carreta truc	Vanderléi	Rodotren
Cidades/Capacidade	13	18	25	30	34	50
Ariquemes	R\$ 8.320,00	R\$ 11.520,00	R\$ 16.000,00	R\$ 19.200,00	R\$ 21.760,00	R\$ 32.000,00
Pimenta Bueno	R\$ 8.320,00	R\$ 11.520,00	R\$ 16.000,00	R\$ 19.200,00	R\$ 21.760,00	R\$ 32.000,00
Grajaú	R\$ 8.320,00	R\$ 11.520,00	R\$ 16.000,00	R\$ 19.200,00	R\$ 21.760,00	R\$ 32.000,00
Açailândia	R\$ 8.233,33	R\$ 11.400,00	R\$ 15.833,33	R\$ 19.000,00	R\$ 21.533,33	R\$ 31.666,67
Teresina	R\$ 8.233,33	R\$ 11.400,00	R\$ 15.833,33	R\$ 19.000,00	R\$ 21.533,33	R\$ 31.666,67
Santa Cruz do Capibaribe	R\$ 6.200,00	R\$ 8.584,62	R\$ 11.923,08	R\$ 14.307,69	R\$ 16.215,38	R\$ 23.846,15
Querência	R\$ 6.200,00	R\$ 8.584,62	R\$ 11.923,08	R\$ 14.307,69	R\$ 16.215,38	R\$ 23.846,15
Cuiabá	R\$ 6.200,00	R\$ 8.584,62	R\$ 11.923,08	R\$ 14.307,69	R\$ 16.215,38	R\$ 23.846,15
Primavera do Leste	R\$ 5.781,12	R\$ 8.004,63	R\$ 11.117,54	R\$ 13.341,05	R\$ 15.119,85	R\$ 22.235,08
Ijuí	R\$ 5.781,12	R\$ 8.004,63	R\$ 11.117,54	R\$ 13.341,05	R\$ 15.119,85	R\$ 22.235,08
Dourados	R\$ 5.188,24	R\$ 7.183,72	R\$ 9.977,38	R\$ 11.972,86	R\$ 13.569,24	R\$ 19.954,77
Céu Azul	R\$ 5.593,40	R\$ 7.744,71	R\$ 10.756,54	R\$ 12.907,85	R\$ 14.628,89	R\$ 21.513,08
Fátima do Sul	R\$ 5.182,22	R\$ 7.175,38	R\$ 9.965,81	R\$ 11.958,97	R\$ 13.553,50	R\$ 19.931,62
Alto Horizonte	R\$ 5.559,00	R\$ 7.697,08	R\$ 10.690,38	R\$ 12.828,46	R\$ 14.538,92	R\$ 21.380,77

Fonte: Dados internos da organização

5 RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Neste capítulo, os resultados relativos aos diferentes cenários testados de localização dos centros de distribuição da organização são apresentados e discutidos. Os modelos foram implementados em AMPL e processados utilizando-se o *software* livre GLPK 4.8.8.

a) Cenário 1: p -medianas com principais clientes

No primeiro cenário, foram considerados apenas os 7 principais clientes, sem considerar a demanda de consumo, com um intuito de fazer uma primeira avaliação do problema de abertura de centros de distribuição. Considerou-se que a fábrica, localizada em Três Rios, já funciona como centro de distribuição. O modelo foi testado variando-se p de 1 até 7, como forma de hierarquizar a importância relativa de cada candidato.

A Figura 7 mostra a redução dos custos na rede à medida que mais centros de distribuição são abertos. Com $p = 1$, o centro de distribuição é o armazém da fábrica, em Três Rios, que mostra o maior custo de transporte na rede. Com $p = 2$, um centro de distribuição é aberto em São Paulo, com uma redução de 51,89% em relação ao custo de transporte com $p = 1$.

Com $p = 3$, os centros de distribuição abertos estão localizados em Três Rios, Guarulhos e Ribeirão Preto. Neste contexto os custos são reduzidos em 64,33% em relação aos custos com apenas uma facilidade. Com 4 centros de distribuição abertos, os resultados apontam uma redução de 65,85% nos custos. Com 5 facilidades abertas ainda há uma pequena redução aumentando para 66,39% nos custos, a sexta facilidade aberta mantém os custos estáveis, com 66,39% de redução.

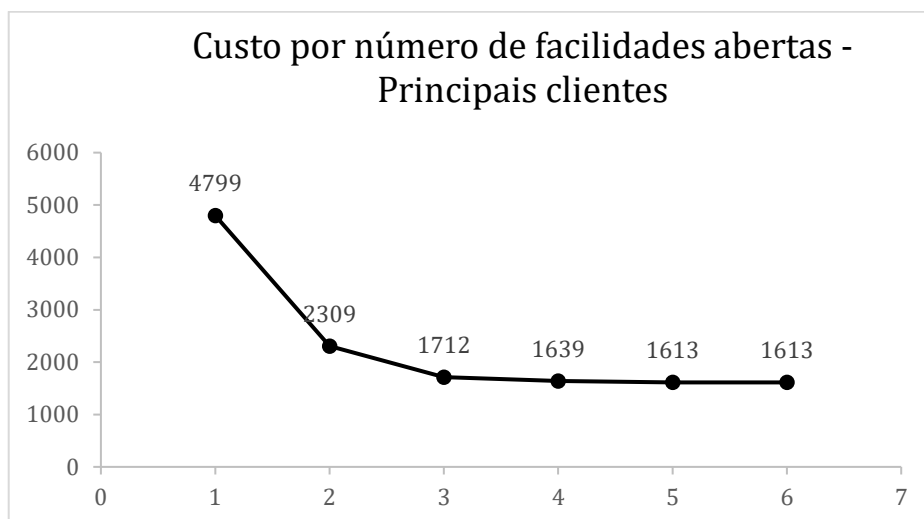


Figura 5 - Gráfico de custo por facilidade aberta - Cenário 1

Fonte: O Autor

A Tabela 10 relaciona os custos de transporte com as facilidades abertas. É possível observar que ao fixar 3 centros de distribuição, neste cenário, São Paulo deixa de ser uma localização indicada a abertura, sendo substituída por Guarulhos e Ribeirão Preto.

Tabela 10 - Centros de distribuição abertos (cenário 1)

p	Custo	Redução de custo	CDs abertos
1	4799		Três Rios
2	2309	51,89%	Três Rios, São Paulo
3	1712	64,33%	Três Rios, Guarulhos e Ribeirão Preto
4	1639	65,85%	Três Rios, Guarulhos, Ribeirão Preto e São José dos Campos
5	1613	66,39%	Três Rios, Guarulhos, Ribeirão Preto, São José dos Campos e São Paulo
6	1613	66,39%	Três Rios, Guarulhos, Ribeirão Preto, São José dos Campos, São Paulo e Uberaba

Fonte: O Autor

No contexto de apenas uma facilidade aberta, além da matriz em Três Rios, a figura 5 mostra que todas as 7 cidades seriam atendidas pelo centro de distribuição aberto em São Paulo, ficando a matriz sem atender nenhum cliente.

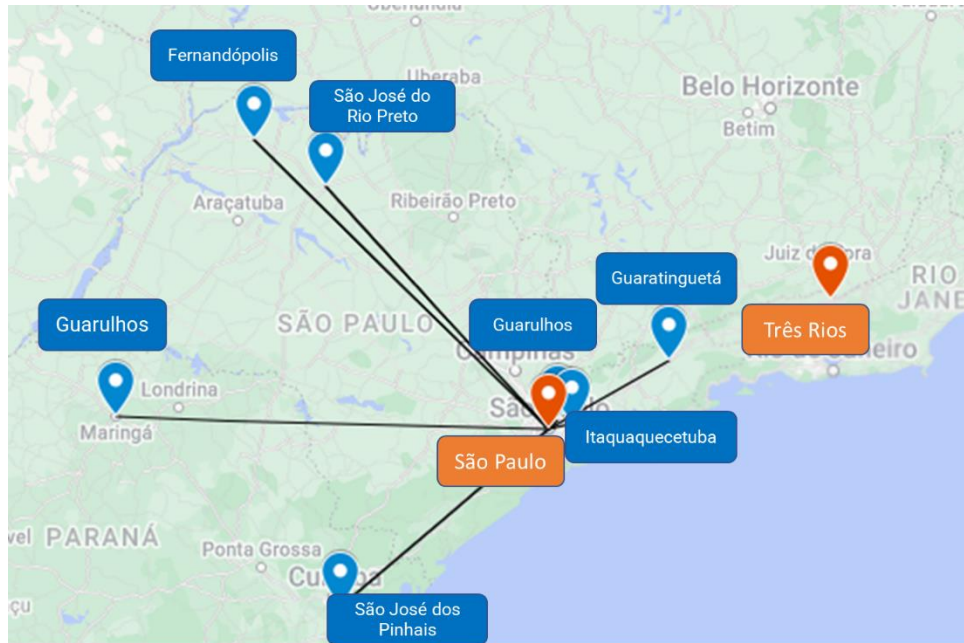


Figura 6 - Mapa de atendimento $p=2$

Fonte: o Autor

Ao rodar o modelo com p fixado em 3, são criados 2 *clusters* de atendimento, em que a matriz em Três Rios permanece sem atender nenhum cliente, conforme mostrado na Figura 6.

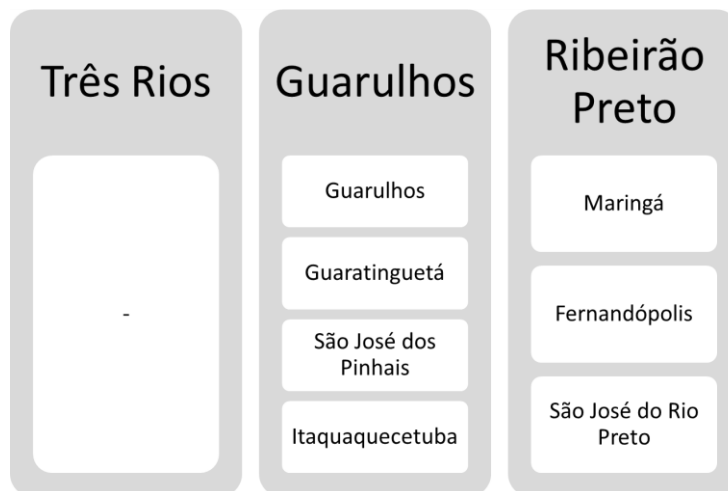


Figura 7 - Clusters de atendimento $p=3$

Fonte: o Autor

b) Cenário 2: P -medianas com muitos clientes

Ao rodar o modelo com apenas um centro de distribuição sendo aberto ($p = 2$), a cidade apontada para abertura do centro de distribuição foi São Paulo, assim como no cenário 1. Além de os principais clientes estarem próximos a São Paulo, a maioria deles também está.



Figura 8 - Mapa com os clusters de atendimento $p=2$ - Cenário 2

Fonte: O Autor

A Figura 8 ilustra os dois *clusters* de atendimento: em azul, as cidades atendidas pela matriz e em laranja, as cidades atendidas pelo centro de distribuição inaugurado em São Paulo. Nela, podemos constatar que a maior concentração de demanda se encontra no estado de São Paulo, próximo ao centro de distribuição, mas também é possível observar que a facilidade atende alguns clientes situados na região Sul, a qual apresenta um potencial de crescimento, além de clientes em Minas Gerais e na região Centro-Oeste.

A Figura 9 mostra que, quando o modelo considerou muitos clientes, os custos de transporte foram significativamente reduzidos apenas com $p = 2$ e $p = 3$. Entretanto, ao simular o cenário com mais de dois centros de distribuição, os custos não apresentaram redução significativa se comparados aos contextos anteriores.

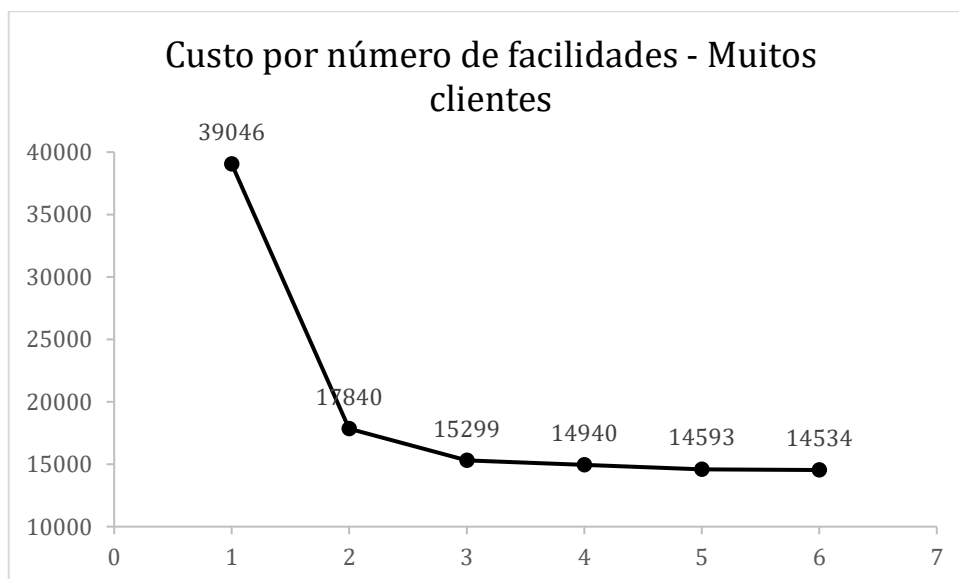


Figura 9 - Gráfico de custo por facilidade aberta - Cenário 2

Fonte: O Autor

Tabela 11 - Centros de distribuição abertos (cenário 2)

p	Custo	Redução de custo	CDs abertos
1	39046		Três Rios
2	17840	54,31%	Três Rios e São Paulo
3	15299	60,82%	Três Rios, São Paulo e Ribeirão Preto
4	14940	61,74%	Três Rios, São Paulo, São José dos Campos e Ribeirão Preto
5	14593	62,63%	Três Rios, Uberaba, São Paulo, São José dos Campos e Ribeirão Preto
6	14534	62,78%	Três Rios, Uberaba, São Paulo, São José dos Campos, Guarulhos e Ribeirão Preto

Fonte: O Autor

A Tabela 11 retrata o cenário 2 com p variando de 1 a 6 com os custos de transporte e as respectivas localizações indicadas para abertura dos centros de distribuição.

c) Cenário 3: p -medianas com muitos clientes e demanda de consumo

No terceiro modelo simulado, foram incluídas as quantidades de demanda por cidade no cálculo, onde as cidades com maiores demandas terão maior peso na resolução do problema de localização, juntamente com a distância. Sem considerar as quantidades, a função objetivo é equilibrada entre a abertura de centros de distribuição e a distância de atendimento aos clientes.

Da mesma forma que nos demais cenários, foram simulados os custos de atendimento considerando $p = 2$, $p = 3$, $p = 4$, $p = 5$ e $p = 6$. Em concordância com os resultados anteriores, a redução de custo mais significativa ocorreu com a abertura do primeiro centro de distribuição (69,72%), que também foi localizado em São Paulo.

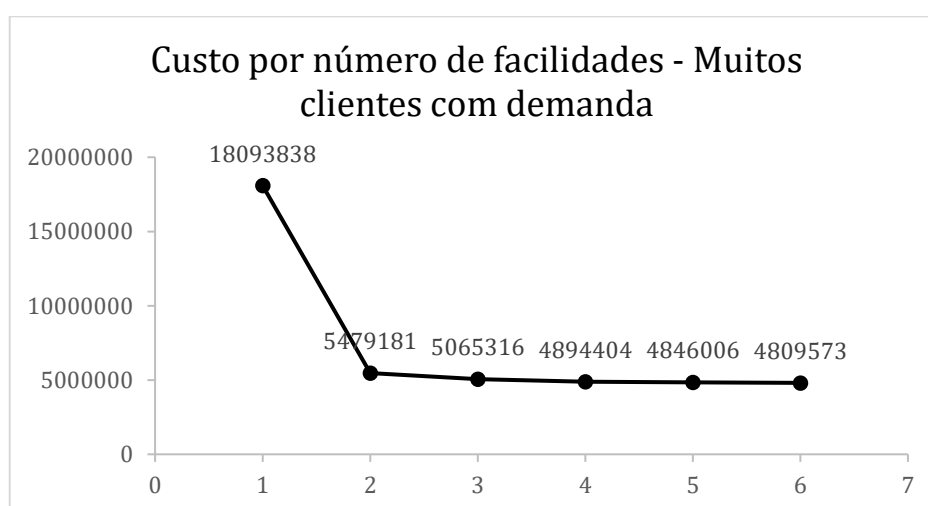


Figura 10 - Gráfico de custo por facilidade aberta - Cenário 3

Fonte: O Autor

São Paulo foi indicada como a cidade ideal para a abertura do centro de distribuição com $p = 2$, assim como nos outros dois cenários. A Figura 10 apresenta um mapa de bolhas que destaca como os maiores clientes (com mais demanda) estão localizados próximos a São Paulo, juntamente com o maior volume de clientes.

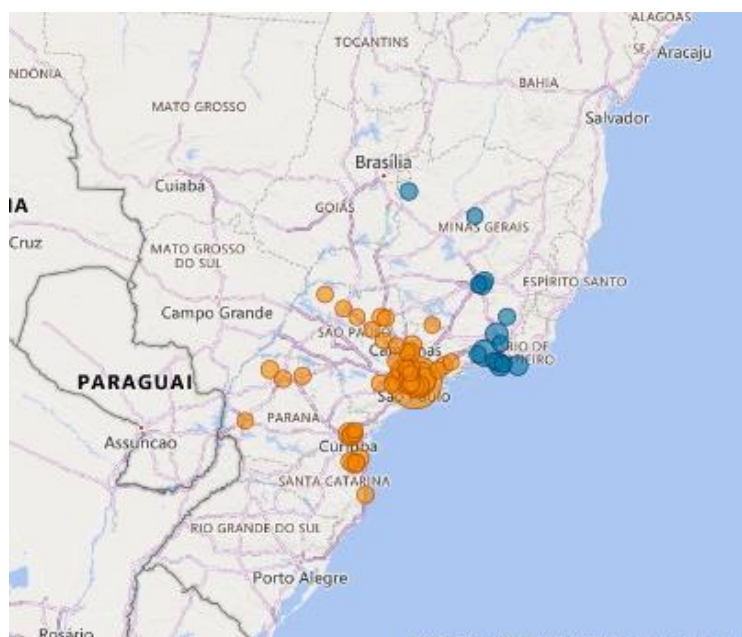


Figura 11 - Mapa de atendimento com demandas - Cenário 3
Fonte: O autor

Ao variar o número de facilidades de 1 a 6, não houve alteração nas localizações apontadas pelo modelo. São Paulo permanece como a melhor localização para abertura de uma facilidade.

Tabela 12 - - Centros de distribuição abertos (cenário 3)

p	Custo	Redução de custo	CDs abertos
1	18093838		Três Rios
2	5479181	69,72%	Três Rios e São Paulo
3	5065316	72,01%	Três Rios, São Paulo e Ribeirão Preto
4	4894404	72,95%	Três Rios, São Paulo, São José dos Campos e Ribeirão Preto
5	4846006	73,22%	Três Rios, Uberaba, São Paulo, São José dos Campos e Ribeirão Preto
6	4809573	73,42%	Três Rios, Uberaba, São Paulo, São José dos Campos, Guarulhos e Ribeirão Preto

Fonte: O Autor

5 CONCLUSÃO

Este estudo apresentou um modelo de localização que leva em consideração as distâncias de polos consumidores até as localizações candidatas a abertura de facilidades e às facilidades já em operação. Além deste parâmetro, o modelo também considera as quantidades demandadas por estes polos consumidores.

Embora o objetivo principal do estudo seja embasar a tomada de decisão quanto a localização para abertura das facilidades, esse modelo também pode ser aplicado na destinação de clientes a facilidades, criando clusters de atendimento, a fim de reduzir os custos com a entrega. Com isso, é possível responder a perguntas como: Quais clientes são atendidos por cada facilidade? Qual o número ideal de facilidades para atender este agrupamento de clientes? A disposição geográfica das facilidades abertas é adequada?

Com os resultados obtidos, considerando apenas as distâncias e as demandas dos clientes, o modelo indica que na condição de abertura de apenas uma facilidade, dentre o conjunto de cidades candidatas, São Paulo é a mais adequada. A abertura de centros de distribuição reduz os custos totais de transporte, entretanto, em todos os cenários testados, a redução marginal dos custos, variando p de 1 a 7, é mais expressivo com a abertura da primeira facilidade. Ou seja, o menor custo obtido, aumentando os valores de p em todos os cenários simulados pode não ser o mais adequado, pois o modelo não considerou os custos fixos de abertura de um centro de distribuição.

Para futuras pesquisas, é possível explorar outros parâmetros importantes para resolver o problema de localização proposto. Os custos de abastecimento dos CD's não foram considerados neste trabalho, sendo assim este é um tópico que deve ser inserido no modelo em trabalhos futuros. Também não foi considerado pelo modelo a possibilidade de fechar o centro de distribuição de Três Rios, e substituí-lo por uma outra localização.

Outros parâmetros que podem ser incluídos neste problema são políticas de incentivo fiscal, tributação aplicada nos estados e custo de mão de obra médio das regiões.

REFERÊNCIAS

ARENALES, Marcos; ARMENTANO, Vinicius; MORABITO, Reinaldo; YANASSE, H. H. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BARRETO, Sérgio. **Análise e Modelização de Problemas de Localização-Distribuição**. 2004. P. 321. Tese (Doutorado em Gestão Industrial) – Universidade de Aveiro, Aveiro, 2004

IBGE – **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. Comissão Nacional de Classificação. CNAE-Subclasses 2.3. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://concla.ibge.gov.br/busca-online-cnae.html>. Acesso em: 18 jan. 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes-1/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos/anuario-estatitico-2021-setor-metalurgico-ano-base-2020.pdf/view>. Acesso em: 14/03/2023.

MORABITO, R.; PUREZA, V. M. M. **Modelagem e Simulação**. In: Miguel, C. (org.) Metodologia de Pesquisa para Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 2 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2018.

PIZZOLATO, Nélio; RAUPP, Fernanda; ALZAMORA, Guina. Revisão de Desafios Aplicados em Localização com Base em Modelos da p-Mediana e suas Variantes. **Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v.4, p. 13-42, janeiro a abril de 2012.

PRADO, Daniel. **Busca Tabu Aplicada ao problema de Localização de Facilidades com Restrições de Capacidade e Fonte Única**. p. 95. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas. 2007.

SATO, Fábio. Problemas e Métodos Decisórios de Localização de Empresas. **RAE Eletrônica**, São Paulo, v.1, p. 2-13, Número 2, jul-dez/2002.