UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ANA PAULA MONACHESI RAMOS

ANÁLISE DE LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉM PRIVADO

JUIZ DE FORA
2022

ANA PAULA MONACHESI RAMOS

ANÁLISE DE LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉM PRIVADO

Trabalho de Projeto de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Antônio Angelo Missiaggia Picorone

JUIZ DE FORA

2022

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Monachesi Ramos, Ana Paula .
ANÁLISE DE LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉM PRIVADO / Ana Paula Monachesi Ramos. -- 2022.
37 p.

Orientador: Antônio Angelo Missiaggia Picorone
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2022.

1. Problema de localização de instalações. 2. Métodos . 3. Trabalho acadêmico . I. Angelo Missiaggia Picorone, Antônio, orient. II. Título.

ANA PAULA MONACHESI RAMOS

ANÁLISE DE LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉM PRIVADO

Trabalho de Projeto de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Antônio Angelo Missiaggia Picorone

Aprovada em 24/06/2022.

BANCA EXAMINADORA

D.Sc., Antônio Ângelo Missiaggia Picorone
Universidade Federal de Juiz de Fora

D.Sc., Roberta Cavalcanti Pereira Nunes
Universidade Federal de Juiz de Fora

D.Sc., Mariana Paes da Fonseca
Universidade Federal de Juiz de Fora

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo escolher o melhor local para uma instalação de um almoxarifado privado com um número determinado de unidades atendidas através de métodos para resolução de problemas de localização de instalações. Os métodos apresentados foram o Método da Mediana, Método de Weizfeld e Método do Centro de Gravidade, ambos, visam minimizar o tempo total de deslocamento entre as unidades e o custo de transporte. Os métodos foram testados em uma rede de ensino da cidade de Juiz de Fora, atendida por um almoxarifado centralizada e com sete unidades consumidoras. Os resultados dos métodos apontaram para a região oeste da cidade e a partir deste cenário foi realizado um estudo qualitativo em relação a disponibilidade imobiliária e de outros fatores relevantes para auxiliar a tomada de decisão na escolha de uma localidade para instalação do almoxarifado.

Palavras-chave: Problema de localização de instalação, método, fatores relevantes.

ABSTRACT

This paper aims to choose the best location for a private warehousing facility with a given number of units served through methods for solving facility location problems. The methods presented were the Median Method, the Weizfeld Method and the Center of Gravity Method, both aim at minimizing the total travel time between units and the transportation cost. The methods were tested in a school network in the city of Juiz de Fora, served by a centralized warehouse with seven consumer units. The results of the methods pointed to the western region of the city and from this scenario a qualitative study was performed in relation to real estate availability and other relevant factors to assist the decision making process when choosing a location to install the warehouse.

Keywords: Facility location problem, method, relevant factors.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 4

1.1 ESCOPO 5
1.2 OBJETIVOS 5
1.3 JUSTIFICATIVA 6
1.4 MATERIAIS E MÉTODOS 6
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO 9

2. PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES (PLI) 10

2.1 FATORES QUE INFLUENCIAM NA LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES 10
2.2 MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES 12
2.2.1 FORMULAÇÃO DO PLI 15
2.3 SUMÁRIO DO CAPÍTULO 19

3. ESTUDO DE CASO 20

3.1 LOCALIZAÇÃO DAS UNIDADES 20
3.2 DEFINIÇÃO DA ÁREA NECESSÁRIA DO ALMOXARIFADO 22
3.3 DEMANDAS DE ITENS DAS UC'S 24
3.4 DESENVOLVIMENTO DO PLI 25
3.5 ANÁLISE QUALITATIVA DA LOCALIZAÇÃO 28

4. CONCLUSÃO 30

REFERÊNCIAS 31

ANEXO A 33

ANEXO B 36

ANEXO C 37

ANEXO D.....38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Macroatividades Estudo de Caso. 8
Figura 2 - Fatores que influenciam no PLI 11
Figura 3 - Classificações do PLI 12
Figura 4 – Localização das Unidades nas regiões da cidade 20
Figura 5 – Galpão utilizado como almoxarifado antes do 5S 21
Figura 6 – Galpão utilizado como almoxarifado após aplicação do 5S 22
Figura 7 – Setorização do estoque 23
Figura 8 – Carga média transportada por UC 25
Figura 9 – Curva de convergência do Método Weiszfeld 26
Figura 10 – Localizações dos resultados dos métodos utilizados 27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Localização das unidades atendidas pelo almoxarifado central 21
Tabela 2 - Objetivos metodologia 5s 7
Tabela 3 - Área estimada dos setores do estoque 23
Tabela 4 - Carga média transportada por unidade 24
Tabela 5 – Pontos geográficos resultantes da aplicação dos métodos 27
Tabela 6 – Aplicação do Método carga x distância 28

LISTA DE SIGLAS

PLI	Problema de Localização de Instalações
SKU	*Stock Keeping Unit*
AHP	*Analythic Hierarchy Process*
UC	Unidades Consumidoras

1. INTRODUÇÃO

Uma instalação crítica que, dependendo de sua localização, interfere diretamente no resultado operacional de uma empresa é o seu armazém. O armazém é um dos pontos principais que garante a qualidade dos processos logísticos de uma empresa, sendo esse muito estudado a fim de diminuir custos totais relacionados a tempo, espaço, qualidade e transporte (GAPSKI, 2003).

Dentre os diferentes tipos de armazéns, pode-se citar: i) o armazém geral, que é utilizado para relações com fornecedores e terceiros, ii) o armazém privado, que é considerado um estoque da própria empresa e; iii) o armazém alfandegado que tem por finalidade tramites de importação e exportação (PAOLESCHI, 2018).

Para se garantir uma logística que atenda às necessidades da empresa e reduzir os custos relacionados a transportes entre unidades atendidas e a manutenção da estocagem é necessário utilizar estratégias eficazes de localização do armazém. Existem na literatura diversos modelos propostos para auxiliar a tomada de decisão em relação a localização de instalações, sobretudo devido à grande variedade das características das variáveis envolvidas no problema de localização de instalação (PLI), como por exemplo, quantidade de novas instalações, características do espaço de solução, critérios usados, tamanho da instalação, medida de distância entre as instalações utilizadas, tipos das variáveis locacionais consideradas, entre outros (TOMPKINGS, 2010).

Inicialmente, a localização das empresas era determinada de acordo com decisões dos gestores sem aplicação de qualquer estratégia locacional, apenas com a experiência dos membros mais antigos da empresa e do relacionamento com terceiros (DIAS, 1993). Com o passar dos anos o avanço da globalização foi sendo necessário criar estratégias e métodos para auxiliar esses gestores na tomada de decisão em relação ao espaço em que seriam estabelecidos novos empreendimentos (BRANDEAU, 1989).

O presente trabalho investiga as estratégias utilizadas para resolver o problema de localização de instalação de armazém privado. Além disso, também discute um estudo de caso onde se desenvolve o PLI para definir a melhor localização de um armazém central de uma empresa destinado ao armazenamento de materiais que suprem a demanda específica de um conjunto de filiais espalhadas em uma dada região.

1.1 ESCOPO

A pesquisa proposta se limita a responder a seguinte questão de investigação: como determinar a melhor localização de um armazém central destinado ao armazenamento de materiais que suprem a demanda específica de um conjunto de filiais espalhadas em uma dada região? Além disso, soma-se ao escopo do presente trabalho o desenvolvimento de um estudo de caso onde se aplica o PLI para auxiliar a tomada de decisão quanto a melhor localização para a instalação de um armazém central destinado ao armazenamento de materiais de obra e manutenção de uma rede de ensino na cidade de Juiz de Fora.

Não faz parte do escopo deste trabalho criticar a decisão de adotar um armazém central ou unidades de armazenagem distribuídas.

Para o estudo de caso foram apurados e analisados os principais fatores locacionais (quantitativos, qualitativos e híbridos) que interferem na definição da localização do armazém e, em seguida, modelos aplicados ao PLI serão utilizados para a determinação da melhor localização para o armazém que atende às premissas impostas ao PLI.

Embora os resultados esperados com o estudo de caso sejam aplicados unicamente à rede de ensino em estudo, visto que serão consideradas as localizações das unidades especificas da empresa, os métodos utilizados poderão ser utilizados para empresas que possuam estruturas de armazenamentos semelhantes.

O estudo de caso será conduzido considerando diversos dados de entrada para o PLI, tais como, volume transportado entre unidades, custos de transporte, custos do espaço ocupado entre outros. Esses dados foram obtidos a partir de setembro de 2020, ano atípico em que o Brasil viveu um momento de pandemia do COVID 19. Consequentemente, deve-se considerar nas análises dos resultados que tanto o comércio, os transportes e a demanda se encontravam com um perfil diferente de anos anteriores de atividade.

Além do estudo dos volumes de carga transportada, foi realizada uma pesquisa de valor de oportunidade do estoque atual, visto que no local pretende-se construir uma ampliação da escola. Esta ampliação consta na inauguração de 9 salas de aula, acolhendo em média 20 alunos por sala, gerando um ganho de receita.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem os seguintes objetivos:

a) Objetivo geral: investigar as estratégias mais usadas de localização de instalações destinadas à localização de armazém central que atende a um conjunto pré-definido de filiais.

b) Objetivos específicos:

- Identificar o modelo de PLI que atende ao objetivo geral deste trabalho;
- Resolver o modelo de PLI para o estudo de caso de localização do armazém central da empresa considerando os fatores locacionais mais relevantes.

1.3 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho se justifica na área acadêmica pela carência na literatura de publicações que compara métodos diferentes de localização de instalação, além de considerar nos seus usos uma região relativamente pequena de solução, p.ex., os limites de uma cidade. Assim, este trabalho busca contribuir com a área de pesquisa sobre métodos de localização de instalações considerando três métodos quantitativos largamente utilizados, adotando-se os mesmos parâmetros de entrada nos seus respectivos modelos restringindo sua área de solução aos limites de uma cidade.

Corrobora também para a justificativa deste trabalho a demanda de uma rede de ensino na cidade de Juiz de Fora para identificar uma localização interessante para instalação de um almoxarifado dessa rede, pois o local atualmente utilizado como almoxarifado deverá ser transformado em uma extensão da unidade escolar, ou seja, sala de aulas.

1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa bibliográfica sobre as principais estratégias de localização de instalações foi realizada a partir de (TOMPKINGS, 2010) e (BALLOU, 2001). Além disso, foram conduzidos estudos de artigos científicos sobre o tema com o intuito de construir o referencial teórico para pesquisa.

Para o referencial teórico foram pesquisados os conceitos sobre os fatores que mais influenciam na decisão sobre localização de instalações e as diversas estratégias de classificação dos PLI’s. A partir daí, buscou-se identificar as classes de PLI’s que melhores se ajustam aos objetivos deste trabalho.

Identificadas as classes de PLI's relevantes ao objetivo desta pesquisa, as formulações desses PLI's foram descritas, concluindo o referencial teórico a ser inicialmente considerado.

Quanto ao estudo de caso, na Figura 1 pode-se ver as macroatividades que foram realizadas neste trabalho.

Para a definição do espaço necessário para armazenagem das unidades de manutenção de estoque (SKU - *stock keeping unit*) da empresa em estudo foi aplicado o método 5S na área de armazenagem atualmente usada.

. O método 5S é o principal instrumento para gestão da qualidade, capaz de diminuir o desperdício, aumentar a segurança, manter o ambiente mais limpo e organizado, além de otimizar o espaço físico. O método ganhou este nome devido a nomenclatura dos 5 sensos que são a base da metodologia (RIBEIRO, 1994), na Tabela , pode-se observar quais são eles e quais seus objetivos.

Tabela 1 - Objetivos metodologia 5s

Senso (em japonês)	Significado do senso	Objetivo
Seiri (整理)	Utilização	Eliminar o que não é útil separando o necessário do desnecessário e descartando o que for supérfluo
Seiton (整頓)	Organização	Organizar o ambiente de trabalho arrumando as coisas no seus lugares adequados para uso
Seisō (清掃)	Limpeza	Cuidar da limpeza e higiene do ambiente de trabalho
Seiketsu (清潔)	Padronização	Elaborar padrões e procedimentos a serem seguidos em relação ao definido nos 3S anteriores (utilização, organização e limpeza)
Shitsuke (躾)	Disciplina	Incorporar no dia a dia os padrões e procedimentos definidos se comprometendo em manter os sensos na rotina de trabalho

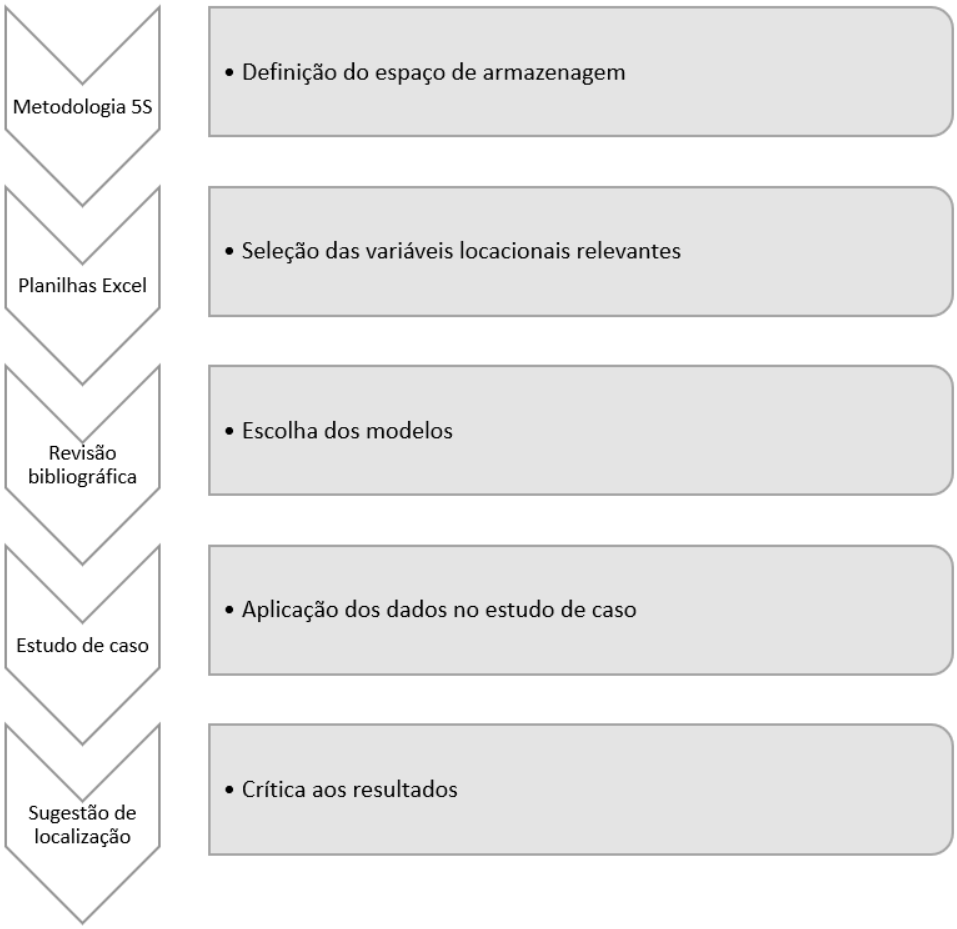
Fonte: Ferramentas de Qualidade (2018).

Com isso, foi possível obter uma estimativa mais realista da área necessária para o armazém, através da setorização dos materiais que estão armazenados, descarte de materiais que não são utilizados, limpeza e organização;

A seleção de varáveis locacionais mais relevantes foram analisadas. As variáveis quantitativas foram obtidas via planilhas Excel e relatórios financeiros já existentes, tais como, os custos relacionados aos transportes de materiais entre o armazém e as unidades atendidas, as

demandas associadas e os custos do imóvel atualmente utilizado como estoque. Além disso, também foram consideradas possíveis variáveis qualitativas a fim de selecionar as variáveis locacionais relevantes que deverão ser consideradas na modelagem do PLI.

Figura 1 - Macroatividades Estudo de Caso.
Fonte: Adaptado de Tompkins (2010).



O PLI do estudo de caso foi modelado após definidas as variáveis quantitativas e qualitativas mais relevantes. Uma vez definidas as variáveis locacionais do objeto de estudo, foram analisados e selecionados os modelos de localização de instalações que melhor se aplicam ao estudo de caso.

A aplicação dos modelos no estudo de caso foi conduzida via ferramentas computacionais utilizando como entrada as variáveis locacionais mais relevantes previamente selecionadas, considerando cada um dos modelos de localização de instalações também previamente definidos a fim de se obter as melhores opções de localização do armazém central. As resoluções dos PLIs foram realizadas com o uso do software Excel.

Finalmente, foi conduzida a análise dos resultados de localização obtidos pelos modelos de localização utilizados a fim de se selecionar a melhor localização para o armazém em estudo levando em conta as variáveis locacionais mais relevantes.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em 4 capítulos. O capítulo 1 traz a apresentação do objeto de estudo, os objetivos do presente trabalho, suas limitações e a metodologia utilizada no mesmo. O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre o problema de localização de instalações. O capítulo 3 apresenta o estudo de caso. A empresa objeto de estudo é sucintamente apresentada e o PLI do estudo de caso é modelado e resolvido. Nesse capítulo são discutidos os resultados computacionais obtidos com os modelos de localização de instalações usados considerando as variáveis locacionais selecionadas no estudo de caso. Finalmente, no capítulo 4 são apresentadas as conclusões da pesquisa, lições aprendidas e sugestões de temas de pesquisas para trabalhos futuros.

2. PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES (PLI)

Existem na literatura diversos modelos propostos para auxiliar a tomada de decisão em relação à localização de instalações, sobretudo devido à grande variedade das características das variáveis envolvidas no PLI. Este capítulo apresenta uma revisão da literatura sobre a classificação dos principais fatores que norteiam a decisão sobre localização de uma instalação e, posteriormente, os principais modelos de localização utilizados em função dos fatores relevantes para a tomada de decisão em relação à localização que serão aplicados neste trabalho.

2.1 FATORES QUE INFLUENCIAM NA LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

Os primeiros estudiosos a se envolver no estudo de localizações eram economistas e geógrafos, estes afirmavam que para se estudar a localização de um estabelecimento é importante analisar os custos referentes aos transportes entre as unidades atendidas e que o maior lucro que uma empresa poderia adquirir referia-se a diferença entre o preço das mercadorias e o custo do transporte das mesmas (BALLOU, 2001).

Atualmente, muitos pesquisadores estudam os custos referentes ao espaço ocupado, mão de obra, tributos e conveniências da localização das empresas em busca de minimizar os custos de transporte tanto em relação a recepção das matérias-primas, quanto em relação ao envio de produtos a terceiros (BALLOU, 2001). Por exemplo, em Richards (2017), o PLI foi abordado considerando as variáveis locacionais custos dos terrenos, aluguéis e tributos, acesso à infraestrutura de transporte, disponibilidade de mão de obra, acessibilidade de redes de transporte para os funcionários, disponibilidade de financiamentos e subsídios, disponibilidade de edificações, fluxos e tráfego de mercadores e localização de fornecedores para a definição de uma localização de armazenagem. Ou seja, existem diversos fatores que podem influenciar na escolha da localização da instalação.

O grau de relevância de cada um dos fatores locacionais que impacta nesta escolha depende do escopo do problema a ser tratado, p.ex., se o objetivo do PLI é definir a localização de uma nova manufatura com alcance internacional, fatores locacionais como estabilidade política, taxas alfandegárias e custos com impostos são muito relevantes. Por outro lado, se o escopo do PLI é restrito a poucas comunidades, então fatores como as facilidades encontradas

em cada comunidade considerada, tais como, incentivo local, clima local para o negócio e leis municipais passam a ser mais relevantes. Pode-se ver na Figura 2 - Fatores que influenciam no PLI, exemplos de diversos fatores locacionais que podem afetar as decisões de localização de uma instalação.

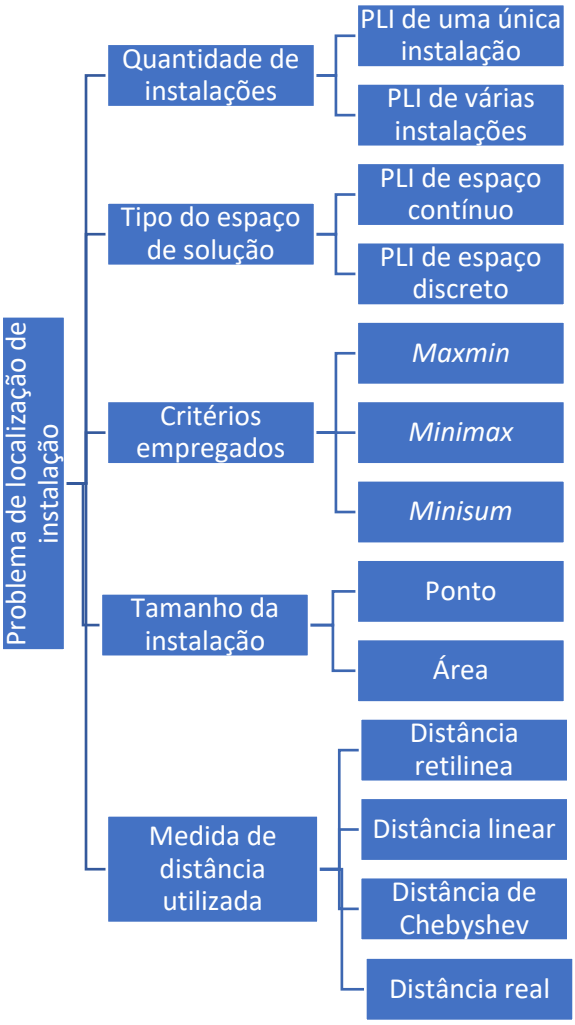
Figura 2 - Fatores que influenciam no PLI
Fonte: Adaptado de Tompkins (2010).

Observe que, pode-se ter em um PLI variáveis locacionais qualitativas, p.ex., qualidade de vida local ou variáveis locacionais quantitativas, p.ex., custo de aluguel, ou ambas sendo avaliadas no mesmo PLI. Em problemas que possuem variáveis locacionais qualitativas se faz necessário quantificá-las por algum método apropriado para depois analisá-las juntamente com as variáveis locacionais quantitativas.

2.2 MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

Os problemas de localização de instalações podem ser classificados de diversas formas. Na Figura 3 estão indicadas algumas destas formas de classificar os PLI's (TOMPKINGS, 2010).

Figura 3 - Classificações do PLI
Fonte: Adaptado de Tompkins (2010).



Na classificação do problema baseado na quantidade de instalações, pode-se ter modelos que consideram o problema de localização de uma única instalação ou de modelos que resolvem os problemas de localização para várias instalações simultaneamente. Em Rosa (2016), pode-se ver o desenvolvimento do PLI de uma única instalação para indicação de uma localização de um centro de distribuição da empresa AES Sul Distribuidora Gaúcha. Os autores

utilizaram o método do centro de gravidade para resolver o PLI. O método do centro de gravidade busca minimizar os custos de transportes através da instalação da empresa em um ponto central entre a soma do volume transportado multiplicado pela taxa de transporte e as distâncias atendidas (MARTINS; LAUGENI, 2015). Um PLI para várias instalações foi desenvolvido em Ianonni (2008), com o objetivo de se instalar as bases de ambulâncias ao longo da rodovia entre Rio de Janeiro e São Paulo. Esse trabalho visava a otimização das principais medidas de desempenho do sistema de saúde da região.

Quanto as características do espaço de solução, o PLI pode considerar na solução um espaço contínuo, em que a solução do PLI pode estar em qualquer ponto dentro da área considerada, ou um espaço de solução discreto, em que a solução do PLI está limitada a apenas algumas coordenadas, geralmente pré-selecionadas. Um PLI de espaço contínuo foi desenvolvido em Oliveira (2007). Neste trabalho, os autores analisaram, através de modelos de programação linear, a localização dos armazéns de açúcar na cidade de São Paulo. Já em Alves (2015) foram identificadas 6 cidades potenciais para a instalação de uma unidade fabril através do método de análise hierárquica (AHP – *Analytic Hierarchy Process*). O AHP é uma metodologia de auxílio à tomada de decisão multicritério, ou seja, tem como objetivo selecionar alternativas em um processo que leva em consideração diferentes critérios (ALVES, 2015).

Na classificação baseada em critérios, pode-se encontrar PLI's que utilizam para a localização de uma instalação o critério *minimax* – em que se objetiva minimizar a distância máxima ponderada entre pares de instalações, o critério *maximin* em que se busca aumentar a menor distância de algum local indesejável, p.ex., a localização de uma instalação de forma que ela seja o mais distante de uma outra usada para armazenar resíduos sólidos, como cemitério de lixo nuclear, e por fim, o critério *minisum* - em que se busca minimizar o valor da soma ponderada das distâncias entre os pares de instalações.

Em relação ao tamanho da instalação, esta pode ser definida como um ponto, ou seja, não considera a dimensão da instalação, ou utilizada a área real do objeto em estudo. Em Cirino (2018) foi estudada a localização de uma unidade prestadora de serviços de saúde considerando a instalação como um ponto em uma região de instalações hospitalares. O autor utilizou um método de modelagem não linear para a solução do PLI.

A medida de distância utilizada no PLI pode ser modelada de diversas formas, as mais comuns são: distância retilínea, lineares, Chebyshev e a distância real.

Considerando $A = (x_a, y_a)$ e $B = (x_b, y_b)$ as coordenadas dos pontos que se pretende avaliar a distância entre eles, a distância retilínea, também conhecida como distância de Manhattan ou distância de táxi, é dada por:

$$d(A\ ,B) = |x_a - x_b| + |y_a - y_b|. \qquad (1)$$

Agora, caso seja utilizada a distância linear, também conhecida como distância euclidiana, pode-se obtê-la por:

$$d(A\ ,B) = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2}. \qquad (2)$$

A distância de Chebyshev, que é medida através da maior distância absoluta entre a horizontal e a vertical percorrida num plano de espaço bidimensional, pode ser obtida por:

$$d(A\ ,B) = \max(|x_a - x_b|, |y_a - y_b|). \qquad (3)$$

Finalmente, a distância real, às vezes chamada de distância de mapa, que pode ser medida através de instrumentos como GPS, pois considera o caminho real percorrido. Já em Mapa (2007), a autora utilizou uma matriz de distâncias, levando em consideração a distância viária, ou seja, a distância real entre os pontos considerados. Em seu estudo, a autora buscou avaliar a qualidade das soluções para o problema de localização-alocação de instalações.

Outros modelos de distância também podem ser encontrados na literatura com menor frequência. Em Melo (2018), foi utilizada a distância euclidiana quadrada como medida de similaridade, refinada pelo método K-*means*, para a decisão de localização das escolas do ensino público fundamental da área urbana do município de Mossoró/RN.

Baseado no objetivo geral apresentado, ou seja, investigar as estratégias mais usadas de localização de instalações destinadas à localização de armazém central que atende a um conjunto pré-definido de filiais, pode-se classificar o PLI aplicado a este trabalho como sendo de:

i. Uma única instalação, pois trata-se da definição de apenas um almoxarifado central;
ii. Espaço contínuo, pois deve-se considerar qualquer espaço dentro da região;

iii. Critério *minisum*, por se tratar de um almoxarifado central que deve atender a demanda das filiais, considerando a distância e o volume transportado do almoxarifado às unidades filiais;

iv. A instalação será considerada como um ponto para as formulações matemáticas;

v. Distâncias retilíneas e lineares, pois trata-se de um espaço de solução metropolitano.

2.2.1 FORMULAÇÃO DO PLI

O PLI de instalação única, com espaço de solução contínuo pode ser modelado de forma geral como (TOMPKINS, 2010):

$$\min f(X) = \sum_{i=1}^{m} w_i d(X, P_i), \qquad (4)$$

Onde:

$X = (x , y)$ é a coordenada da localização da nova instalação;

$P_i = (a_i , b_i)$ é a coordenada da i-ésima localização das m instalações existentes;

w_i é o "peso" associado à viagem entre a nova instalação e a i-ésima instalação existente;

$d(X, P_i)$ é a distância entre a nova instalação e a i-ésima instalação existente.

Note que w_i pode ser considerado como sendo o volume transportado entre a nova instalação e a i-ésima instalação existente, o custo do transporte, ou uma constante de proporcionalidade que esteja associado à viagem entre essas instalações. Observe também que o modelo apresentado na Eq. 4 é uma representação abstrata bastante simples de um problema de localização de instalações e pode ser resolvido rapidamente em alguns casos específicos.

Quando se adota como distância entre a nova instalação e as instalações existentes a distância retilínea (Eq. 1), é comum o uso do método da mediana para resolver o modelo de PLI (Eq. 4). Caso a distância adotada seja a linear (Eq. 2), pode-se usar para resolvê-lo o método Weiszfeld (HERAGU, 2006).

2.2.1.1 Método da Mediana

Uma vez que em um modelo retilíneo as distâncias são medidas pela soma da diferença absoluta em suas coordenadas (Eq. 1), o PLI de única instalação adotando o critério *minisum* (Eq.4) pode ser também apresentado como

$$\min f(x,y) = \sum_{i=1}^{m} w_i|x - a_i| + \sum_{i=1}^{m} w_i|y - b_i|, \qquad (5)$$

Onde:

$X = (x , y)$ é a coordenada da localização da nova instalação;

$P_i = (a_i , b_i)$ é a coordenada da *i*-ésima localização das *m* instalações existentes;

w_i é o "peso" associado à viagem entre a nova instalação e a *i*-ésima instalação existente;

$d(X, P_i)$ é a distância entre a nova instalação e a *i*-ésima instalação existente.

Permitindo a separação dos termos contendo as variáveis *x* e *y*, ou seja,

$$\min f(x) = \sum_{i=1}^{m} w_i|x - a_i|, \qquad (6)$$

$$\min f(y) = \sum_{i=1}^{m} w_i|y - b_i|. \qquad (7)$$

Dessa forma, os valores ótimos de *x* e *y* podem ser obtidos de maneira independente e são, respectivamente, um dos valores de a_i e um dos valores de b_i. Os valores ótimos das coordenadas da nova instalação, segundo o método da mediana, são obtidos pelo seguinte algoritmo (HERAGU, 2006):

1. Listar as instalações existentes em ordem crescente das coordenadas *x*;
2. Encontrar a *j*-ésima coordenada em que o peso cumulativo seja igual ou superior à metade do peso total, ou seja, encontrar a_j, tal que

$$\sum_{i=1}^{j} w_i \geq \sum_{i=1}^{m} \frac{w_i}{2}; \qquad (8)$$

3. Repetir a listagem em ordem crescente para as coordenadas *y*;
4. Encontrar a *k*-ésima coordenada em que o peso cumulativo seja igual ou superior à metade do peso total, ou seja, encontrar b_k tal que

$$\sum_{i=1}^{k} w_i \geq \sum_{i=1}^{m} \frac{w_i}{2}. \qquad (9)$$

A localização ótima da nova instalação é dada pelas *j*-ésima e *k*-ésima coordenadas encontradas com os passos anteriores.

2.2.1.2 Método Weiszfeld

O PLI de única instalação adotando a distância euclidiana (Eq. 2) e o critério *minisum* pode ser representado por

$$\min f(x,y) = \sum_{i=1}^{m} w_i \sqrt{(x-a_i)^2 + (y-b_i)^2}. \qquad (10)$$

Onde:

$X = (x, y)$ é a coordenada da localização da nova instalação;

$P_i = (a_i, b_i)$ é a coordenada da *i*-ésima localização das *m* instalações existentes;

w_i é o "peso" associado à viagem entre a nova instalação e a *i*-ésima instalação existente;

$d(X, P_i)$ é a distância entre a nova instalação e a *i*-ésima instalação existente.

Os valores ótimos das coordenadas da nova instalação, segundo o método Weiszfeld podem ser obtidos pelo seguinte algoritmo (HERAGU, 2006):

1. Definir o contador de iteração $k = 1$;

$$\bar{x}^k = \frac{\sum_{i=1}^{m} w_i x_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i}, \qquad (11)$$

$$\bar{y}^k = \frac{\sum_{i=1}^{m} w_i x_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i}; \qquad (12)$$

2. Calcular:

$$\bar{x}^{k+1} = \frac{\sum_{i=1}^{m} \frac{w_i x_i}{\sqrt{(x_i - \bar{x}^k)^2 + (y_i - \bar{y}^k)^2}}}{\sum_{i=1}^{m} \frac{w_i}{\sqrt{(x_i - \bar{x}^k)^2 + (y_i - \bar{y}^k)^2}}} \qquad (13)$$

$$\bar{y}^{k+1} = \frac{\sum_{i=1}^{m} \frac{w_i y_i}{\sqrt{(x_i - \bar{x}^k)^2 + (y_i - \bar{y}^k)^2}}}{\sum_{i=1}^{m} \frac{w_i}{\sqrt{(x_i - \bar{x}^k)^2 + (y_i - \bar{y}^k)^2}}} \qquad (14)$$

3. Se $\bar{x}^{k+1} = \bar{x}^k$ e $\bar{y}^{k+1} = \bar{y}^k$, parar a iteração. Caso contrário, definir $k = k+1$ e voltar ao primeiro passo.

Os valores de localização ótimos serão dados pelas coordenadas *x* e *y* encontradas.

2.2.1.3 Método do Centro de Gravidade

Um outro método que é largamente considerado na literatura para a solução do PLI de instalação única e adotando o critério *minisum* é o método do centro de gravidade. O resultado obtido com a aplicação desse método é sugerido como um bom ponto de partida para a análise do PLI, pois alguns custos aumentam exponencialmente com a distância percorrida.

O método do centro de gravidade, ou método centroide, é baseado na ideia de que todas as localizações possíveis têm um "valor", que é a soma de todos os custos de transporte de e para essa localização. A origem do nome está na analogia com o cálculo do centro de gravidade de uma figura plana, onde se busca determinar as coordenadas do ponto em que se obtém um equilíbrio do plano em função da posição dos pesos de cada entidade, ou no nosso caso, instalação neste plano. A forma comum de se utilizar o método do centro de gravidade é considerar que o custo para o transporte entre a instalação que se quer determinar e as instalações existentes são proporcionais ao quadrado da distância euclidiana entre as instalações, ou seja,

$$\min f(x, y) = \sum_{i=1}^{m} w_i[(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]. \qquad (15)$$

Considerando w_i como a quantidade a ser enviada de ou para a *i*-ésima instalação existente, as coordenadas da localização de uma nova instalação pelo método do centro de gravidade são dadas por (HERAGU, 2006):

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^{m} a_i w_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i}, \qquad (16)$$

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^{m} b_i w_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i}. \qquad (17)$$

2.3 SUMÁRIO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados alguns dos métodos utilizados para se selecionar a localização ótima de uma nova instalação única, utilizando a distância retilínea, distância linear e o critério *minisum*.

No capítulo 3 é apresentado um estudo de caso que utiliza os modelos de PLI discutidos para a localização de um almoxarifado central de uma rede de escolas na cidade de Juiz de Fora, MG.

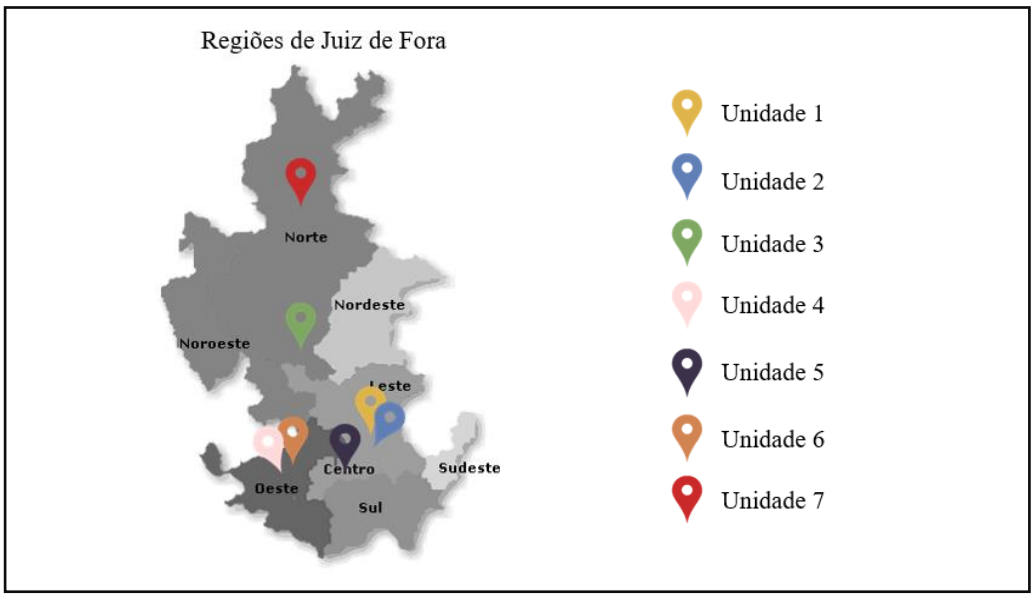
3. ESTUDO DE CASO

Atento aos benefícios de se possuir um armazém privado bem localizado, sobretudo motivado pelo alto custo da logística de transporte entre as unidades consumidoras e o estoque central atual, uma rede de escolas que, atualmente, encontra-se em desenvolvimento de um setor interno de obras e manutenções de toda a rede, decidiu reavaliar a localização de seu armazém central. Este trabalho parte da decisão estratégica da diretoria desta empresa em otimizar os custos de transporte e manutenção do seu armazém central destinado ao armazenamento de materiais de obra e manutenção.

3.1 LOCALIZAÇÃO DAS UNIDADES

O estudo de caso apresentado neste trabalho é referente a uma rede de escolas de nível infantil, fundamental e médio, que conta com mais de 20 unidades, sendo 7 na cidade de Juiz de Fora, onde é o foco principal de estudo. Essas unidades encontram-se em 5 bairros da cidade e suas localizações estão indicadas na Figura 4, onde se pode ver as localizações de cada unidade de forma generalizada.

Figura 4 – Localização das Unidades nas regiões da cidade
Fonte: Autor (2022).



As coordenadas geográficas das unidades atendidas pelo almoxarifado central estão indicadas na Tabela 2. As unidades atendidas pelo almoxarifado central passarão a ser denominadas neste trabalho simplesmente de unidades consumidoras (UC).

Tabela 2 – Localização das unidades atendidas pelo almoxarifado central

Unidade consumidora (UC)	**Coordenadas Geográfica** (latitude, longitude)
1	(-21.75722, -43.35175)
2	(-21.75694, -43.35256)
3	(-21.74056, -43.37068)
4	(-21.7724, -43.38447)
5	(-21.76858, -43.35545)
6	(-21.77219, -43.37322)
7	(-21.68671, -43.43568)

Fonte: Autor (2022).

O estoque central que abastece todas as UC's com materiais de infraestrutura localiza-se na UC 4, em um galpão no andar superior da escola com cerca de 450 m², que é utilizado em sua totalidade como almoxarifado. Na Figura 5 pode-se ver parte do galpão que é utilizado como almoxarifado. Atente para a ocupação desordenada do espaço.

Figura 5 – Galpão utilizado como almoxarifado antes do 5S

Fonte: Autor (abr., 2021)

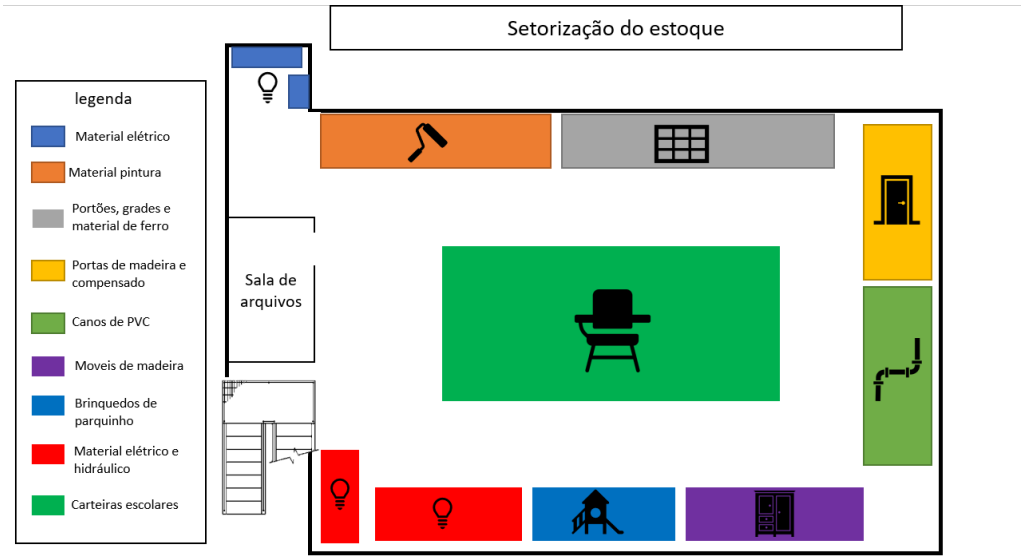
3.2 DEFINIÇÃO DA ÁREA NECESSÁRIA DO ALMOXARIFADO

Para chegar ao valor de área de estoque necessária para a nova instalação foi aplicada metodologia 5S no espaço. Inicialmente, foram separados os materiais para serem descartados e em seguida realizada uma setorização do espaço. Os materiais foram organizados de acordo com suas funções em comum e alocados da maneira com que os mais utilizados ficassem na parte frontal do espaço, necessitando menos deslocamento. Os menos utilizados e maiores, na parte traseira do espaço. Na Figura 6 pode-se ver uma parte do novo arranjo do atual almoxarifado após o 5S.

Figura 6 – Galpão utilizado como almoxarifado após aplicação do 5S
Fonte: Autor (ago., 2021)

A Figura 7 é uma representação do novo layout do almoxarifado obtido após a aplicação do 5S. Como pode-se observar na Figura 7, foi criada uma sala de arquivos para armazenamento de documentos de toda empresa. Mesmo com o acréscimo de uma sala, a aplicação do 5S gerou uma redução de cerca de 34% de ocupação do espaço, ou seja, o espaço necessário foi reduzido de 450 m^2 para 297 m^2.

Figura 7 – Setorização do estoque
Fonte: Autor (2022).



A partir desse resultado a área necessária para ser considerada no PLI do novo almoxarifado central foi determinada com uma menor margem de erro. Na Tabela 1 estão indicadas as áreas estimadas necessárias para cada setor do almoxarifado, além de uma estimativa de utilização para os próximos cinco anos.

Tabela 1 - Área estimada dos setores do estoque

Setor	Área pós 5S	Previsão de Área (5 anos)
Material elétrico	13m²	20m²
Material de pintura	30m²	30m²
Portões, Grades e Material de ferro	42m²	46m²
Portas de madeira e compensado	41m²	45m²
Canos de PVC	33m²	23m²
Móveis de madeira Brinquedos de Parquinho	36m² 32m²	39m² 0
Material elétrico e Hidráulico	20m²	30m²
Carteiras Escolares	50m²	0

Total	**297m²**	**233m²**

Fonte: Autor (2022).

3.3 DEMANDAS DE ITENS DAS UC'S

Como podemos-se observar na Tabela 3 a previsão para os próximos 5 anos é de uma queda de 22% na área de estoque necessária. Este fato pode ser explicado devido ao cenário de pandemia, no ano em que o estudo foi realizado. As carteiras escolares, como exemplo, foram alocadas no estoque atual devido a redução no número de alunos por sala, respeitando o distanciamento social imposto pelos protocolos de segurança em função da COVID 19. O mesmo acontece com os brinquedos que tiveram que ser retirados do parquinho a fim de evitar aglomeração das crianças.

A previsão é que o estoque mantenha sua utilização voltada para os materiais que são utilizados com maior frequência na manutenção de infraestrutura da escola, como materiais elétricos, de pintura e hidráulico.

O histórico de carga transportadas do almoxarifado para as UC's referentes aos materiais de manutenção está indicado na Tabela **2**:

Tabela 2 - Carga média transportada por unidade

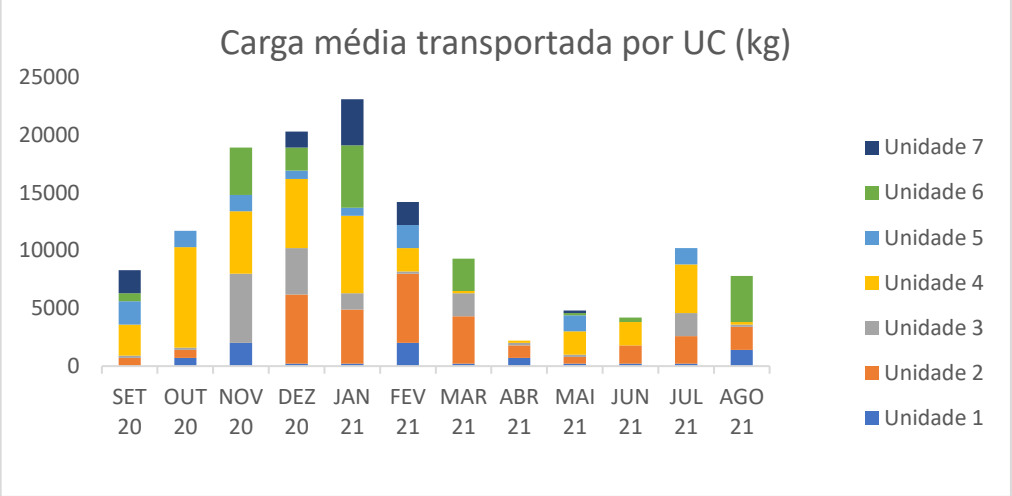
Carga média transportada por unidade (kg)								
	Unidade 1	Unidade 2	Unidade 3	Unidade 4	Unidade 5	Unidade 6	Unidade 7	Total Geral
SET 20	0	700	200	2.700	2.000	700	2.000	**8.300**
OUT 20	700	700	200	8.700	1.400	0	0	**11.700**
NOV 20	2.000	0	6.000	5.400	1.400	4.100	0	**18.900**
DEZ 20	200	6.000	4.000	6.000	700	2.000	1.400	**20.300**
JAN 21	200	4.700	1.400	6.700	700	5.400	4.000	**23.100**
FEV 21	2.000	6.000	200	2.000	2.000	0	2.000	**14.200**
MAR 21	200	4.100	2.000	200	0	2.800	0	**9.300**
ABR 21	700	1.100	200	200	0	0	0	**2.200**
MAI 21	200	600	200	2.000	1.400	200	200	**4.800**
JUN 21	200	1.600	0	2.000	0	400	0	**4.200**
JUL 21	200	2.400	2.000	4.200	1.400	0	0	**10.200**
AGO 21	1.400	2.000	200	200	0	4.000	0	**7.800**
Total Geral	**8.000**	**29.900**	**16.600**	**40.300**	**11.000**	**19.600**	**9.600**	**135.000**

Fonte: Autor (2022).

A Figura 8 representa de forma gráfica os dados contidos na Tabela **2**. Como pode ser visto no gráfico, houve no horizonte retratado, um aumento da demanda entre

Novembro e Fevereiro. Esta demanda é fruto das férias escolares, em que os professores e servidores não frequentam os colégios diariamente e as obras podem ser realizadas sem influência no andamento das atividades escolares, embora não seja registrado neste trabalho, esta representa uma demanda sazonal.

Figura 8 – Carga média transportada por UC
Fonte: Autor (2022).



3.4 DESENVOLVIMENTO DO PLI

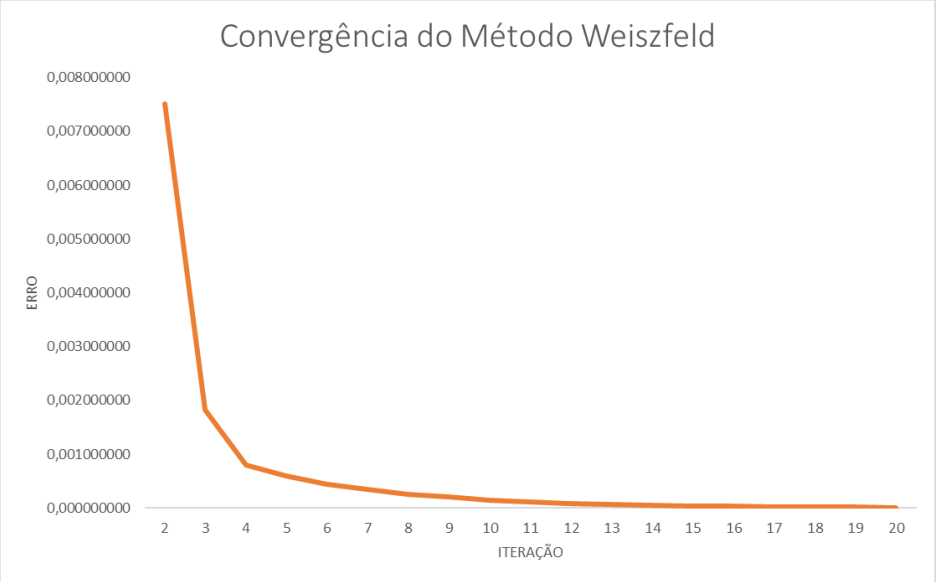
Como discutido no Capítulo 2, o PLI para localização do almoxarifado central, objeto de estudo neste trabalho pode ser resolvido usando como pontos de partida o Método da Mediana, do Centro de Gravidade e o Método de Weiszfeld.

Considerando os dados apresentados na Tabela 1, os cálculos do PLI utilizando o Método da Mediana (seção 2.2.1.1) podem ser vistos no Anexo A e resulta na localização $L_M = (-21{,}76858, -43{,}373220)$.

Uma segunda sugestão para os valores das coordenadas da nova instalação, é utilizando o método Weiszfeld (seção 2.2.1.2). Este método utiliza a distância Euclidiana, e parte das coordenadas iniciais do método centro de gravidade. O desenvolvimento do PLI pelo Método de Weiszfeld pode ser visto no Anexo B.

Na figura 10 pode-se ver a curva de convergência do algoritmo utilizado para resolver o PLI em função dos erros calculados a cada iteração. Observa-se que a curva é decrescente e o erro tende a zero. Para este trabalho o limite do erro a ser considerado foi de 10^{-5} , resultando como solução do PLI a localização $L_w = (-21{,}765740, -43{,}371745)$.

Figura 9 – Curva de convergência do Método Weiszfeld
Fonte: Autor (2022).



Uma terceira sugestão de localização para a nova instalação do almoxarifado central é a obtida considerando os dados de localização geográfica apresentada na Tabela 3 e o volume médio anual demandado por cada UC, conforme Tabela 2. Essa sugestão de localização faz uso do método centro de gravidade discutido na seção 2.2.1.3. A partir da Eq. (16) e Eq. (17) a localização sugerida pelo método da gravidade é $L_{CG} = (-21{,}75773, -43{,}37341)$. O

desenvolvimento do PLI considerando o Método Centro de Gravidade pode ser visto no Anexo C.

Os resultados encontrados com os Métodos da Mediana, Weisfeld e Centro de Gravidade, podem ser vistos na tabela 5.

Tabela 3 – Pontos geográficos resultantes da aplicação dos métodos

Método	Latitude	Longitude
Mediana (L_M)	$-21{,}76858$	$-43{,}373220$
Weiszfeld (L_w)	$-21{,}765740$	$-43{,}371745$
Centro de gravidade (L_{CG})	$-21{,}75773$	$-43{,}37341$

Fonte: Autor (2022).

Na Figura 10 pode-se ver as sugestões de localização apresentadas por cada um dos métodos analisados.

Figura 10 – Localizações dos resultados dos métodos utilizados
Fonte: Autor (2022).

Com as três sugestões de localização obtidas ($L_M, L_{w,}L_{CG}$) pode-se realizar uma análise de sensibilidade com o intuito de se estimar o resultado gerado quando se adota a distância real entre as UC's e as localizações sugeridas. Na Tabela 6 , estão indicadas as distâncias reais entre

cada UC e as localizações sugeridas além do produto carga x distância pode ser observado a

Unidade (i)	w_i (kg)	$d(L_M, P_i)$ (km)	CD_i^M	$d(L_w, P_i)$ (km)	CD_i^w	$d(L_{CG}, P_i)$ (km)	CD_i^{CG}
Unidade 1	8.000	5,7	45.600	4,5	36.000	4,1	32.800
Unidade 2	29.900	5,8	173.420	4,6	137.540	4,1	122.590
Unidade 3	16.600	6,5	107.900	6,0	99.600	5,8	96.280
Unidade 4	40.300	2,4	96.720	2,4	96.720	3,9	157.170
Unidade 5	11.000	5,5	60.500	4,6	50.600	4,7	51.700
Unidade 6	19.600	1,9	37.240	1,3	25.480	3,0	58.800
Unidade 7	9.600	17,2	165.120	15,6	149.760	16,2	155.520
Soma	135.000		**686.500**		**595.700**		**674.860**

aplicação deste método, que resulta como melhor localização de menor valor carga x distância (CD) obtidas em cada caso.

Pode-se observar na Tabela 6 que ao considerar a distância real[1], a localização indicada pelo Método Weiszfeld apresenta o melhor resultado de sensibilidade dentre das estimativas de localização, seguida pela localização indicada pelo Método do Centro de Gravidade, ou seja, $\sum_{i=1}^{m} w_i * d * (L_w, P_i) < \sum_{i=1}^{m} w_i * d * (L_{CG}, P_i) < \sum_{i=1}^{m} w_i * d * (L_M, P_i)$.

Tabela 4 – Aplicação do Método carga x distância

Fonte: Autor (2022).

3.5 ANÁLISE QUALITATIVA DA LOCALIZAÇÃO

Para se definir um local ótimo para instalação de um almoxarifado, não só apenas os cálculos quantitativos para redução de custos de transportes são necessários, uma análise qualitativa das localizações apontadas também deve ser realizada.

Em primeiro plano é necessário um estudo a respeito a infraestrutura local necessária para dar suporte a operação do estoque, sendo esta definida pela rede de transporte local, condições das vias, disponibilidade de local que atenda a demanda solicitada, etc. A região definida pela análise quantitativa, centro oeste da cidade de Juiz de Fora, apresenta condições

[1] Distância real obtida via Google Maps.

de vias favoráveis para deslocamento de caminhões e veículos de maior porte, além disso, o local indicado pelo Método de Weiszfeld é uma região onde encontram-se grandes galpões, almoxarifados de outras empresas da região, o que corrobora para a instalação do estoque objeto de estudo deste trabalho. Nesta localização, há disponibilidade de terrenos de 350 m².

Outro ponto a ser analisado é em relação a disponibilidade e qualificação de mão de obra no local. Por se tratar de uma região próxima a região central e próxima a bairros residenciais, conta com acesso a rede de transporte público, o que auxilia no deslocamento e acesso da mão de obra. Além disso, não é necessária uma mão de obra sofisticada para o processo de estocagem, ao contrário do que se possa requerer para algumas outras manufaturas. Pode-se citar também que o custo da mão de obra na região não é mais alta do que em outras regiões da cidade.

O ponto de instalação sugerido pelo Método da Mediana também se localiza na região oeste da cidade, porém em um ponto onde não há disponibilidade de terrenos que se adequem ao tamanho necessário de almoxarifado. Além disso, o ponto encontra-se em uma região de condomínios residenciais, o que não é o ideal para se instalar um centro de distribuição devido a ruídos e alta movimentação de veículos de grande porte.

No ponto encontrado pelo Método Centro de Gravidade, existem disponibilidades de terrenos de 500 m² para aquisição; porém, os terrenos disponíveis encontram-se dentro de condomínios residenciais, o que leva à mesma questão encontrada pelo ponto sugerido pelo Método da Mediana.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho investigou algumas das estratégias mais usadas de localização de instalações destinadas à localização de armazém central que atende a um conjunto pré-definido de filiais. Foram discutidos três métodos quantitativos para resolução de problemas de localização de instalações, sendo eles: o Método da Mediana, Método de Weiszfeld e Método Centro de Gravidade.

Foi apresentado um estudo de caso onde se buscou identificar uma localização para a instalação de um almoxarifado privado de uma rede de ensino com sete unidades consumidoras da cidade de Juiz de Fora, MG, através da resolução de um problema real de localização de instalações. A partir dos resultados sugeridos pelos métodos de localização investigados foi conduzida uma análise de sensibilidade considerando os volumes transportados estimados e as distâncias reais entre as unidades consumidoras e as localizações apontadas por cada um dos métodos. A localização indicada pelo Método Weiszfeld apresentou o melhor resultado de sensibilidade dentre as estimativas de localização, seguida pela localização indicada pelo Método do Centro de Gravidade. Além dos resultados quantitativos fornecidos pelos métodos de localização de instalações investigados, também foram considerados os fatores qualitativos de localização sugerida.

As análises conduzidas neste trabalho, considerando os resultados quantitativos provenientes da aplicação dos métodos de localização de instalações investigados e as questões locacionais qualitativas apresentadas, sugerem que a melhor localização para o almoxarifado privado da rede de ensino objeto do estudo de caso é a região oeste da cidade, na proximidade dos bairros Borboleta, Granvile, Bosque Imperial, Martelos e Adolfo Vireque.

Em relação a utilização dos métodos de localização de instalações considerados neste trabalho, pode-se concluir que por se tratar de uma região de estudo relativamente pequena, ou seja, os limites de uma cidade, as localizações sugeridas pelos métodos convergiram para uma mesma região da cidade, fato já esperado. Consequentemente, a decisão final para a localização da instalação requer uma análise mais apurada dos fatores locacionais diferentes do custo de deslocamento das cargas, ou seja, torna-se decisivo refinar o resultado obtido com os métodos quantitativos de localização de instalações considerando a disponibilidade de imóveis, custos de aluguel ou aquisição, receptividade da vizinhança, etc.

Outros fatores interessantes podem ser utilizados para apoiar a tomada de decisão para instalação de almoxarifados centrais em trabalhos futuros, tais como, utilizar outros métodos quantitativos para comparação com os métodos já utilizados neste trabalho, a incorporação de outros critérios locacionais como, p.ex., riscos atrelados aos empreendimentos potenciais.

Também poderia se considerar, além de reduzir os custos de transporte relacionados às distâncias, abordar outros tipos de custos como: custos de armazenagem e movimentação de materiais, administração etc., ou até mesmo considerações sociais, políticas e ambientais, baseadas em zoneamentos e nível de acessibilidade, por exemplo.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. R. X.; ALVES, J. M. Definição de Localidade para instalação Industrial com o Apoio do Método de Análise Hierárquica (AHP). **Prod.**, v. 25, n. 1, p. 13-26, 2015.

BALLOU, R.H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**: planejamento, organização e logística empresarial. 5. ed. Tradução: Elias Pereira. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BRANDEAU, M. L.; CHIU, S. S. An Overview of Representative Problems in Location Research. **Management Science**, v. 35, p. 645-674, 1989.

CIRINO, S. *et al.* Modelo não linear de localização de instalações de serviços de saúde com indicador de acessibilidade incorporado. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 34, n. 3, 2018.

DIAS, Marco Aurélio P. **Administração de materiais**: uma abordagem logística. 4 ed..São Paulo:Atlas, 1993.

FERRAMENTAS DA QUALIDADE. **5S**. 2018. Disponível em: <https://ferramentasdaqualidade.org/5s/>. Acesso em: 5 set. 2018.

GAPSKI, L. O. **Controle de nível de estoque no setor varejista com base no gerenciamento do inventário pelo fornecedor**: aplicação do modelo no A. Angeloni Cia Ltda e Procter & Gamble S. A. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

HERAGU, S. S. Facilities Design. **Second edition**. Louisville, 628 p., 2006.

IANONNI, A. P.; MORABITO, R. Otimização da localização das bases de ambulâncias e do dimensionamento das suas regiões de cobertura em rodovias. **Production**, v. 18, p. 47–63, 2008.

MAPA, S. M. S. **Localização-alocação de Instalações com Sistema de Informações Geográficas e Modelagem Matemática**. 142p. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2007.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

MELO, F. C. C; LIMA, A. K. C; FERREIRA, J. S. C. Decisão de Localização de Escolas com uso de Sistema de Informação Geográfica e Análise de Agrupamentos. HOLOS, v. 04, n. 34, 2018.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

PAOLESCHI, B. **Estoques e Armazenagem**. Érica; 1ª ed., 2018.

RICHARDS, G. **Warehouse management**: a complete guide to improving efficiency and minimize costs in the modern warehouse. Kogan Page Publishers: 2th ed., 2017.

ROSA, I.; ABREU, I., PEDROZO, I. Avaliação da localização do centro de distribuição da empresa AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia em relação aos depósitos regionais. **Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria**, v. 9, n. 3, p. 356-371, 2016.

TOMPKINS, J. A. **Facilities planning**. J. Wiley: 4th ed., 2010.

USP – Universidade de São Paulo. **Localização De Instalações**. Disciplinas USP. 2012. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5169447/mod_resource/content/1/LOCALIZA%C3%87%C3%83O%20DE%20INSTALA%C3%87%C3%95ES%20-%20TEXTO.pdf>.

ANEXO A

Utilizando o passo a passo do método da mediana apresentado em 2.2.2.1, inicialmente foi listada, em ordem crescente as coordenadas x das instalações existentes, como poder ser visto na Tabela A1.

Tabela A1 – Coordenadas x em ordem crescente

Unidade consumidora (UC)	**Coordenadas Geográfica** latitude
4	-21,77240
6	-21,77219
5	-21,76858
1	-21,75722
2	-21,75694
3	-21,74056
7	-21,68671

Fonte: Autor (2022).

Em seguida, os pesos foram colocados na ordem das UC's encontradas e foi calculado o peso cumulativo, a fim de encontrar a coordenada em que o peso cumulativo fosse igual ou superior ao peso total.

Tabela A2 – Volumes cumulativos de x

UC's	w_i	w_i cumulativo
4	40.300	**40.300**
6	19.600	**59.900**
5	11.000	**70.900**
1	8.000	**78.900**
2	29.900	**108.800**
3	16.600	**125.400**
7	9.600	**135.000**

Fonte: Autor (2022).

Peso total = 135.000kg

Peso total/2 = 67.500kg – coordenada UC 5

O mesmo se repetiu para a coordenada das longitudes e pode ser visto nas Tabela A3 e Tabela A4.

Tabela A3 – Coordenadas y em ordem crescente

Unidade consumidora (UC)	**Coordenadas Geográfica** longitude
7	-43,435680
4	-43,384470
6	-43,37322
3	-43,37068
5	-43,35545
2	-43,35256
1	-43,35175

Fonte: Autor (2022).

Tabela A4 – Volumes cumulativos y

UC's	w_i	w_i cumulativo
7	9.600	**9.600**
4	40.300	**49.900**
6	19.600	**69.500**
3	16.600	**86.100**
5	11.000	**97.100**
2	29.900	**127.000**
1	8.000	**135.000**

Fonte: Autor (2022).

Coordenada UC 6 = -43,373220

A localização ótima da nova instalação é dada pelas *j*-ésima e *k*-ésima coordenadas encontradas com os passos anteriores.

$$L_M = (-21{,}76858, -43{,}373220)$$

ANEXO B

Para os cálculos do Método de Weiszfeld, foram utilizadas as Eqs. 13 e 14, que resultaram na Tabela A5, em que a iteração foi parada quando o erro foi inferior a 10^{-5}.

Tabela A5 – Iterações do Método de Weiszfeld

k	x	y	erro
1	-21,75772594074	-43,37341157778	
2	-21,76242163201	-43,37058721813	0,007520051
3	-21,76394137320	-43,37028623153	0,001820728
4	-21,76452373668	-43,37051087232	0,000807004
5	-21,76484074357	-43,37078521635	0,000591351
6	-21,76505851807	-43,37101573610	0,000448294
7	-21,76522159169	-43,37119506382	0,000342401
8	-21,76534655410	-43,37133181087	0,000261709
9	-21,76544268647	-43,37143556295	0,000199884
10	-21,76551656189	-43,37151420781	0,000152520
11	-21,76557321882	-43,37157383067	0,000116280
12	-21,76561658652	-43,37161905019	0,000088587
13	-21,76564972847	-43,37165335925	0,000067451
14	-21,76567502313	-43,37167939897	0,000051334
15	-21,76569430904	-43,37169916780	0,000039055
16	-21,76570900204	-43,37171417908	0,000029704
17	-21,76572018915	-43,37172557966	0,000022588
18	-21,76572870292	-43,37173423915	0,000017173
19	-21,76573517989	-43,37174081726	0,000013055
20	-21,76574010599	-43,37174581465	0,000009923

Fonte: Autor (2022).

Os valores de localização ótimos serão dados pelas coordenadas *x* e *y* encontradas foram:

$$L_w = (-21{,}765740, -43{,}371745)$$

ANEXO C

Cálculos Método Centro de gravidade:

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^{m} a_i w_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i}$$

$$x^* = \frac{\begin{gathered}(-21{,}75722) * 8000 + (-21{,}75694) * 29900 + (-2174056) * 16600 + \\ (-21{,}7724) * 40300 + (-21{,}76858) * 11000 + (-21{,}77219) * 19600 + \\ (-21{,}68671) * 9600\end{gathered}}{8000 + 29900 + 16600 + 40300 + 11000 + 19600 + 9600}$$

$$x^* = \frac{-2937293{,}00}{135000}$$

$$x^* = -21{,}75773$$

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^{m} b_i w_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i}.$$

$$y^* = \frac{\begin{gathered}(-43{,}35175) * 8000 + (-43{,}35256) * 29900 + (-43{,}37068) * 16600 + \\ (-43{,}38447) * 40300 + (-43{,}35545) * 11000 + (-43{,}37322) * 19600 + \\ (-43{,}43568) * 9600\end{gathered}}{8000 + 29900 + 16600 + 40300 + 11000 + 19600 + 9600}$$

$$y^* = \frac{-5855410{,}56}{135000}$$

$$y^* = -43{,}37341$$

$$L_{CG} = (-21{,}75773, -43{,}37341)$$

ANEXO D

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 24 de Junho de 2022.

Ana Paula Monachesi Ramos	201649029
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)	Matrícula
Ana Paula Monachesi Ramos	019.865.246-12
ASSINATURA	CPF

[1] LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.