

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA

ANDRÉ SACHETTI

APLICAÇÃO DO QUANTUM GIS PARA ANÁLISE DA LOCALIZAÇÃO DE
UM ARMAZÉM CENTRAL

Joinville

2024

ANDRÉ SACHETTI

APLICAÇÃO DO QUANTUM GIS PARA ANÁLISE DA LOCALIZAÇÃO DE
UM ARMAZÉM CENTRAL

Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Transportes e Logística, do Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Simone Becker
Lopes

Coorientadora: Dra. Elisete Santos
da Silva Zagheni

Joinville

2024

ANDRÉ SACHETTI

APLICAÇÃO DO QUANTUM GIS PARA ANÁLISE DA LOCALIZAÇÃO DE
UM ARMAZÉM CENTRAL

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Transportes e Logística, do Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Joinville (SC), 05 de dezembro de
2024.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Simone Becker Lopes
Orientadora/Presidente
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Dra. Elisete Santos da Silva Zagheni
Coorientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Dra. Christiane Wenck Nogueira Fernandes
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Eduardo Baptista Ludwinski
Membro
Nidec Global Appliance

Eng. Murilo Colin da Silveira
Membro
Urban Analytics and Complex Systems

Dedico este trabalho à minha mãe que esteve do meu lado todos os dias durante a graduação.

AGRADECIMENTOS

Expresso aqui meus agradecimentos a todos que fizeram parte nesse ciclo da minha vida:

Aos meus pais, por me proporcionarem a oportunidade de estudar, pelo apoio incondicional durante os anos de graduação e pela educação que me deram.

Às minhas orientadoras, Simone e Elisete, pela orientação acadêmica, apoio e confiança.

À Patricia Angélica Basso Rizzo e ao Eduardo Baptista Ludwinski, da Nidec, que me encorajaram todos os dias a finalizar o estudo.

À minha namorada, Jade, por sempre estar do meu lado e me apoiar incondicionalmente em todos os momentos.

RESUMO

A definição da localização ideal de um armazém central é um desafio logístico essencial para reduzir custos e melhorar a eficiência operacional. Este trabalho teve como objetivo analisar a centralização de armazéns de uma multinacional japonesa do setor de motores e compressores na Europa, identificando o ponto ideal para a implantação de um Central Hub. A metodologia empregada incluiu o uso do método do centroide, que foi aplicado através de um plugin desenvolvido especificamente para o software QGIS. Essa ferramenta integrou dados geográficos e comerciais, permitindo uma análise precisa e fundamentada. Para a avaliação, foram considerados quatro cenários distintos, envolvendo a redução do número de armazéns de oito para três ou quatro, com foco no impacto logístico e na centralidade das propostas feitas pela empresa. A distância euclidiana foi adotada como indicador de desempenho para medir a proximidade entre os pontos centrais calculados e as localizações propostas, proporcionando uma análise clara e objetiva. Entre os cenários analisados, Estrasburgo destacou-se como a melhor localização, ficando a apenas 87,4 km do ponto central calculado. Essa proximidade evidenciou sua superioridade em termos de eficiência logística em comparação com outras opções propostas, que apresentaram distâncias significativamente maiores e menor aderência às necessidades operacionais. Os resultados do estudo reforçam a relevância de métodos quantitativos e ferramentas geoespaciais para a tomada de decisões logísticas estratégicas. A aplicação do método do centroide demonstrou ser fundamental para embasar escolhas mais racionais, contribuindo para a otimização dos custos de transporte, a redução de distâncias e a manutenção de elevados níveis de serviço. Este trabalho também destaca a importância de integrar tecnologia e análise matemática na gestão logística, permitindo que empresas enfrentem desafios complexos de maneira mais eficiente e competitiva.

Palavras-chave: centroide; logística; armazém; QGIS.

ABSTRACT

Defining the ideal location for a central warehouse is an essential logistical challenge to reduce costs and improve operational efficiency. This study aimed to analyze the centralization of warehouses for a Japanese multinational in the motor and compressor sector in Europe, identifying the ideal location for the establishment of a Central Hub. The methodology employed included the use of the centroid method, which was applied through a plugin specifically developed for the QGIS software. This tool integrated geographical and commercial data, enabling a precise and well-founded analysis. For the evaluation, four distinct scenarios were considered, involving the reduction of warehouses from eight to three or four, focusing on the logistical impact and the centrality of the proposals made by the company. Euclidean distance was adopted as a performance indicator to measure the proximity between the calculated central points and the proposed locations, providing a clear and objective analysis. Among the scenarios analyzed, Strasbourg stood out as the best location, being only 87.4 km from the calculated central point. This proximity highlighted its superiority in terms of logistical efficiency compared to other proposed options, which presented significantly greater distances and less alignment with operational needs. The results of the study reinforce the relevance of quantitative methods and geospatial tools for making strategic logistical decisions. The application of the centroid method proved to be fundamental for supporting more rational choices, contributing to the optimization of transportation costs, reduction of distances, and the maintenance of high service levels. This work also emphasizes the importance of integrating technology and mathematical analysis in logistics management, allowing companies to tackle complex challenges more efficiently and competitively.

Keywords: centroid; logistic; warehouse; QGIS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Interface do QGIS	13
Figura 2 - Ferramenta de Gerenciamento de Plugins no QGIS	15
Figura 3 - Etapas da Pesquisa	22
Figura 4 - Interface da Ferramenta Adicionar Camada Vetorial	27
Figura 5 - Ferramenta Adicionar Camada de Texto Delimitado.....	28
Figura 6 - Interface da Ferramenta Plugin Builder	30
Figura 7 - Exemplo da Modelagem da Interface do Plugin no Qt Designer ..	31
Figura 8 - Função de Preenchimento do Campo de Entrada do Plugin	32
Figura 9 - Função de Preenchimento do Campo de Entrada do Plugin	32
Figura 10 - Exemplo da Interface do Plugin Centroid Finder no QGIS	33
Figura 11 - Codificação do Método do Centroide	34
Figura 12 - Codificação da Adição do Ponto Calculado no QGIS.....	34
Figura 13 - Interface da Criação de Camadas.....	35
Figura 14 - Criação da Linha.	36
Figura 15 - Criação do Cálculo da Distância	37
Figura 16 - Tabela de Atributos	37
Figura 17 - Cenário Base Modelado.....	40
Figura 18 - Modelagem Cenário 1	42
Figura 19 - Modelagem Cenário 2	43
Figura 20 - Modelagem Cenário 3	44
Figura 21 - Modelagem Cenário 4	45
Figura 22 - Centroide do Cenário 1	47
Figura 23 - Distância do Centroide do Cenário 1.....	48
Figura 24 - Centroide do Cenário 2	49
Figura 25 - Distância do Centroide do Cenário 2.....	50
Figura 26 - Centroide do Cenário 3	51
Figura 27 - Distância do Centroide do Cenário 3.....	52
Figura 28 - Centroide do Cenário 4	53
Figura 29 - Distância do Centroide do Cenário 4.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre os cenários.....	55
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

SIG – Sistema de Informação Geográfica

PLI – Problema de Localização de Instalações

QGIS - Quantum GIS

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. OBJETIVOS.....	10
1.1.1. Objetivo Geral	10
1.1.2. Objetivos Específicos	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)	11
2.1.2. Quantum GIS	13
<u>2.1.2.1. Plug-ins no QGIS</u>	<u>14</u>
2.3. PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES (PLI).....	16
2.4. MÉTODO DO CENTROIDE.....	19
3. METODOLOGIA	21
3.1. ESTUDAR O CENÁRIO BASE	23
3.1.1. Aquisição da Base de Dados Alfanumérica	24
3.1.2. Aquisição da Base de Dados Vetoriais	24
3.1.3. Tratamento dos Dados	25
3.1.4. Modelagem do Cenário Base no QGIS	26
3.2. MAPEAMENTO DOS CENÁRIOS PROPOSTOS	28
3.3. PROPOR PONTOS CENTRAIS	29
3.3.1. Definição das Variáveis do Método do Centroide	29
3.3.2. Desenvolvimento do Plugin	30
<u>3.3.2.1. Desenvolvimento do Código de Execução do Plugin</u>	<u>33</u>
3.4. AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS.....	35
4. RESULTADOS E ANÁLISES	39
4.1. MODELAGEM DO CENÁRIO BASE	39
4.2. MODELAGEM DOS CENÁRIOS PROPOSTOS	41
4.2.1. Cenário Proposto 1	41
4.2.2. Cenário Proposto 2	42
4.2.3. Cenário Proposto 3	43
4.2.4. Cenário Proposto 4	44
4.3. AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS PROPOSTOS	46
4.3.1. Resultado do Cenário Proposto 1	46

4.3.2. Resultado do Cenário Proposto 2	49
4.3.3. Resultado do Cenário Proposto 3	51
4.3.4. Resultado do Cenário Proposto 4	53
4.4. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	55
5. CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

Uma das escolhas mais relevantes que uma organização precisa fazer, seja no setor industrial ou de serviços, está relacionada à sua localização. Essa é entendida como "a posição geográfica de uma operação em relação aos recursos, a outras operações ou aos clientes com os quais a empresa interage" (Slack et al., 1997).

Essa decisão, no entanto, não deve ser baseada apenas na intuição ou experiência, mas deve considerar métodos científicos que auxiliem na escolha estratégica do local ideal. Ferramentas matemáticas, como modelos de otimização e análise de localização, têm se mostrado essenciais para identificar pontos que minimizem custos operacionais e maximizem a eficiência logística. Segundo Chopra (2019), a aplicação de técnicas quantitativas permite equilibrar fatores como custos de transporte, níveis de serviço ao cliente e proximidade com fornecedores, resultando em decisões mais assertivas e alinhadas aos objetivos estratégicos da empresa.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são ferramentas fundamentais na análise espacial e no suporte à tomada de decisão. Longley et al. (2015) destacam que os SIG integram hardware, software e dados para analisar padrões geoespaciais, facilitando a visualização e a gestão de grandes volumes de informações georreferenciadas. Uma das aplicações do SIG está na análise de localização, especialmente em problemas logísticos, onde métodos matemáticos e sistemas como o Quantum GIS (QGIS) desempenham papéis essenciais.

O método do centroide, uma técnica amplamente utilizada em problemas de localização, é especialmente eficaz para determinar pontos centrais ideais que minimizem distâncias entre instalações, clientes e fornecedores. Sosa-Terrazas et al. (2018) destacam sua aplicação prática, como na centralização de centros de distribuição no México, utilizando SIG para visualização e validação dos resultados. Nesse contexto, o QGIS, com sua capacidade de integrar dados vetoriais e alfanuméricos, permite que análises como essas sejam realizadas de forma eficiente.

Este estudo se concentra na aplicação do método do centroide, por meio de um plugin desenvolvido no QGIS, para analisar a localização ideal de um armazém central de uma multinacional japonesa do setor de motores e compressores. A

empresa, com atuação global, enfrenta altos custos logísticos na Europa devido à dispersão de armazéns e busca reduzir essa quantidade. A área de estudo abrange o continente europeu, com particular atenção à França e a outras regiões onde estão localizados seus clientes e instalações fabris.

O problema central reside na análise e avaliação das localizações propostas para o armazém central. Para isso, foi proposto um modelo baseado em SIG, que utiliza o método do centroide para calcular pontos de menor distância relativa, considerando a distribuição geográfica e os pesos associados a cada cliente e a planta de produção. Este trabalho busca validar as decisões empíricas previamente tomadas pela empresa e propor alternativas mais fundamentadas, contribuindo para a eficiência e a competitividade da operação logística.

1.1. OBJETIVOS

Para resolver a problemática da redução dos números de armazéns num estudo de caso, propõe-se os seguintes objetivos.

1.1.1. Objetivo Geral

Desenvolver uma ferramenta que utilize o método do centroide para analisar diferentes cenários de localização de armazéns para uma empresa de motores comerciais e industriais.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Estudar as variáveis do cenário base: localização de armazéns, fábricas e clientes da empresa;
- Mapear os cenários propostos pela empresa;
- Desenvolver uma ferramenta de geoprocessamento (plug-in) para propor pontos centrais;
- Avaliar e comparar os diferentes cenários com base nos cenários propostos pela empresa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo introduz os conceitos fundamentais necessários para o desenvolvimento da problemática de centralização de armazéns, incluindo os conceitos de sistema de informação geográfica, a definição dos problemas de localização e seus métodos de solução.

2.1. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) desempenham um papel fundamental na análise e gestão de dados geoespaciais, sendo essenciais para a tomada de decisões em diversas áreas, como planejamento territorial, gestão de recursos e logística. De acordo com Longley et al. (2015), um SIG integra hardware, software, dados espaciais e operadores treinados, permitindo a coleta, armazenamento, análise e visualização de informações geográficas. Essa integração possibilita uma compreensão detalhada da distribuição espacial de fenômenos e suas inter-relações, facilitando decisões mais embasadas e eficazes.

No contexto do trabalho analisado, os SIGs se destacam como ferramentas indispensáveis para a análise logística, especialmente na identificação da localização ideal para terminais logísticos. Como apontado por Sosa-Terrazas et al. (2018), o uso de SIGs permite a modelagem e simulação de cenários logísticos, como o posicionamento estratégico de armazéns e a otimização de rotas de transporte. A capacidade dos SIGs de processar grandes volumes de dados georreferenciados é crucial para minimizar custos operacionais e melhorar a eficiência logística, especialmente em áreas urbanas congestionadas.

Carrara (2007) também destaca a importância dos SIGs no planejamento logístico, especialmente na modelagem de redes viárias e na análise da movimentação de cargas em áreas urbanas. A autora utilizou o software TransCAD como ferramenta para resolver problemas de localização de instalações e roteirização de veículos, destacando a importância dos SIGs para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes e sustentáveis no contexto urbano. Carrara (2007) enfatiza que o uso de dados georreferenciados permite identificar localizações estratégicas

que não só reduzem custos, mas também promovem um transporte mais eficiente e ambientalmente responsável.

Historicamente, os SIGs foram impulsionados pelo avanço do processamento computacional e pela necessidade crescente de integrar informações espaciais em áreas como transporte, planejamento urbano e gestão de recursos naturais. Tomlinson (2007) observa que a combinação de dados geoespaciais com métodos matemáticos, como o método do centróide, possibilita uma análise quantitativa mais precisa, otimizando decisões tanto estratégicas quanto operacionais.

Uma das principais vantagens dos SIGs é sua capacidade de gerar mapas temáticos, que são essenciais para identificar padrões e analisar vulnerabilidades ou oportunidades. Segundo Kulman (2015), esses mapas permitem não apenas visualizar dados, mas também fundamentar decisões em áreas como impactos ambientais, planejamento territorial e logística. Kulman (2015) utilizou softwares como SPRING e QGIS, em conjunto com a técnica de krigagem ordinária, para mapear áreas suscetíveis à estiagem e propor estratégias de mitigação, mostrando a ampla aplicabilidade dos SIGs em diversos contextos.

No setor logístico, os SIGs têm se mostrado essenciais, especialmente com a integração de ferramentas como o TransCAD e o Quantum GIS. Como observa Longley et al. (2015), essas ferramentas oferecem funcionalidades específicas para o planejamento de transportes, como a otimização de rotas e a análise de acessibilidade, permitindo que os SIGs sejam aplicados para resolver problemas de roteirização e localização, equilibrando custos operacionais e eficiência. No estudo de Carrara (2007), a aplicação do TransCAD permitiu a definição de localizações ótimas para terminais logísticos e a otimização das operações de transporte, contribuindo para a redução de congestionamentos e para a melhoria do fluxo urbano.

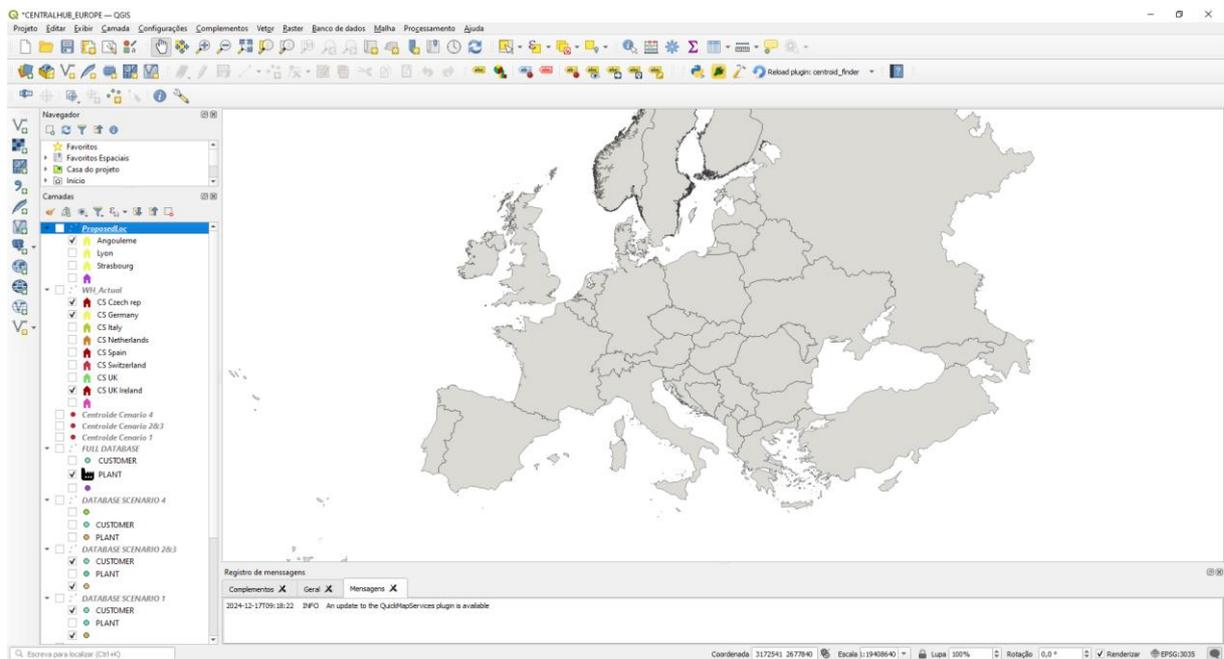
Além disso, a integração de bancos de dados espaciais com algoritmos de otimização é crucial para determinar localizações estratégicas para instalações logísticas. Essa integração permite a realização de análises detalhadas que promovem a redução de custos e o aumento da eficiência nas operações logísticas, como destaca Sosa-Terrazas et al. (2018). Carrara (2007) complementa que os SIGs são fundamentais na gestão dos conflitos entre as necessidades do transporte urbano de cargas e as restrições impostas pelas áreas centrais das cidades, promovendo soluções sustentáveis que melhoram a mobilidade urbana.

Por fim, os SIGs se consolidam como ferramentas estratégicas para soluções integradas e eficazes em logística e gestão territorial. Eles não só ajudam a reduzir custos operacionais, mas também promovem melhorias no nível de serviço através de análises precisas de localização, roteirização e desempenho logístico. Como observam Longley et al. (2015), o uso de mapas temáticos e análises integradas permite uma tomada de decisão mais eficiente e sustentável, o que reforça a importância dos SIGs em uma ampla gama de aplicações.

2.1.2. Quantum GIS

Quantum GIS, ou QGIS, é um software livre e de código aberto amplamente utilizado para SIG, que permite a visualização, edição e análise de dados espaciais em diversos formatos. Segundo a documentação oficial do QGIS (2024), o software disponibiliza recursos avançados para análise espacial e elaboração de mapas temáticos, permitindo uma fácil integração com outras ferramentas GIS. A Figura 1 demonstra a interface do QGIS.

Figura 1 - Interface do QGIS



Fonte: Autor (2024).

Além das ferramentas existentes, destaca-se a possibilidade de adicionar plug-ins conforme a necessidade do estudo, o que amplia a funcionalidade da

plataforma. Esse recurso também permite que novos plug-ins sejam desenvolvidos e adicionados à biblioteca. O QGIS disponibiliza ainda uma interface gráfica intuitiva para o trabalho com dados espaciais, além de uma variedade de ferramentas para processamento e análise de dados geográficos (QGIS User Guide, 2024).

As funcionalidades do QGIS são vastas e variadas, abrangendo diversas áreas do processamento e análise de dados geoespaciais (QGIS User Guide, 2024). A adaptabilidade do QGIS, aliada à participação dinâmica de sua comunidade de desenvolvedores, possibilita a constante integração de novas funcionalidades e plugins (Sutton; Dassau; Mears, 2009).

Dentro de suas funcionalidades, é destacada a Análise Espacial, onde são incorporadas funções de análise vetorial e raster, como buffers, interseções, sobreposições, análise de proximidade e interpolação (QGIS User Guide, 2024). Dentro do software é possível a edição de dados, possibilitando a criação e edição de dados vetoriais, incluindo pontos, linhas e polígonos (QGIS User Guide, 2024).

Outra funcionalidade do QGIS é possibilidade de produção de mapas, onde são permitidas a composição e impressão com layouts personalizados, suportando múltiplos tipos de saídas, incluindo impressões de alta qualidade e exportações para formatos digitais como PDF, SVG e imagens raster (QGIS User Guide, 2024).

A produção de mapas temáticos, outro recurso destacado na documentação do QGIS, foi igualmente essencial no trabalho de Kulman (2015), especialmente na representação espacial da estiagem e na definição de áreas de risco. Como enfatizado por Teixeira et al. (2019), a produção de mapas no QGIS facilita a comunicação visual de dados complexos, como foi feito para representar variáveis de risco e vulnerabilidade no estudo de Kulman (2015). Dessa forma, o QGIS não apenas permitiu uma análise aprofundada dos dados geoespaciais, mas também proporcionou uma visualização clara e acessível dos resultados, facilitando o processo de tomada de decisão no planejamento territorial.

2.1.2.1. Plug-ins no QGIS

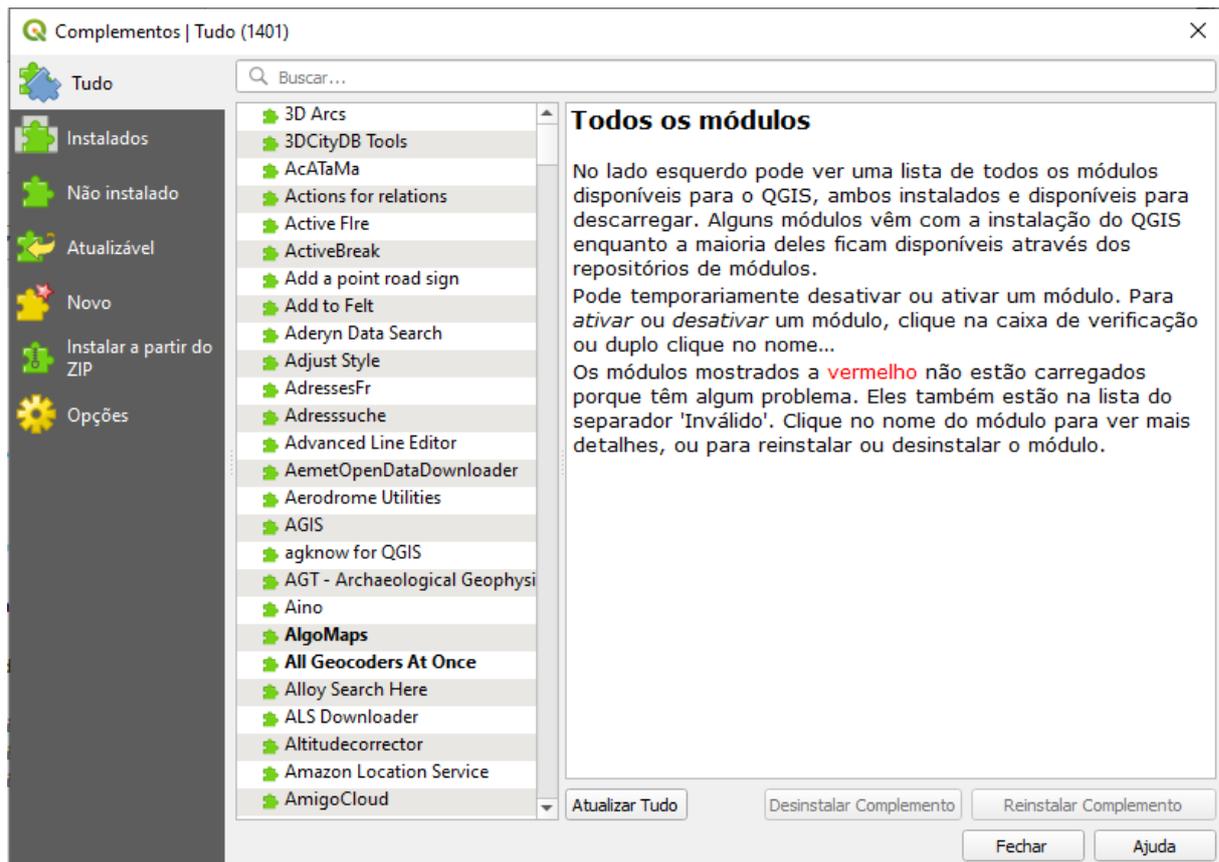
Os plugins surgiram como uma solução modular para expandir funcionalidades de softwares sem modificar o código principal. Essa estratégia impulsionou o uso de aplicações leves e adaptáveis, que podem ser personalizadas para atender a demandas específicas. A evolução dessa tecnologia possibilitou seu

uso em plataformas diversas, incluindo navegadores, sistemas de gerenciamento de conteúdo e softwares de geoprocessamento (Coutinho, 2022).

Os plugins são definidos como componentes auxiliares projetados para adicionar funcionalidades específicas a um software, aumentando sua flexibilidade e eficiência. De acordo com Coutinho (2022), esses complementos permitem otimização, segurança e personalização, sendo aplicados em áreas como web design, análise de dados e logística.

No contexto do QGIS, por exemplo, os plugins possibilitam integrar análises geoespaciais avançadas, oferecendo soluções que vão desde cálculos matemáticos, como o método do centroide, até visualizações complexas de dados (QGIS Development Team, 2024).

Figura 2 - Ferramenta de Gerenciamento de Plugins no QGIS



Fonte: Autor (2024).

Coutinho (2022) destaca que a principal vantagem dos plugins é sua modularidade, que permite que desenvolvedores de terceiros criem funcionalidades sem alterar o núcleo da aplicação. Isso é corroborado pelo diretório de plugins do

QGIS, que exemplifica como esses complementos são essenciais para ajustar plataformas às necessidades de usuários específicos

2.3. PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES (PLI)

Segundo Sosa-Terrazas *et al.* (2018), o desenvolvimento de métodos para o planejamento da localização de instalações tem sido um campo de pesquisa muito estudado. Foram criados métodos específicos para o planejamento da localização tanto de uma única instalação quanto de múltiplas instalações (Sosa-Terrazas *et al.*, 2018).

Pinheiro (2015) define o problema de localização de instalações como o estudo de uma área específica, considerando unidades de distribuição de produtos ou de prestação de serviços, com o objetivo de maximizar os lucros. A solução de um PLI, para o setor privado, pode resultar na melhor localização para lojas, armazéns e centros de distribuição, que buscam minimizar os custos de transporte (Imai, 2022)

Ballou (2006), classifica os problemas de localização em um número limitado de categorias, sendo elas: por força direcionadora, por número de instalações, descontinuidade das escolhas, grau de agregação de dados, horizonte de tempo. Já Daskin (2013) citado por Imai (2022), classifica os problemas de localização como problemas de cobertura, de centro, de mediana e de custo fixo.

Tendo em vista a vasta quantidade de estudos sobre os problemas de localização de instalações, esta fundamentação teórica se dedica às classificações definidas por Ballou (2006). Essas classificações fornecem um entendimento estruturado sobre os fatores críticos que influenciam a escolha da localização, considerando aspectos econômicos, logísticos e estratégicos.

Quanto à classificação por força direcionadora, é citado por Ballou (2006, p. 434) “a localização de instalações é quase sempre determinada por um fator fundamental. No caso da localização da fábrica e armazém, em geral predominam os fatores econômicos [...]”. Ou seja, para Ballou (2006), a localização ideal para instalação é onde estão concentrados pontos fortes economia.

Para a categoria por número de instalações, Ballou (2006) considera o número das instalações contidas no problema, sendo ele de instalação única ou múltipla, onde para Ballou (2006), instalação única é considerado o mais simples. Nessa categoria, os custos de transportes são o fator mais importante (Ballou, 2006).

Na categoria de descontinuidade das escolhas, é explicado por Ballou (2006) a existência de métodos que exploram todas as possíveis localizações ao longo de um continuum de espaço, até que seja encontrada a melhor solução. Em contrapartida a esses métodos, Ballou (2006) cita a existência de métodos discretos, onde em vez de avaliar todas as possíveis localizações, focam em uma lista de opções viáveis previamente identificadas. Essas opções são selecionadas com base em critérios de razoabilidade e viabilidade.

Para a categoria por grau de agregação de dados, Ballou (2006) cita que os problemas de localização geralmente implicam a avaliação de um número crescente de configurações de projetos de rede. Para gerenciar a complexidade do problema e ser capaz de resolvê-lo, é geralmente necessário utilizar relações agregadas de dados, conhecidos como clusters, ao abordar um problema prático de localização (BALLOU, 2006).

Como última categoria classificada por Ballou (2006), é citado o horizonte de tempo, onde é utilizado como base dados históricos de um período único (métodos estáticos), ou multi períodos (métodos dinâmicos), para que seja encontrada a localização.

Os problemas de localização, conforme classificados por Ballou (2006), incluem diversas categorias que estruturam a tomada de decisão em projetos logísticos, como força direcionadora, número de instalações, descontinuidade das escolhas, grau de agregação de dados e horizonte de tempo. Essas categorias são essenciais para compreender os desafios envolvidos na definição da localização ideal de instalações logísticas, como armazéns e centros de distribuição.

No trabalho em questão, o problema de localização abordado está diretamente ligado às categorias citadas por Ballou (2006). A força direcionadora no estudo é claramente econômica, pois busca-se reduzir custos logísticos ao identificar a melhor localização para um armazém central, equilibrando fatores como transporte, proximidade dos clientes e níveis de serviço. Isso está alinhado à perspectiva de que a localização é muitas vezes guiada por considerações financeiras e logísticas, conforme apontado por Ballou (2006, p. 434).

Além disso, a análise do número de instalações é um aspecto crucial no estudo. A transição de uma rede com múltiplos armazéns para um modelo mais centralizado reflete a busca por eficiência operacional. A categoria de descontinuidade das escolhas também é relevante, uma vez que o estudo utiliza métodos matemáticos,

como o do centroide, para explorar localizações viáveis, baseando-se em dados concretos e reduzindo a subjetividade das escolhas empíricas da empresa.

O grau de agregação de dados desempenha um papel significativo no trabalho, considerando o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e ferramentas como o QGIS para tratar grandes volumes de dados. Essa abordagem permite visualizar padrões e simular cenários de localização, facilitando a tomada de decisão com base em clusters geográficos e pesos associados a cada ponto de demanda.

Por fim, o horizonte de tempo influencia a escolha da localização ideal, já que a análise considera um período de dados suficiente para refletir padrões de demanda e volumes de transporte. A integração de ferramentas SIG e métodos quantitativos como o centroide permite analisar cenários futuros e ajustar estratégias para manter a competitividade.

Assim, o estudo conecta os problemas de localização teóricos às soluções práticas, demonstrando como as categorias propostas por Ballou (2006) podem ser operacionalizadas com o uso de tecnologias avançadas e métodos científicos, como o desenvolvido para o QGIS, que aprimoram a assertividade das decisões logísticas.

Para as categorias citadas acima, existem métodos de solução que encontram a melhor localização possível dado um cenário. Segundo Sosa-Terrazas *et al.* (2018), problemas de localização única podem ser resolvidos por vários métodos, destacando-se entre eles, os métodos: de centro de gravidade, de gradeamento e o do centroide.

2.4. MÉTODO DO CENTROIDE

O centroide é um conceito geométrico amplamente utilizado em diversos campos da engenharia, sendo definido como o ponto médio de uma figura geométrica onde a distribuição de área ou massa é uniforme (Aeroengenharia, 2023). Esse ponto também é referido como o "centro de gravidade" para corpos homogêneos e representa o local onde as forças aplicadas podem ser concentradas para simplificar cálculos de equilíbrio e dinâmica. No caso de figuras planas, o centroide é determinado pela média das coordenadas de seus pontos constituintes, sendo essencial na análise estrutural e no projeto de sistemas físicos.

O método do centroide, ou método do centro de gravidade, é uma aplicação quantitativa deste conceito para problemas de localização. Esse método considera as coordenadas de pontos de demanda e os volumes movimentados. Segundo Ballou (2006), o método é amplamente utilizado em logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos para identificar localizações estratégicas de instalações, como centros de distribuição e indústrias. As fórmulas para o cálculo das coordenadas podem ser vistas nas equações 1 e 2 abaixo.

$$X_C = \frac{\sum x_i w_i}{\sum w_i} \quad (1)$$

$$Y_C = \frac{\sum y_i w_i}{\sum w_i} \quad (2)$$

Onde X_C e Y_C são, respectivamente, as coordenadas X e Y do centroide; x_i e y_i são, respectivamente, as coordenadas x e y da i-ésima localização; e w_i , o peso ou volume associado a cada ponto.

Sosa-Terrazas et al. (2018), utiliza do método para encontrar localização ideal para um centro de distribuição de apostilas no México. No método, são considerados os pontos já existentes (fábricas, clientes, fornecedores etc.), a distância entre eles e o volume de mercadoria enviada (Sosa-Terrazas et al., 2018). Esse método pressupõe que os custos de transporte e produção são iguais, e não considera os custos de envio.

Cardoso et al. (2019) aplicaram o método do centroide para determinar a melhor localização para uma agroindústria de polpa de açaí no estado do Pará. Este estudo teve como objetivo otimizar custos de transporte e melhorar a logística em uma região de alta produção do fruto. A partir da análise das coordenadas dos principais municípios produtores de açaí e seus volumes de produção, o ponto ideal foi calculado. Os resultados indicaram Abaetetuba como a localização mais vantajosa, tanto pelos critérios quantitativos quanto qualitativos, com base em fatores como infraestrutura local e acesso às rotas de distribuição.

Outro exemplo é o estudo realizado por Souza, Pereira e Pontes (2015), que aplicaram o método do centroide para redefinir a localização de uma transportadora rodoviária de cargas no Ceará. O foco era identificar um local mais econômico para a instalação da empresa, considerando os custos de transporte entre a transportadora e 114 cidades de destino. O método permitiu calcular o ponto ideal, resultando em uma redução de 2,5% nos custos totais de transporte. Essa economia justificaria a mudança de localização, proporcionando maior eficiência logística e um melhor posicionamento competitivo para a empresa.

O centroide, enquanto conceito geométrico, e o método do centroide, enquanto ferramenta analítica, são fundamentais para resolver problemas de localização em engenharia e logística. Conforme evidenciado pelos estudos apresentados, a aplicação prática do método não apenas otimiza custos, mas também contribui para decisões estratégicas de longo prazo, garantindo eficiência operacional e competitividade. Assim, compreender e aplicar o método do centroide é essencial para profissionais que lidam com decisões de localização de instalações em diversos setores.

3. METODOLOGIA

A metodologia escolhida para o desenvolvimento deste trabalho foi o estudo de caso. Segundo Prodanov *et al.* (2013), um estudo de caso envolve a coleta e análise de dados de um problema, com a finalidade de investigar diferentes aspectos conforme o tema pesquisado. Este trabalho busca analisar de forma quantitativa cenários propostos quanto a localização de um armazém central de produtos acabados de uma multinacional do ramo de motores no continente europeu, que almeja reduzir os custos logísticos (transporte e armazenamento) e otimizar o controle dos materiais e das informações.

Para atingir tal propósito, será utilizado uma ferramenta de sistemas de informações geográficas (SIG), o QGIS, que como citado anteriormente, no Capítulo 2, é um software que permite a visualização, edição e análise de dados espaciais, segundo a documentação oficial do QGIS (2024).

A escolha do QGIS é dada por ser um software de código aberto, ou seja, sua utilização é gratuita, por portar uma interface intuitiva e, por conter uma ampla gama de ferramentas de análise geoespacial para avaliar os cenários propostos pela empresa.

A elaboração da metodologia se fez através das etapas de estudar o cenário base, que contém as sub etapas de obtenção e tratamento dos dados, e modelagem no QGIS, mapeamento dos cenários propostos, cálculo dos pontos centrais e avaliação e análise dos resultados. A Figura 1 ilustra a sequência do estudo.

Figura 3 - Etapas da Pesquisa



Fonte: Autor (2024).

A primeira etapa consiste em estudar o cenário base. Para alcançar esse objetivo, faz-se necessário a obtenção e tratamento de duas bases de dados: alfanumérica e vetorial, onde a base alfanumérica contém informações que descrevem e caracterizam entidades, no caso desse estudo, os clientes da empresa, e a base vetorial, que contém informações de geometria da área de estudo escolhida, sendo possível sua representação dentro de um SIG. Os detalhes dessa etapa serão discutidos na seção 3.1.

A fim de mapear os cenários propostos, faz-se necessário requisitar à equipe de projetos da empresa as opções de cenários a serem avaliados. Para o caso desse estudo, os cenários propostos consistem em quais armazéns serão fechados e qual a localização do novo armazém a ser implementado. É preciso entender os cenários propostos, para que seja manipulada e tratada a base de dados alfanumérica inicial para representar cada cenário. No caso deste estudo, as novas bases de dados alfanuméricas devem conter os clientes que o novo armazém de cada cenário irá atender.

Na terceira etapa, são propostos os pontos centrais aos clientes e plantas de produção da empresa, ou seja, a localização ideal para o novo armazém. Para que isso seja possível, é criado um plugin onde é calculado o ponto central a partir do método do centroide. Para melhor entendimento, um plugin é um componente de um software que adiciona funcionalidades ao programa, é também conhecido como complemento. O método do centroide foi escolhido para esse estudo por se encaixar

nas variáveis disponíveis para o cálculo, que serão apresentadas e discutidas nas próximas seções.

Por fim, a partir de ferramentas de geoprocessamento, é avaliada a distância do ponto central calculado à localização decidida pela empresa de forma empírica e, comparado os cenários para avaliar qual localização proposta pela empresa teve a melhor acurácia.

3.1. ESTUDAR O CENÁRIO BASE

Para que seja possível estudar as variáveis do cenário base, é necessário, obter uma base de dados alfanumérica contendo informações dos objetos a serem estudados, no caso deste estudo, os armazéns, clientes e plantas de produção da empresa. A segunda base de dados necessária, é a base de dados vetorial, onde estarão as informações geográficas (como fronteiras) da área de estudo, nesse caso, a área de abrangência corresponde ao continente europeu, sendo assim, possível a visualização do mapa no QGIS.

A base de dados alfanumérica deve ser tratada, de forma a obter como resultado, a latitude, longitude e um peso calculado. As informações de coordenadas geográficas (latitude e longitude) são necessárias para o cálculo do centroide e a visualização das localizações no QGIS, e o peso, necessário para o cálculo do centroide. Após o tratamento da base de dados alfanumérica, ambas as bases (vetorial e alfanumérica) serão importadas no QGIS, para que, com as ferramentas do software, o cenário seja modelado.

Nessa seção serão apresentados os detalhes dos processos necessários da etapa “Estudar o cenário base”, tais quais: aquisição e tratamento das diferentes bases de dados (alfanumérica e vetorial), e modelagem desse cenário dentro do QGIS.

3.1.1. Aquisição da Base de Dados Alfanumérica

Para um melhor entendimento dos dados alfanuméricos da empresa, é preciso entender como eles estão registrados no sistema. A empresa utiliza um sistema de Enterprise Resource Planning (ERP), que integra todos os setores, como finanças, compras, vendas, produção, recursos humanos, logística etc.

Dentro desse ERP, são registrados todos os faturamentos a partir da venda de produtos acabados aos clientes. Nesses registros, tem-se a informação da origem do produto (armazém de qual o produto foi expedido), com detalhes de cidade e país desse armazém, e de destino desse produto (cliente pelo qual o produto foi comprado), com, também, detalhes da cidade e país desse cliente. Além disso, tem-se a informação do volume de itens vendidos e o faturamento a partir dessa venda.

Como forma de obter a base alfanumérica, é necessário requisitar à empresa a base de dados com todos os faturamentos a partir dos armazéns como origem durante o período de um ano, para garantir que os dados de origem e destino estejam atualizados

Os dados de localização e faturamento são de suma importância para o método, já que a latitude e longitude serão utilizadas na fórmula do cálculo do centroide, e o faturamento será utilizado para calcular o peso, também presente na fórmula do centroide.

3.1.2. Aquisição da Base de Dados Vetoriais

Base de dados vetoriais são utilizadas para representar elementos do mundo real em um SIG, segundo a documentação oficial do QGIS (2024). A geometria de um objeto vetorial pode ser do tipo ponto, linha ou polígono. Essas bases vetoriais estão disponíveis em arquivos formato shapefile (.shp), que armazenam os dados desse vetor, contendo a informação sobre forma, posição e atributos de feições geográficas.

Para o estudo, é necessário a obtenção de uma base de dados vetorial do tipo polígono, que irá representar geograficamente a área de estudo, nesse caso, a área corresponde ao continente europeu. Essa base de dados deve conter informações de fronteiras para que seja possível a visualização dos países da área de estudo.

Para obter esses dados, faz-se necessária a procura dos arquivos shapefile em uma ferramenta de pesquisa. No caso deste estudo, foi encontrado disponível pelo site da Eurostat, website oficial da União Europeia, os arquivos shapefile com informações do continente europeu. O arquivo continha nome e código dos países, quantidade de habitantes, área e fronteiras de cada país.

3.1.3. Tratamento dos Dados

Como a base de dados vetoriais não necessita de tratamento, visto que as informações necessárias já estão presentes no arquivo baixado, o tratamento será focado na base alfanumérica fornecida pela empresa. O produto do tratamento, deve ser uma base limpa com as seguintes informações para os clientes, armazéns e fábricas: nome, cidade, país, latitude, longitude, faturamento (no caso de clientes) e volume de produção (no caso das fábricas), tipo (se é cliente, armazém ou fábrica) e um peso calculado. Para esse tratamento, foi utilizado o Google Sheets, por ter uma utilização de scripts mais simples e intuitiva.

O início do tratamento se dá através da criação de uma cópia da aba original a fim de preservar as informações originais. Em sequência, é necessário a remoção de informações duplicadas, a fim de garantir que não terá localizações repetidas. Dessa forma, teremos informações únicas dos armazéns, clientes e fábricas.

O segundo passo do tratamento é obter as coordenadas geográficas dos clientes, plantas de produção e armazéns. Para isso, é necessário utilizar um complemento do Google Sheets chamado Geocoding, que utiliza informações de cidade e país para encontrar a latitude e longitude. No caso deste estudo, foram selecionadas as colunas de cidade e país de origem, e após executar o Geocoding, colunas de latitude e longitude para cada informação foram adicionadas à base de dados.

Como terceiro passo do tratamento de dados, deve-se somar o faturamento de cada cliente utilizando a fórmula “=SUMIF” do Google Sheets, selecionando a coluna de faturamento como intervalo de soma. Essa fórmula deverá utilizar as informações da aba original, onde todos os faturamentos no período de um ano estarão preservados. Para as fábricas, o processo a ser seguido deve ser o mesmo do anterior, porém, alterando o intervalo de soma para volume de itens vendidos para o cliente “i”. No caso desse estudo, essa foi a premissa assumida para mensurar o

volume de produção da fábrica “i” para o cliente “j”. Para os armazéns, o valor deve ser nulo.

Para melhor visualização dentro do QGIS, faz-se necessário a criação de uma coluna “TYPE” caracterizando se a informação é proveniente de um cliente, planta de produção ou armazém.

Como último passo do tratamento, deve ser calculado o peso. Esse peso deve ser calculado para cada cliente como uma porcentagem do faturamento desse cliente em relação a soma do faturamento total. O mesmo deve ser feito para as plantas de produção, porém, considerando o volume de vendas. A fórmula utilizada neste estudo para o cálculo do peso, será detalhada no capítulo 4. A equação 3 a seguir demonstra o cálculo do peso realizado.

$$Peso_i = 1 + \frac{Faturamento_i}{Faturamento\ Total} \quad (3)$$

Onde:

Peso = o peso do cliente i;

Faturamento Total = a soma de todos os faturamentos;

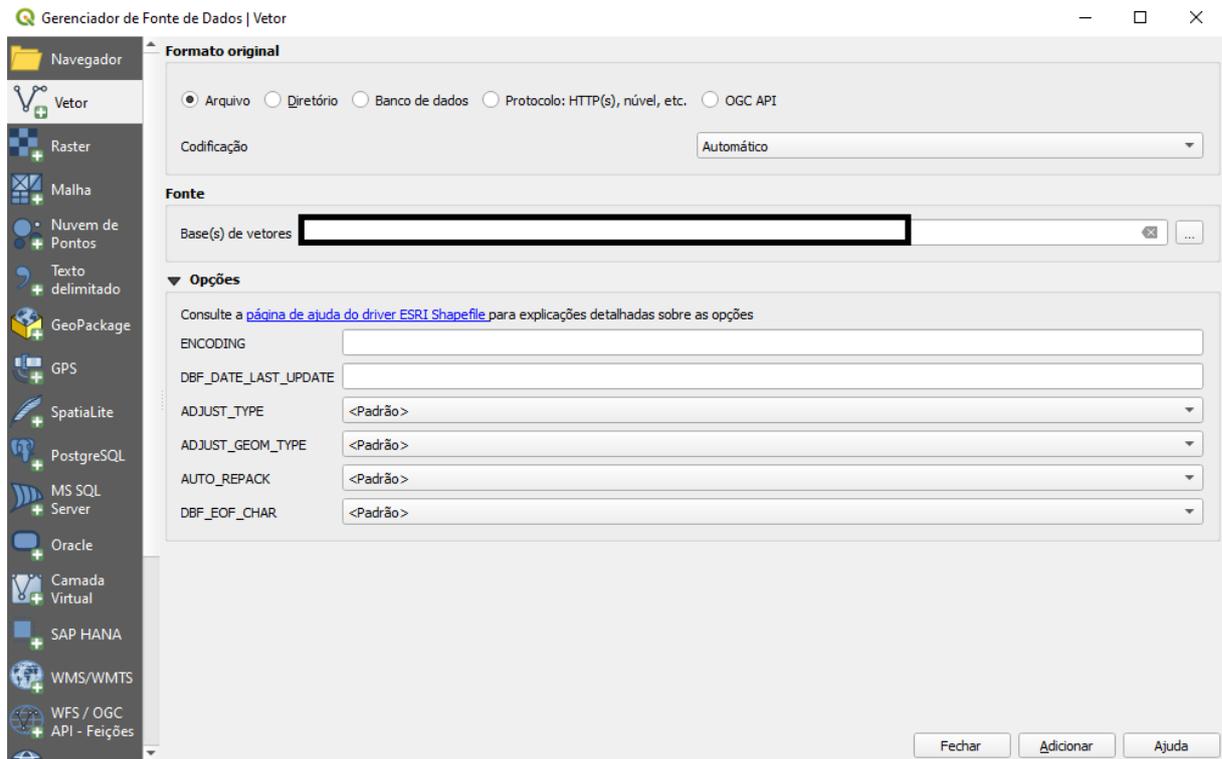
Faturamento = o faturamento do cliente i.

3.1.4. Modelagem do Cenário Base no QGIS

A fim de visualizar o cenário base no QGIS, é preciso importar as bases de dados, vetorial e alfanumérica, para o software. Para isso, faz-se necessário a utilização da ferramenta do QGIS, Adicionar Camada, onde a partir dela, podemos inserir vários tipos de camadas (vetoriais, raster, de texto etc.). As bases de dados obtidas anteriormente, seguirão processos diferentes para serem adicionadas ao QGIS.

Para a base de dados vetorial, é necessário a utilização da opção “Adicionar Camada Vetorial”, onde transformará a base vetorial em uma camada vetorial do tipo polígono, gerando o mapa da área de estudo. A Figura 2 demonstra a interface da ferramenta.

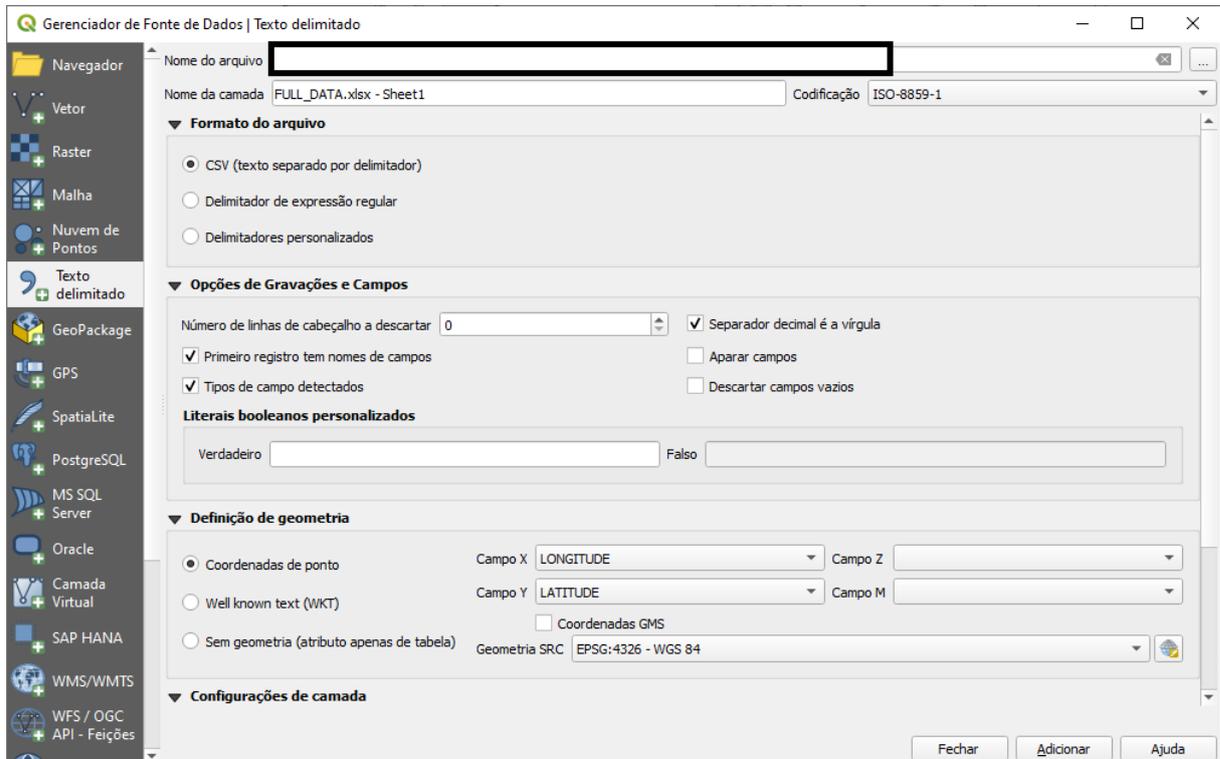
Figura 4 - Interface da Ferramenta Adicionar Camada Vetorial



Fonte: Autor (2024).

Para a base de dados alfanumérica, faz-se necessário o uso de outra opção, a “Adicionar Camada de Texto Delimitado”, que adiciona dados alfanuméricos a partir de uma base de dados em formato csv. Essa opção utilizará as informações de latitude e longitude para transformá-la em uma camada de pontos. A Figura 3 demonstra a interface da ferramenta.

Figura 5 - Ferramenta Adicionar Camada de Texto Delimitado



Fonte: Autor (2024).

3.2. MAPEAMENTO DOS CENÁRIOS PROPOSTOS

Com o objetivo de mapear os cenários propostos pela empresa a serem analisados, é necessário realizar reuniões com a equipe de projetos para que seja entendido a dinâmica dos cenários: quais armazéns serão fechados e qual a localização do armazém central. É de suma importância o entendimento de quais armazéns serão fechados em cada cenário, visto que o novo armazém irá atender os clientes dos armazéns que terão sua operação encerrada.

Após a obtenção da proposta dos cenários, deve-se criar uma base de dados alfanumérica para cada cenário. Faz-se necessário a criação de bases alfanuméricas alternativas, visto que o algoritmo a ser proposto nesse estudo, irá calcular um ponto central em relação às informações contidas em uma única base, ou seja, cada cenário deve conter a sua própria base de dados alfanumérica.

Para que sejam criadas as bases alfanuméricas alternativas, é preciso criar uma cópia da planilha do cenário base e para cada cenário, manter na base de dados apenas os clientes que serão atendidos pelo armazém proposto.

3.3. PROPOR PONTOS CENTRAIS

Para o entendimento do processo de propor os pontos centrais, é necessário primeiro entender o que é um plugin. Plugins são complementos de software que proporcionam a possibilidade de adaptar e modificar programas de computador, adicionando novas funções aos usuários.

No QGIS, é possível a instalação de plugins através de uma ampla biblioteca de complementos. Estes plugins são desenvolvidos pelos usuários com intuito de adicionar novas funcionalidades ao QGIS ou complementar as ferramentas já existentes no programa.

Como o objetivo do presente trabalho é calcular um ponto central em relação a uma camada de pontos, é necessário a criação de um plugin que execute esse cálculo, visto que as ferramentas de geoprocessamento encontradas no software, somente executam cálculos em relação à uma camada de polígonos.

Para a realização do cálculo do ponto central, é proposta a utilização do método do centroide. Segundo Ballou (2006), o método do centroide é uma técnica empregada em problemas de logística e distribuição, particularmente para determinar a localização ideal de instalações. A escolha do método, no caso desse estudo, se deu por sua simplicidade e facilidade de aplicação, além de ser o método que melhor se adequa às variáveis disponíveis.

3.3.1. Definição das Variáveis do Método do Centroide

A fim de calcular o centroide, é necessário definir quais serão as variáveis presentes na base de dados alfanumérica que serão utilizadas, baseando-se nas equações 6 e 7 presentes na seção 2.3.3.

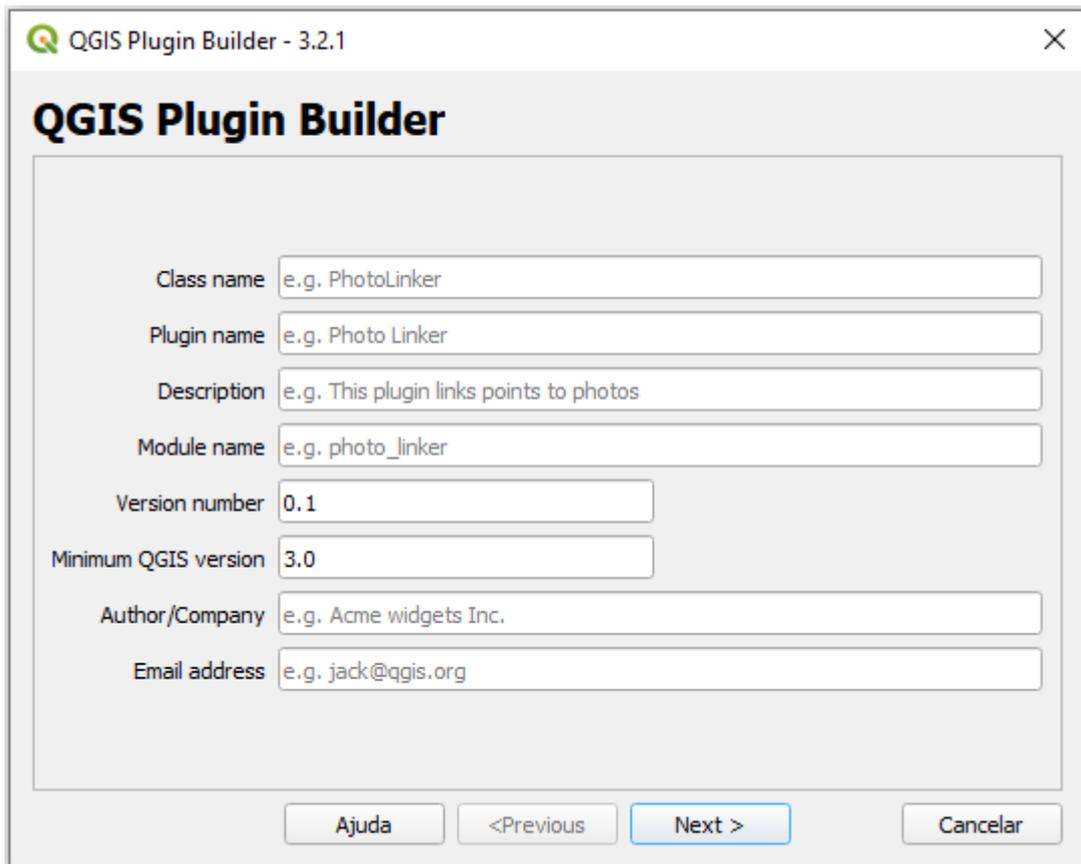
No caso deste estudo, as principais variáveis envolvidas são as coordenadas geográficas das localidades e os pesos associados a cada ponto, que representam a porcentagem do faturamento em relação ao faturamento total, para os clientes, e do volume de produção em relação ao volume de produção total, para as plantas de produção. Os pesos são importantes para definir a importância relativa de cada ponto.

Deve-se definir os pontos x e y como sendo longitude e latitude, respectivamente. Para os pesos, a variável a ser escolhida deve ser o peso calculado no tratamento da base de dados alfanumérica.

3.3.2. Desenvolvimento do Plugin

Para desenvolver o plugin que irá calcular o centroide em relação aos clientes de cada cenário, é necessário a utilização de outro plugin disponível no QGIS, o Plugin Builder. O Plugin Builder é um complemento que permite a criação de outros plugins, ele é utilizado como um ponto inicial do desenvolvimento, criando de forma inicial um template para plugins do QGIS, assim como arquivos para a manipulação do código que irá executar o plugin dentro do QGIS. A Figura 4 demonstra a interface do Plugin Builder.

Figura 6 - Interface da Ferramenta Plugin Builder



The image shows the QGIS Plugin Builder dialog box. The title bar reads "QGIS Plugin Builder - 3.2.1". The main title is "QGIS Plugin Builder". The form contains the following fields:

- Class name: e.g. PhotoLinker
- Plugin name: e.g. Photo Linker
- Description: e.g. This plugin links points to photos
- Module name: e.g. photo_linker
- Version number: 0.1
- Minimum QGIS version: 3.0
- Author/Company: e.g. Acme widgets Inc.
- Email address: e.g. jack@qgis.org

At the bottom, there are four buttons: "Ajuda", "<Previous", "Next >", and "Cancelar".

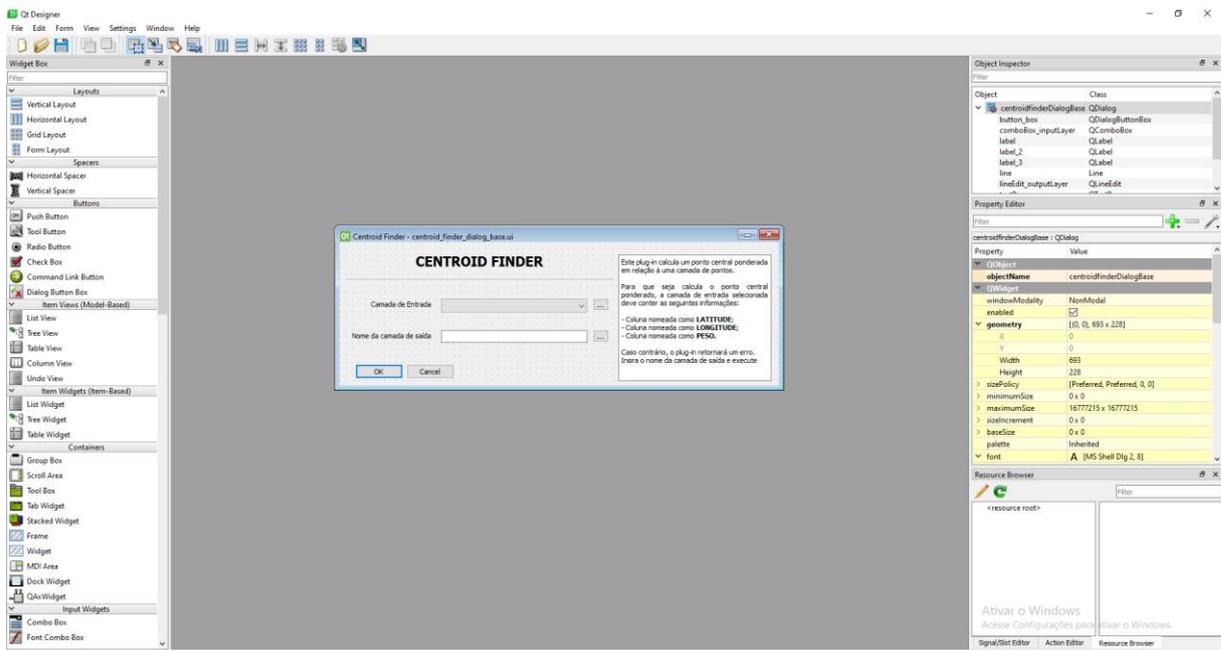
Fonte: Autor (2024).

Dentro do Plugin Builder, é preciso preencher informações como: nome do plugin, descrição, nome do módulo, nome e e-mail do autor, diretório onde arquivos ficarão salvos e repositório para publicação do plugin. Essas informações são necessárias para a criação e publicação do plugin. Para o caso desse estudo, o nome do plugin definido foi Centroid Finder.

Com o plugin inicialmente criado, é necessário a utilização da ferramenta Qt Designer, para a modelagem da interface do plugin. Qt Designer é uma ferramenta que permite criar interfaces de usuário gráficas. Com ele, é possível criar componentes gráficos arrastando e soltando widgets em um formulário vazio, e organizá-los em uma interface coerente. O Qt Designer pode ser instalado juntamente com o QGIS, no site oficial do QGIS.

A Figura 5 demonstra a interface modelada dentro do Qt Designer, onde deve conter um campo que recebe uma camada vetorial de pontos contendo as informações de latitude, longitude e peso, e um campo para inserir o nome da camada de saída.

Figura 7 - Exemplo da Modelagem da Interface do Plugin no Qt Designer



Fonte: Autor (2024).

Para esse estudo, será fornecido a base de dados alfanumérica de cada cenário como entrada, que ao ser importada ao QGIS foi convertida para uma camada de pontos, e como saída, será definido o cenário que o centroide representa.

Com a interface criada, é necessária a manipulação dos arquivos base, para que quando o plugin for executado, seja feito o reconhecimento das camadas presentes no projeto e sua inserção nos campos do plugin.

A manipulação do código deve ser feita na linguagem de programação Python, que é definida pelo QGIS como padrão para a criação de plugins. O código a ser manipulado, é o “_dialog.py” localizado na pasta do plugin. No caso desse estudo, o nome do arquivo está definido como “centroid_finder_dialog.py”.

Dentro do arquivo, é necessário a adição de uma função para preencher o campo de entrada com as camadas vetoriais presentes no projeto. A função pode ser vista na Figura 6.

Figura 8 - Função de Preenchimento do Campo de Entrada do Plugin

```
def populate_layers(self):
    """Preenche o combo box com as camadas vetoriais disponíveis no projeto QGIS."""
    layers = QgsProject.instance().mapLayers().values()
    for layer in layers:
        if layer.type() == layer.VectorLayer:
            self.comboBox_inputLayer.addItem(layer.name(), layer)
```

Fonte: Autor (2024).

Para o campo de saída, é preciso a adição de outra função para que o centroide gerado retorne o nome inserido pelo usuário. A função pode ser vista na Figura 7.

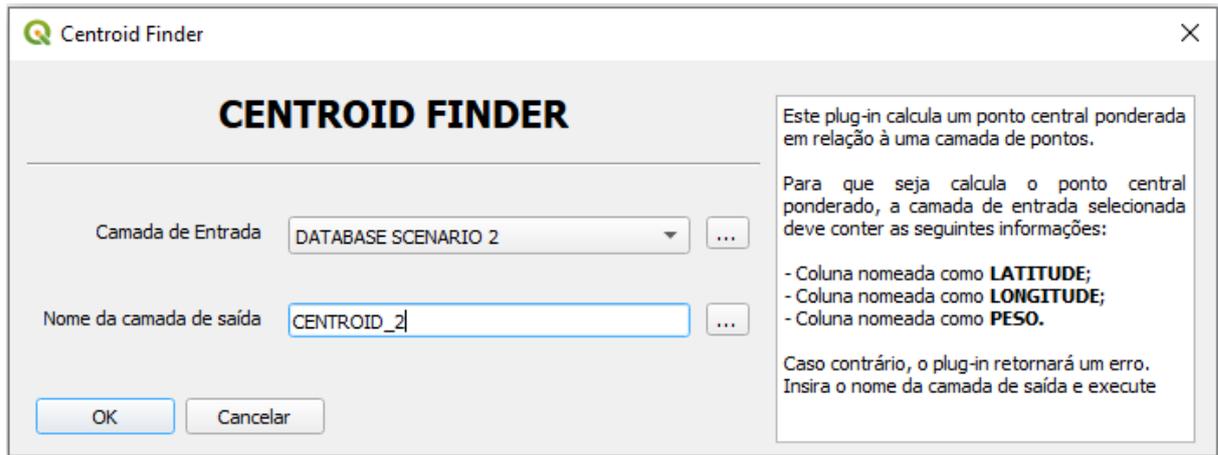
Figura 9 - Função de Preenchimento do Campo de Entrada do Plugin

```
def get_output_layer_name(self):
    """Retorna o nome da camada de saída inserido pelo usuário."""
    return self.lineEdit_outputLayer.text()
```

Fonte: Autor (2024).

A Figura 8 demonstra a interface do plugin com a manipulação do código das camadas de entrada e saída.

Figura 10 - Exemplo da Interface do Plugin Centroid Finder no QGIS



Fonte: Autor (2024).

3.3.2.1. Desenvolvimento do Código de Execução do Plugin

Com o objetivo de que o plugin execute o cálculo do centroide, é necessário a manipulação do código fonte do plugin. Um arquivo de código fonte padrão é previamente criado pelo Plugin Builder, contendo a função “run”, que executa as ações do plugin. É preciso adicionar o código realizado para o método do centroide dentro desta função para que o cálculo seja executado.

A Figura 9 demonstra a tradução do método do centroide para a linguagem do Python. O código recebe as variáveis definidas anteriormente, latitude, longitude e peso, executa a soma das latitudes e longitudes multiplicadas pelos pesos e faz a soma dos pesos, e por fim, calcula as coordenadas do centroide a partir de uma divisão das somas das latitudes e longitudes pelo peso. Para que seja evitado um resultado inexistente, é necessário adicionar um teste, que caso a soma dos pesos seja 0, o plugin termina a execução e um erro é retornado ao usuário. O código completo por ser visto no Apêndice A.

Figura 11 - Codificação do Método do Centroide

```

# Calcular o ponto central ponderado
soma_latidade_peso = 0
soma_longitude_peso = 0
soma_pesos = 0

for feature in input_layer.getFeatures():
    latitude = feature['LATITUDE']
    longitude = feature['LONGITUDE']
    peso = feature['PESO']

    soma_latidade_peso += latitude * peso
    soma_longitude_peso += longitude * peso
    soma_pesos += peso

if soma_pesos == 0:
    self.iface.messageBar().pushMessage("Erro", "A soma dos pesos é zero, cálculo impossível.", level=2)
    return

latitude_central = soma_latidade_peso / soma_pesos
longitude_central = soma_longitude_peso / soma_pesos

```

Fonte: Autor (2024).

Com o centroide calculado, é necessário a adição desse ponto no projeto do QGIS. A Figura 10 demonstra a sequência de código necessária para adicionar o ponto calculado como uma camada no QGIS contendo as informações de latitude e longitude encontradas.

Figura 12 - Codificação da Adição do Ponto Calculado no QGIS

```

# Criar o ponto central
ponto_central = QgsPointXY(longitude_central, latitude_central)
geometry = QgsGeometry.fromPointXY(ponto_central)

# Criar nova camada de saída com o ponto central
output_layer = QgsVectorLayer("Point?Crs=EPSG:4326", output_layer_name, "memory")
prov = output_layer.dataProvider()

# Adicionar os campos de latitude e longitude
prov.addAttributes([
    QgsField("LATITUDE", QVariant.Double),
    QgsField("LONGITUDE", QVariant.Double)
])
output_layer.updateFields()

# Criar a feição e adicionar à nova camada
central_feature = QgsFeature()
central_feature.setGeometry(geometry)
central_feature.setAttributes([latitude_central, longitude_central])
prov.addFeatures([central_feature])

# Adicionar a camada de saída ao projeto
QgsProject.instance().addMapLayer(output_layer)
self.iface.messageBar().pushMessage("Sucesso", "Ponto central ponderado adicionado ao projeto.", level=3)

```

Fonte: Autor (2024).

3.4. AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS

Com o objetivo de avaliar os cenários propostos, faz-se necessário a utilização de ferramentas de geoprocessamento para mensurar se a localização escolhida a partir de conhecimentos empíricos pela equipe do projeto da empresa, realmente se comporta como um ponto central aos clientes e plantas de produção em cada cenário. É fornecido pelo QGIS uma gama de ferramentas de geoprocessamento, onde são disponibilizadas ferramentas para análises vetoriais, de rede, geográficas, estatísticas, entre outras funções que fogem do escopo deste trabalho.

Para avaliar os cenários propostos pela empresa, será utilizado como indicador de desempenho a distância euclidiana entre o ponto central calculado e a localização escolhida. Esse indicador de desempenho foi escolhido devido ao entendimento de que a diferença entre a distância em linha reta e a distância real não impacta no resultado. Além disso, para a visualização em mapa, a distância em linha reta se mostra mais conveniente e clara.

Para isso, deve ser utilizada a ferramenta “Criar nova camada Shapefile”. O tipo de geometria da nova camada deve ser definido como “String de linha”. A Figura 11 demonstra a interface de criação de nova camada com a configuração ideal.

Figura 13 - Interface da Criação de Camadas

The screenshot shows the 'Nova camada shapefile' dialog box in QGIS. The configuration is as follows:

- Nome do arquivo: distancia-cen1-lyon
- Codificação de arquivo: UTF-8
- Tipo de geometria: String de linha
- Dimensões adicionais: Nenhum (selected), Z (+ valores M), valores M
- EPSG:4326 - WGS 84

Novo Campo

Nome			
Tipo	abc Texto (string)		
Comprimento	80	Precisão	

Adicionar campos à lista

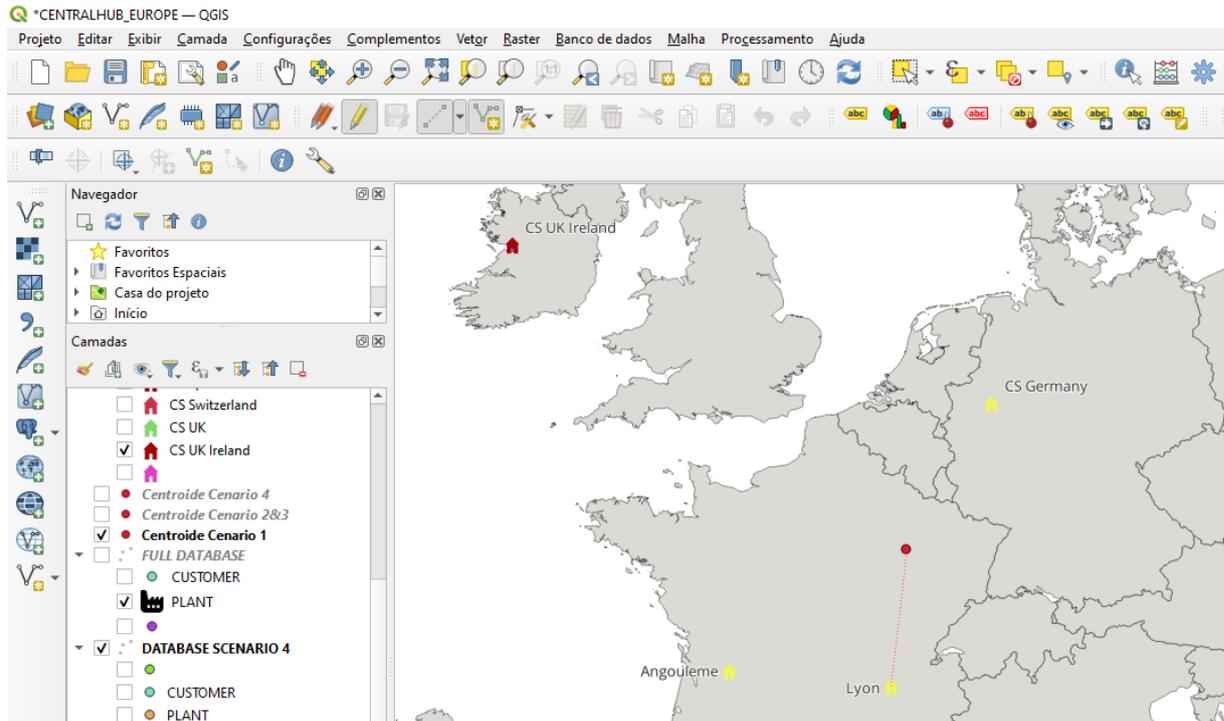
Lista de Campos

Nome	Tipo	Comprimento	Precisão
id	Integer	10	

Fonte: Autor (2024).

Após a criação da camada, é necessário criar a linha conectando o centroide calculado com a localização proposta. Para isso, deve-se utilizar a ferramenta de edição do QGIS para adicionar a linha, como demonstra a Figura 12.

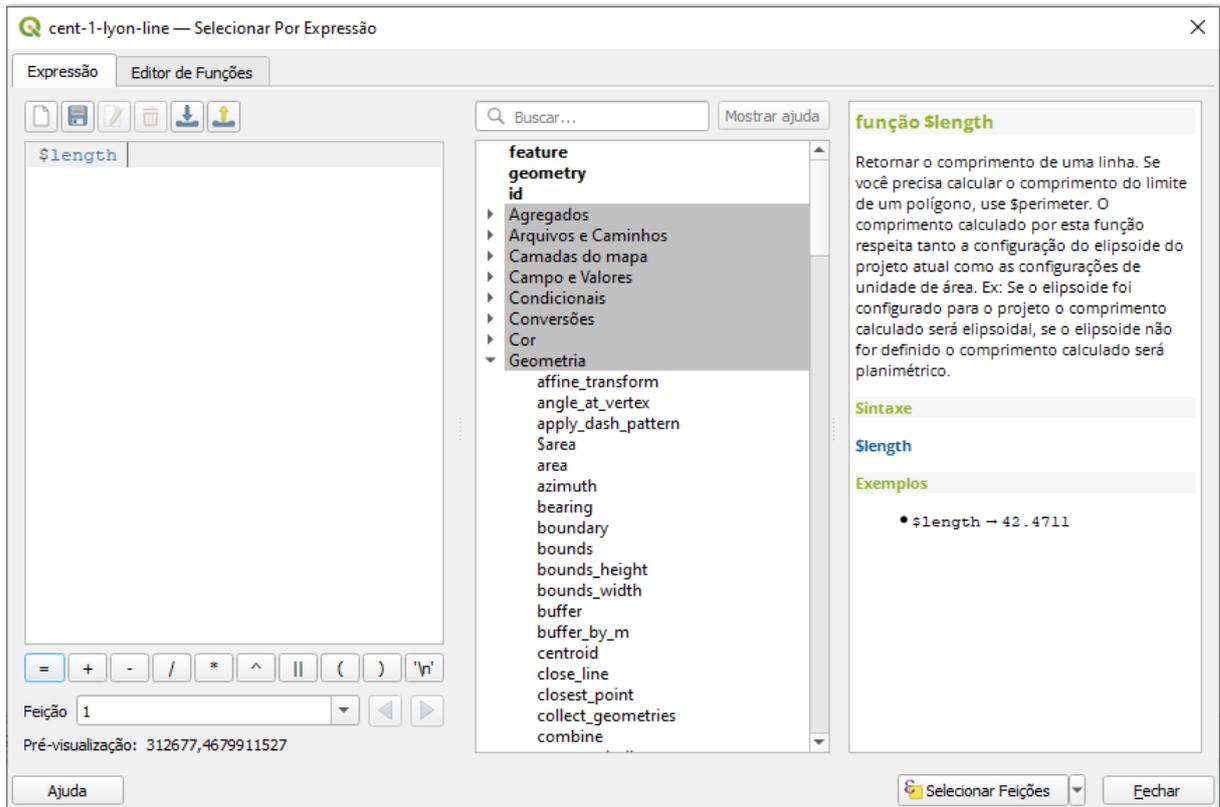
Figura 14 - Criação da Linha.



Fonte: Autor (2024).

Com a linha criada, a próxima etapa é calcular o comprimento dela. Para isso, deve-se criar um atributo da camada utilizando a fórmula “\$length” de geometria disponibilizada pelo QGIS. A partir da Figura 13 é possível visualizar o cálculo da distância a partir da fórmula de geometria.

Figura 15 - Criação do Cálculo da Distância



Fonte: Autor (2024).

Ao final, a tabela de atributos da camada criada irá conter o "id" e a distância obtida a partir da fórmula "\$length", como é exemplificado na Figura 14.

Figura 16 - Tabela de Atributos

The screenshot shows the QGIS attribute table window titled "cent-1-lyon-line — Total de feições: 1, Filtrado: 1, Selecionado: 0". The table has two columns: "id" and "Distancia". The first row contains the values "1" and "312677,468".

id	Distancia
1	312677,468

Fonte: Autor (2024).

A fim de comparar os cenários, deve-se utilizar os resultados obtidos, analisando em cada cenário qual localização escolhida tem a menor distância em relação ao ponto central calculado, avaliando assim, se a localização se comporta como um ponto central em relação aos clientes e plantas de produção.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta seção, serão apresentados os resultados de cada método aplicado. Os resultados de cada cenário serão comparados e avaliados para determinar qual das localizações propostas se comporta de maneira mais eficaz como um ponto central em relação aos clientes e às plantas da empresa. O critério de avaliação dos cenários utilizado consistirá em uma ferramenta de geoprocessamento disponível no QGIS, que mensura a distância do centroide calculado em relação à localização proposta pela empresa.

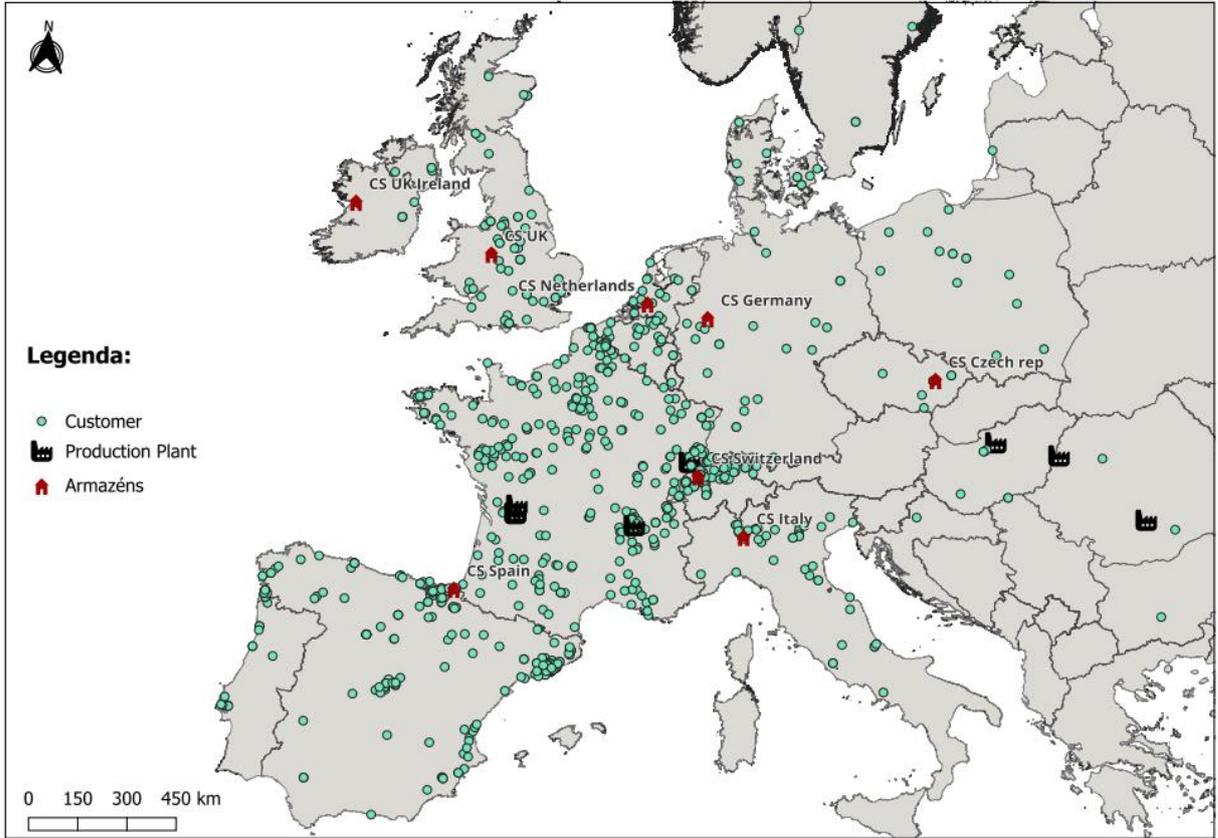
4.1. MODELAGEM DO CENÁRIO BASE

Com a base de dados tratada, como descrito na seção 3.1.3, o próximo passo foi a modelagem do cenário base dentro do ambiente do QGIS. A montagem desse cenário foi importante para que pudesse ser visto a situação atual da empresa de uma forma mais visual.

O cenário base contém 8 armazéns, com suas localizações na Alemanha, Espanha, Holanda, Inglaterra, Irlanda, República Tcheca e Suíça. Têm-se, no total, 6 plantas de produção no cenário base, sendo três na França, uma na República Tcheca e duas na Romênia. Os clientes estão distribuídos pelo continente Europeu, porém, com uma maior concentração na França.

A Figura 15 representa o cenário modelado no QGIS. A partir da figura foi possível visualizar o cenário completo, com a localização das plantas de produção e armazéns da empresa, assim como, a distribuição dos clientes pelo continente europeu.

Figura 17 - Cenário Base Modelado



Fonte: Autor (2024).

4.2. MODELAGEM DOS CENÁRIOS PROPOSTOS

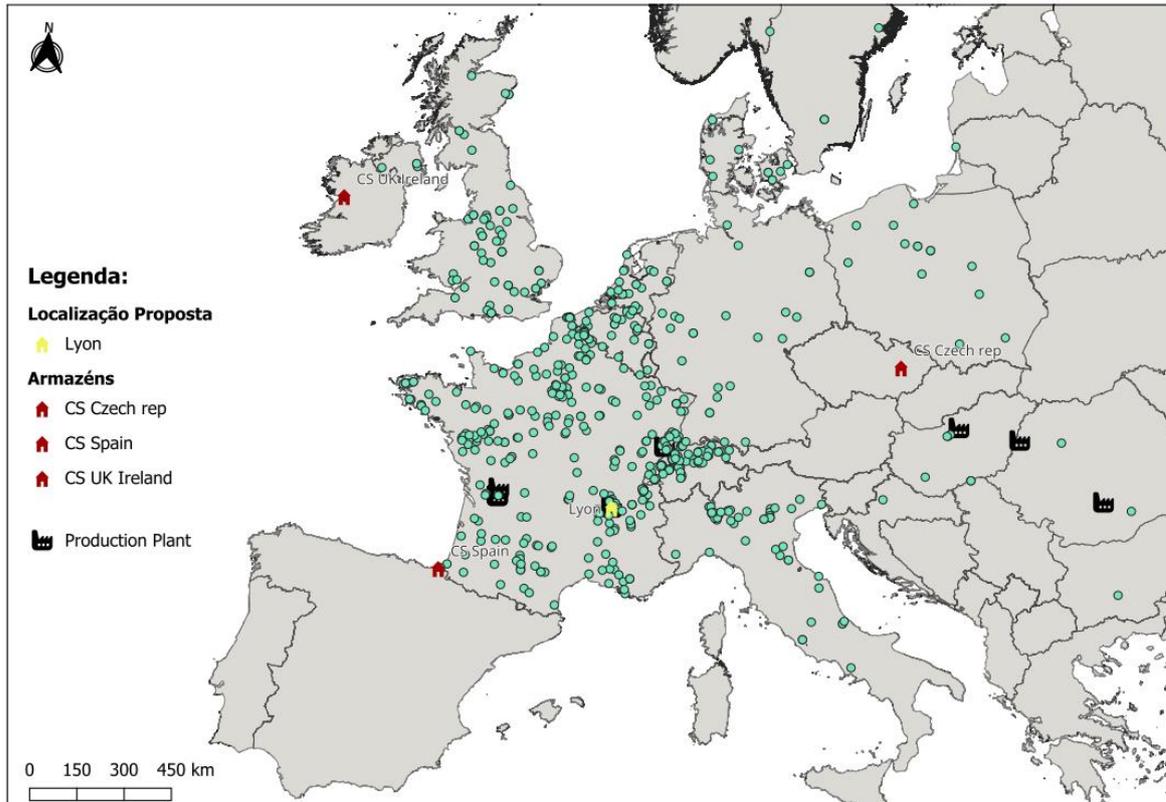
Os cenários foram propostos pela empresa, sendo considerado o fechamento de 4 armazéns em 3 cenários, com as operações desses armazéns fechados centralizadas em um Central Hub, e um quarto cenário com o fechamento de 5 armazéns, com também, as operações dos armazéns fechados centralizadas em um Central Hub.

Para a decisão dos clientes a serem atendidos por cada armazém, seja ele o armazém central ou os que foram mantidos em cada cenário, foi assumida a premissa de que, o armazém central proposto atenderá os clientes dos armazéns que foram fechados, e os armazéns que foram mantidos em cada cenário atenderão os clientes de seus países de origem. Os cenários serão descritos nas seções a seguir.

4.2.1. Cenário Proposto 1

O cenário proposto 1 consiste no fechamento de 4 armazéns, sendo eles: Alemanha, Itália, Holanda, Suíça e Inglaterra. Os armazéns a serem mantidos seriam: República Tcheca, Irlanda e Espanha, com um Central Hub na cidade de Lyon, na França. A decisão desse cenário por Lyon como armazém central, foi dada a partir da existência de uma estrutura física da empresa no local, e pela equipe do projeto, julgar de forma empírica ser um ponto central em relação aos clientes. O Cenário 1 pode ser visto na Figura 16.

Figura 18 - Modelagem Cenário 1



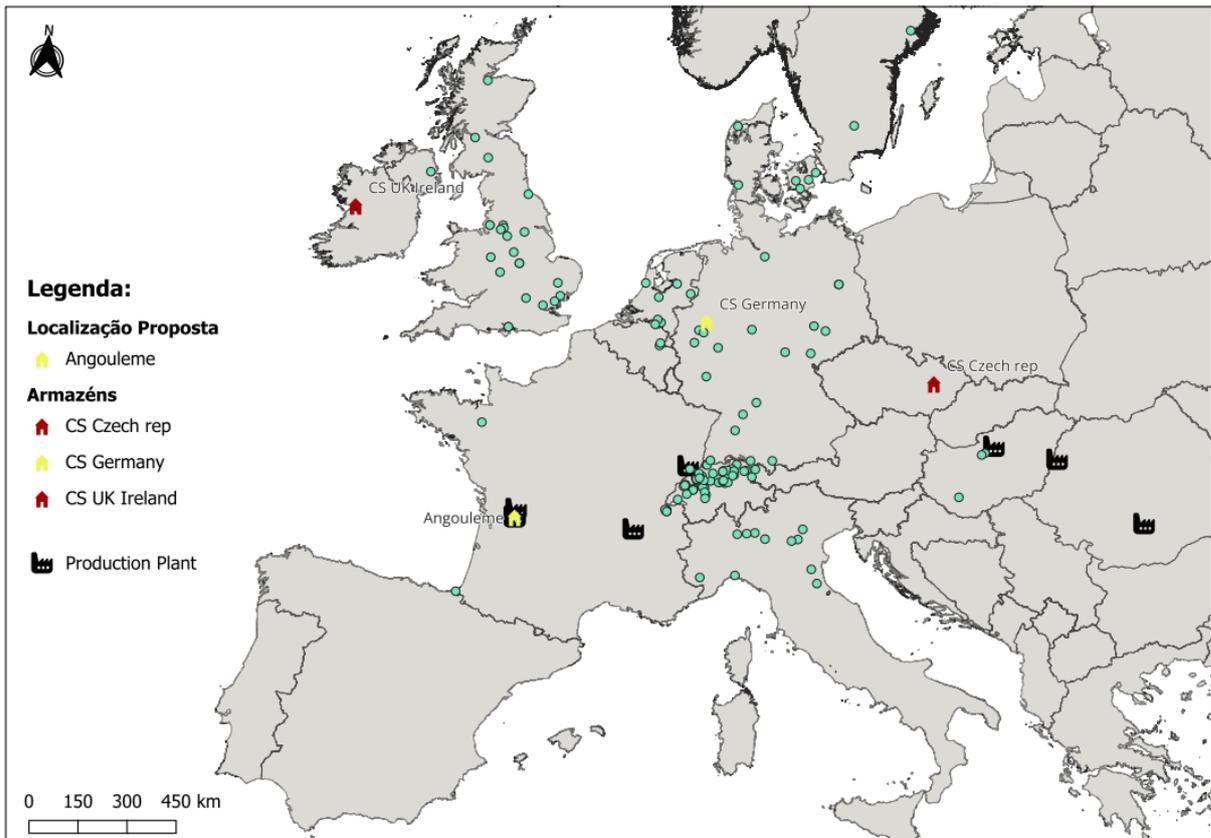
Fonte: Autor (2024).

4.2.2. Cenário Proposto 2

Para o Cenário 2, foram propostos o fechamento dos armazéns da: Itália, Holanda, Espanha, Suíça e Inglaterra. Os armazéns a serem mantidos seriam: Irlanda e República Tcheca. O armazém central nesse cenário está localizado no armazém já existente na cidade de Dortmund, na Alemanha, e um quarto armazém localizado na cidade de Angoulême, na França, para atender a demanda dos clientes na França, Espanha e Portugal.

A decisão do time de projetos deu-se, novamente, por estruturas da empresa já existentes nas cidades de Dortmund e Angoulême. A escolha da cidade de Angoulême para atender Espanha e Portugal foi feita considerando o baixo volume de venda para esses clientes, não necessitando de mais uma estrutura na Espanha. O Cenário 2 pode ser visualizado na Figura 17.

Figura 19 - Modelagem Cenário 2



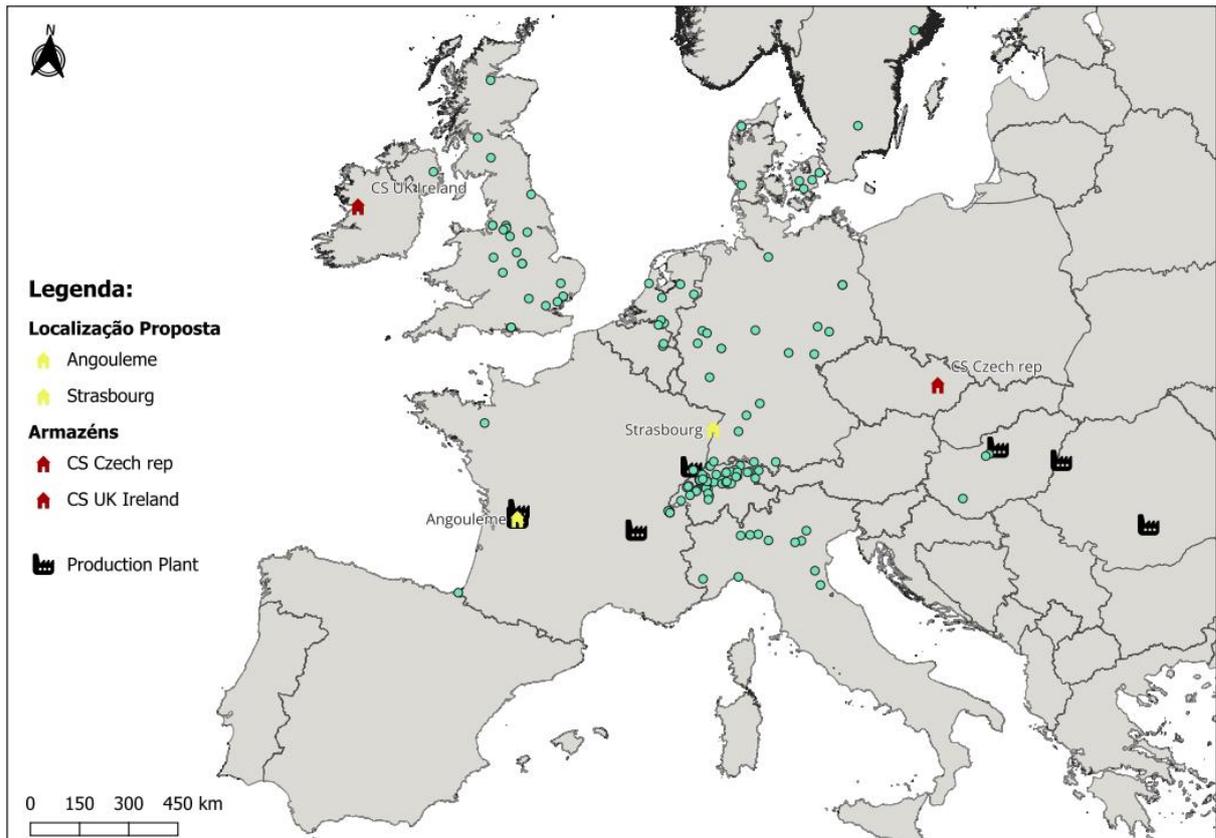
Fonte: Autor (2024).

4.2.3. Cenário Proposto 3

Para a proposta do Cenário 3 é considerado o fechamento dos seguintes armazéns: Itália, Alemanha, Suíça, Holanda, Inglaterra e Espanha. Sendo assim, será mantido os armazéns da Irlanda e República Tcheca, com um armazém na cidade de Angoulême atendendo as operações da França, Espanha e Portugal, seguindo a mesma lógica do Cenário 2, e um armazém central na cidade de Estrasburgo, na França.

No Cenário 3 é proposta a abertura de uma nova estrutura, na cidade de Estrasburgo, a partir do entendimento empírico da empresa que essa localização poderia ser uma região mais centralizada aos clientes que seriam atendidos por esse armazém central. A Figura 18 demonstra o Cenário 3 modelado dentro do QGIS.

Figura 20 - Modelagem Cenário 3



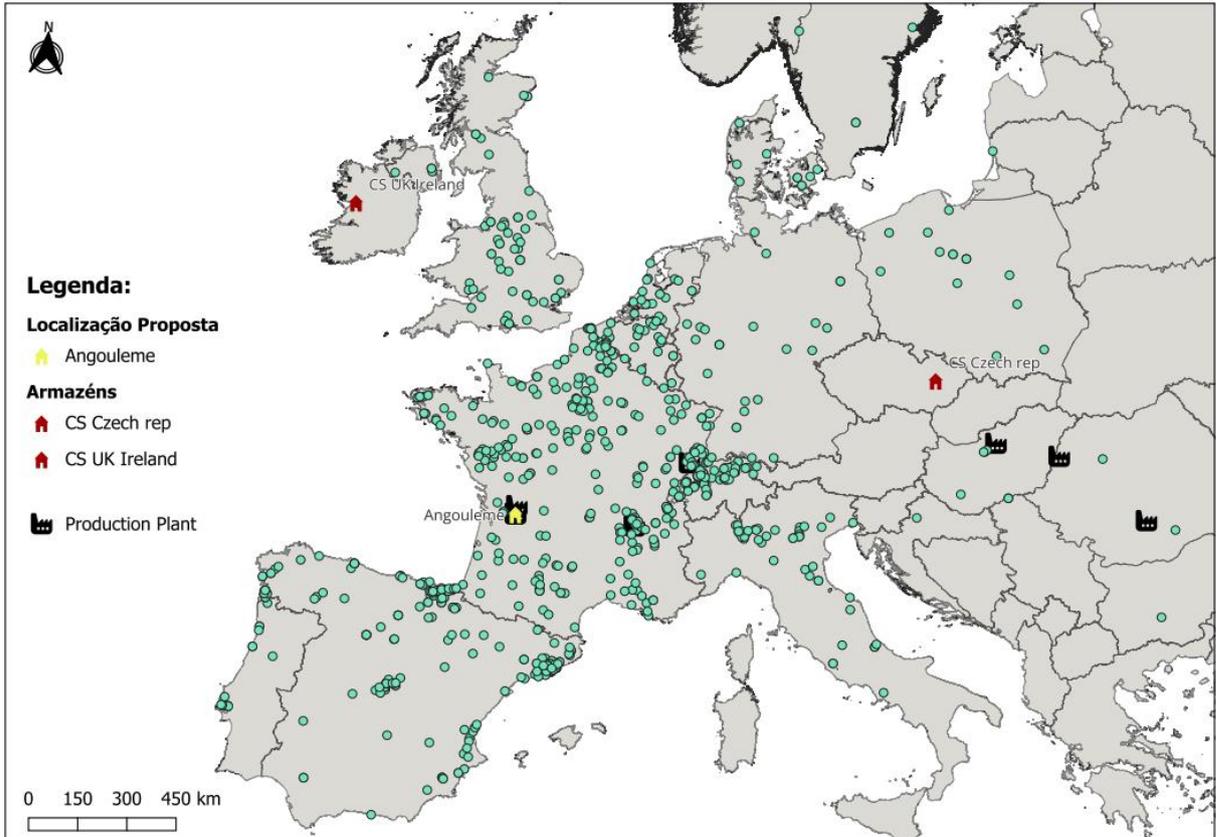
Fonte: Autor (2024).

4.2.4. Cenário Proposto 4

No Cenário 4 foi proposta uma abordagem mais agressiva na redução dos custos, com o fechamento de 5 armazéns, sendo eles: Itália, Alemanha, Holanda, Espanha, Suíça e Inglaterra. Os armazéns mantidos no cenário são: Irlanda e República Tcheca, e um armazém central na cidade de Angoulême, na França.

A Figura 19 representa o Cenário 4. Nesse cenário, foi proposta de uma forma empírica, a possibilidade de maior redução nos custos de armazéns sem que fosse prejudicada a operação e nível de serviço aos clientes.

Figura 21 - Modelagem Cenário 4



Fonte: Autor (2024).

4.3. AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS PROPOSTOS

Com os cenários propostos pela empresa modelados dentro do QGIS, foi executado o plugin, desenvolvido na seção 3.3.2, com o objetivo de calcular um ponto central em relação aos clientes e plantas de produção da empresa a partir do método do centroide para cada cenário.

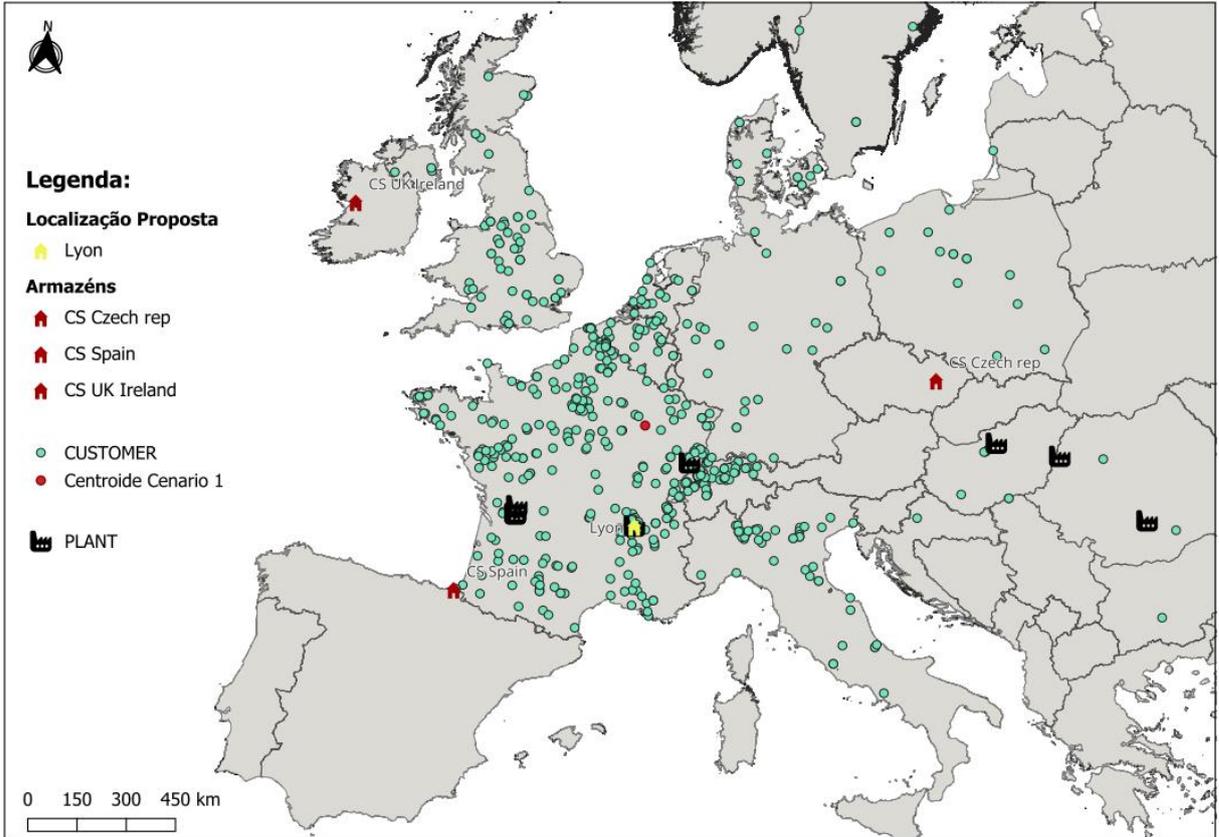
Nesta seção, serão apresentados os resultados dos centroides calculados para cada cenário. O teste comparativo a ser feito para a avaliação dos resultados obtidos, será a distância euclidiana entre o centroide e a localização do armazém central proposta pela empresa.

A distância em linha reta foi escolhida como indicador de desempenho por ser uma macro análise dos cenários, sendo considerado que qualquer aumento ou diminuição da distância por sinuosidade das rodovias, não impactaria no resultado final.

4.3.1. Resultado do Cenário Proposto 1

Através da execução do plugin, foi obtido para o Cenário 1, um centroide com latitude $48^{\circ}26'55.9''N$ e longitude $5^{\circ}01'36.0''E$. As Figuras 20 e 21 mostram, respectivamente, a localização do centroide e sua distância até o local escolhido pela empresa neste cenário, Lyon. O ponto calculado está localizado na região de Guindrecourt-aux-Ormes, uma pequena comuna francesa na região administrativa de Grande Leste, no departamento de Haute-Marne.

Figura 22 - Centroide do Cenário 1



Fonte: Autor (2024).

Figura 23 - Distância do Centroide do Cenário 1



Fonte: Autor (2024).

Apesar da comuna não possuir capacidade de receber um armazém logístico de grande porte, através das Figuras 20 e 21, é possível visualizar que o resultado do centroide obtido demonstra que a localização escolhida inicialmente pela empresa, Lyon, não pode ser considerada um ponto central em relação aos clientes e plantas de produção por estar a 312,7 km de distância do centroide.

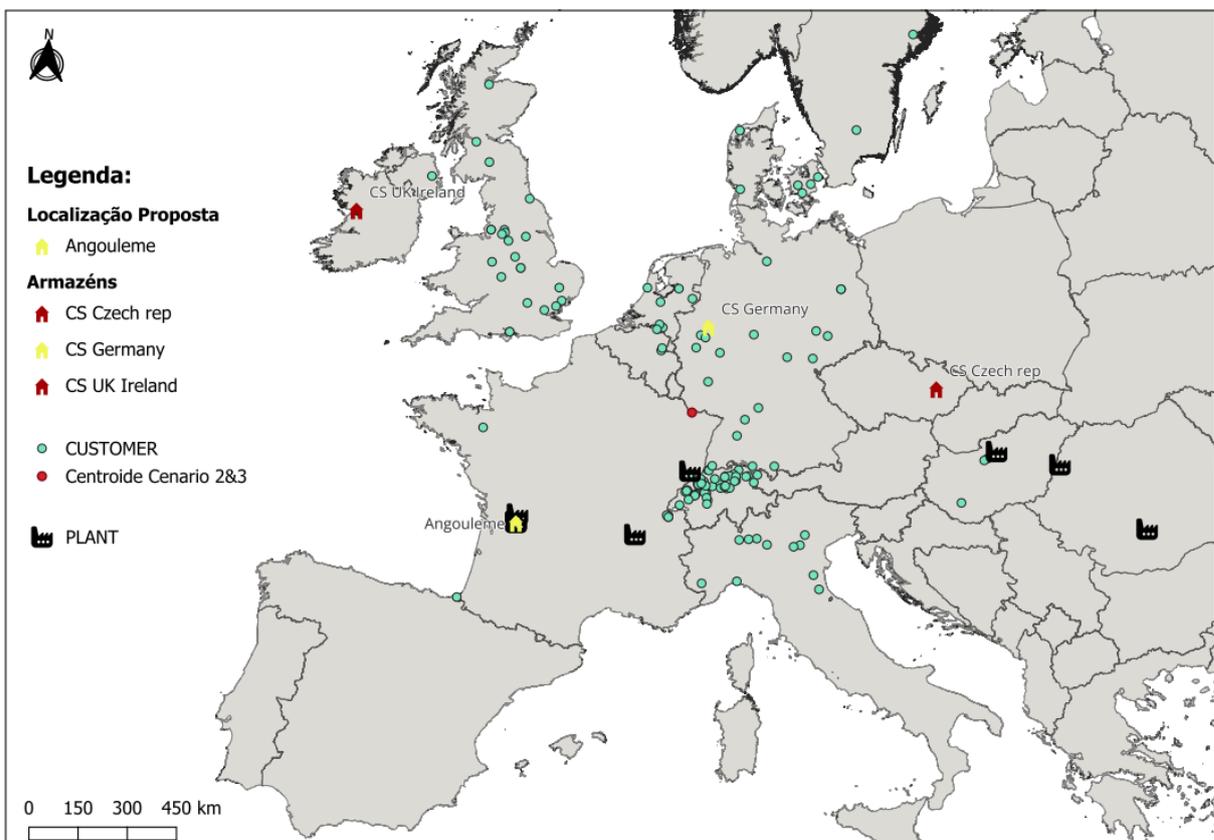
Considerando a grande distância entre Lyon e o ponto central calculado, pode haver uma redução no nível de serviço aos clientes devido ao aumento do lead time. Dessa forma, ao analisar o cenário geograficamente, a proposta do Cenário 1 não seria a mais adequada para implantação.

4.3.2. Resultado do Cenário Proposto 2

No Cenário 2, a localização para o armazém central escolhida foi na cidade de Dortmund, na Alemanha, como descrito na seção 4.2.2, com os clientes concentrados na Suíça. Também nesse cenário, foi proposta a substituição do armazém da Espanha por um em Angoulême, na França, onde já existe estrutura física da empresa. Como Dortmund foi a localização escolhida para a implantação do armazém central, foi analisada a centralidade de Dortmund e não Angoulême.

A execução do plugin para esse cenário, resultou na região de Théding uma comuna francesa na região administrativa de Grande Leste, no departamento de Mosela, com as seguintes coordenadas: 49°06'29.7"N e 6°54'15.1"E. Nas Figuras 22 e 23, é exposto, respectivamente, a localização do centroide e sua distância para a cidade escolhida para a empresa.

Figura 24 - Centroides do Cenário 2



Fonte: Autor (2024).

Figura 25 - Distância do Centroide do Cenário 2



Fonte: Autor (2024).

A partir das figuras, pode ser visto que a cidade proposta pela empresa, Dortmund, está a 270 km do ponto central. Avaliando Dortmund quanto à sua centralidade em relação aos clientes e plantas de produção da empresa, pode ser considerado que a cidade não é recomendada para a implantação de um armazém central, devido a sua distância em relação ao centroide calculado.

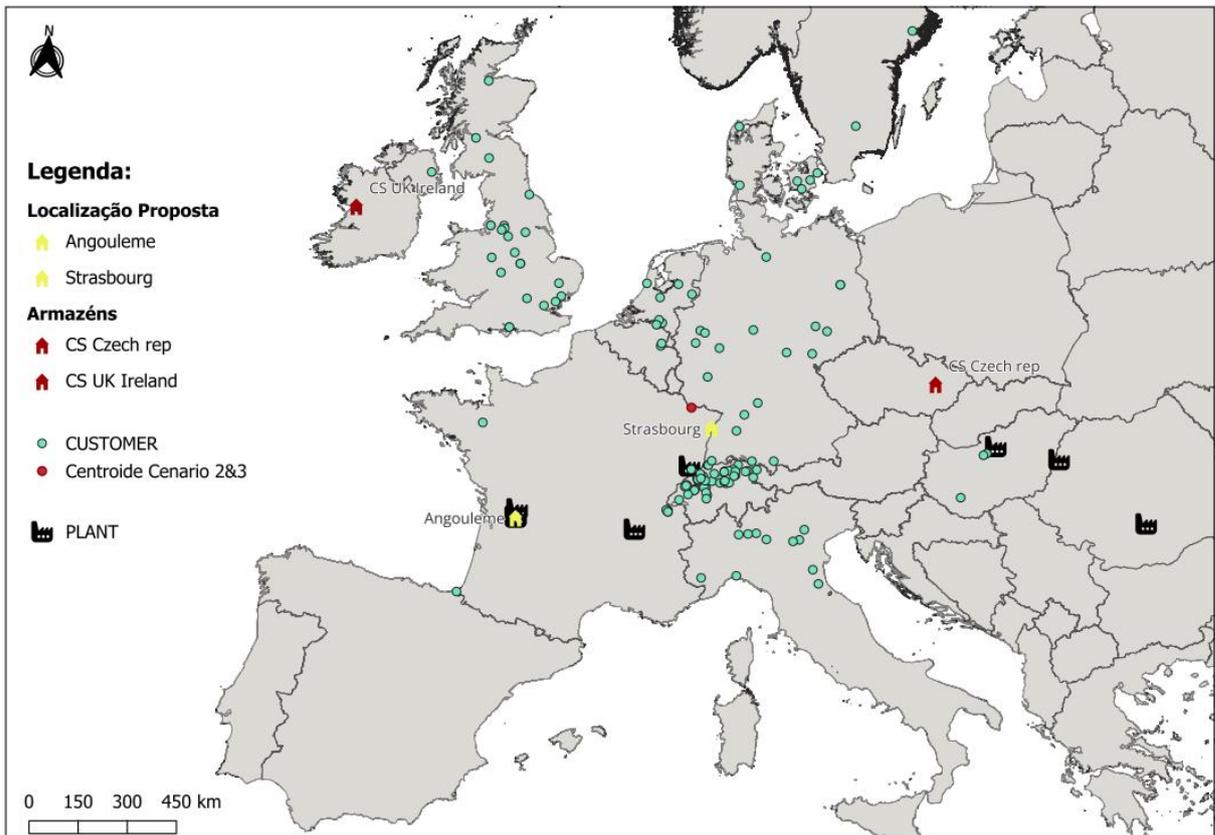
Assim como no Cenário 1, considerando a grande distância entre Dortmund e o ponto central calculado, pode haver uma redução no nível de serviço aos clientes devido ao aumento do lead time. Portanto, a proposta do Cenário 2 não seria adequada para implementação.

4.3.3. Resultado do Cenário Proposto 3

No Cenário 3 é mantido Angoulême substituindo o armazém na Espanha e proposto Estrasburgo como localização para o armazém central. Assim como no Cenário 2, foi analisada somente a centralidade de Estrasburgo.

Após a execução do plugin, por ser a mesma base de dados alfanumérica do Cenário 2, foi obtido o mesmo resultado do centroide, na região de Théding com coordenadas $49^{\circ}06'29.7''N$ e $6^{\circ}54'15.1''E$. As Figuras 24 e 25 mostram, respectivamente, a localização do centroide e sua distância até o local escolhido pela empresa nesse cenário.

Figura 26 - Centroides do Cenário 3



Fonte: Autor (2024).

Figura 27 - Distância do Centroide do Cenário 3



Fonte: Autor (2024).

A partir da Figura 24, é possível visualizar a proximidade entre o centroide calculado e a cidade proposta pela empresa, resultando em 87,4 km. Ou seja, quanto à sua localização geográfica, Estrasburgo pode ser considerada um ponto central nesse cenário. Sendo assim, o cenário 3 possui o melhor desempenho quanto à centralidade, e avaliando somente geograficamente, a proposta do cenário 3 seria adequada para implementação.

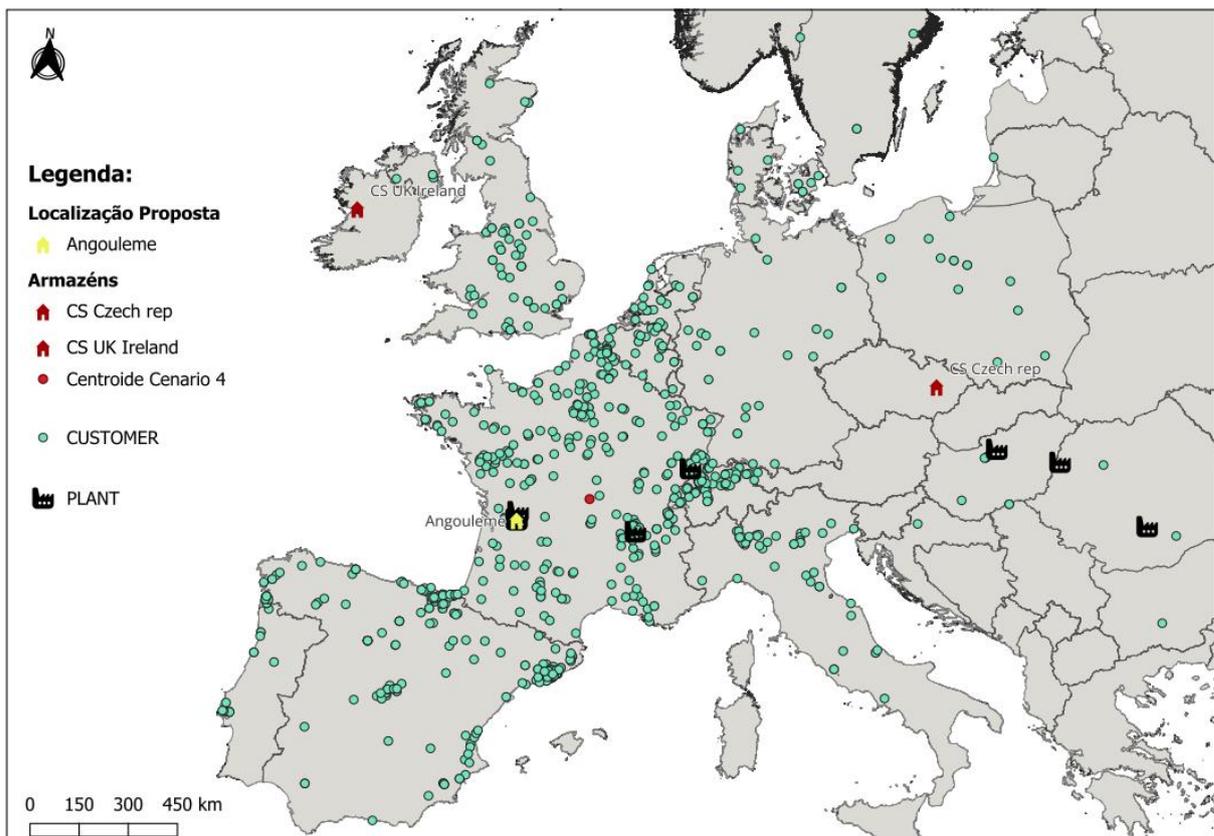
4.3.4. Resultado do Cenário Proposto 4

No Cenário 4, conforme mencionado na seção 4.2.4, foi proposta uma abordagem agressiva para a redução de custos, mantendo apenas três armazéns no total: dois já existentes, na Irlanda e na República Tcheca, e um armazém central em Angoulême para atender a demanda dos armazéns fechados.

As coordenadas obtidas a partir da execução do plugin são, respectivamente, 46°26'53.6"N e 2°56'58.1"E, resultando na região de Buxières-les-Mines, uma pequena comuna francesa na região administrativa de Auvérnia-Ródano-Alpes, no departamento Allier.

As Figuras 26 e 27 mostram, respectivamente, a localização do centroide e sua distância até o local escolhido pela empresa nesse cenário.

Figura 28 - Centroides do Cenário 4



Fonte: Autor (2024).

Figura 29 - Distância do Centroide do Cenário 4



Fonte: Autor (2024).

O centroide do cenário 4 está a 233,4 km de distância de Angoulême, como pode ser visto na Figura 26. Ao ser analisada a centralidade de Angoulême, é possível concluir que a localização proposta pela empresa não se comporta como um ponto central, não sendo recomendada a sua implementação a partir da análise geográfica do cenário.

4.4. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Com o método do centroide aplicado através da execução do plugin, a próxima etapa do trabalho visa comparar os resultados obtidos e propor o cenário a ser seguido pela empresa.

É importante destacar que a análise foi conduzida exclusivamente com base na localização geográfica, uma vez que os cenários já haviam sido previamente definidos pela empresa de forma empírica. O objetivo do estudo foi trazer ao projeto uma análise matemática e avaliar se as cidades escolhidas funcionavam como pontos centrais e identificar qual seria o melhor cenário.

Na Tabela 1 foram consolidadas as informações de cada cenário, como: a cidade de cada centroide, a localização previamente proposta e a distância entre ambos. Nela é exibido o comparativo entre os cenários.

Tabela 1 - Comparativo entre os cenários

Cenário Proposto	Cidade do Centróide	Cidade Proposta	Distância (km)
1	Guindrecourt-aux-Ormes	Lyon	312,7
2	Théding	Dortmund	270
3	Théding	Estrasburgo	87,4
4	Buxières-les-Mines	Angoulême	233,4

Fonte: Autor (2024).

Com base na análise da Tabela 1, pode-se visualizar que nos cenários 1, 2 e 4, as cidades propostas, respectivamente, Lyon, Dortmund e Angoulême estão distantes do centroide, ou seja, não são consideradas um ponto central aos clientes e fábricas da empresa. Essa grande distância, pode resultar em um aumento no custo de transporte, do armazém para os clientes, e uma diminuição no nível de serviço, devido a um maior lead time.

Portanto conclui-se que o Cenário 3 apresenta o melhor desempenho, com Estrasburgo localizada a 87,4 km do ponto central calculado, na comuna de Théding. Nesse cenário, pode-se afirmar que Estrasburgo está, de certa forma, bem centralizada em relação aos clientes e às plantas de produção da empresa. Além

disso, a redução no número de armazéns não acarretaria um impacto significativo no nível de serviço ao cliente.

5. CONCLUSÃO

A definição da localização ideal para um armazém central é uma decisão estratégica que impacta diretamente a eficiência operacional, os custos logísticos e o nível de serviço prestado aos clientes. Em um mercado cada vez mais competitivo, onde a redução de custos e a otimização de processos logísticos são essenciais para a sustentabilidade das empresas, o uso de métodos matemáticos e ferramentas tecnológicas assume um papel indispensável. Este trabalho, portanto, buscou abordar essa questão por meio de uma análise criteriosa e fundamentada na aplicação do método do centroide, implementado em um plugin desenvolvido especificamente para o software QGIS.

A maior contribuição deste estudo está no método desenvolvido e na criação da ferramenta, que vão além da análise dos cenários propostos. Essa abordagem permitiu trazer uma base matemática sólida para validar ou questionar decisões que, anteriormente, eram tomadas de forma empírica pela empresa. Embora as localizações propostas inicialmente tenham seguido percepções qualitativas, a aplicação do método revelou discrepâncias significativas em relação às centralidades otimizadas, demonstrando a necessidade de integrar análises quantitativas nos processos decisórios.

A ferramenta desenvolvida mostrou-se especialmente vantajosa quando aplicada no início de uma análise de localização, auxiliando na proposição de cidades centrais que maximizem a eficiência logística. Nos cenários avaliados, o cenário 3 destacou-se como a melhor solução, com Estrasburgo próxima ao ponto central calculado, apresentando uma distância de apenas 87,4 km do centroide. Essa proximidade pode implicar em maior eficiência operacional, redução de custos de transporte e manutenção de níveis elevados de serviço, fatores cruciais para o sucesso logístico.

Embora os resultados obtidos sejam significativos, é importante ressaltar que a análise foi baseada em dados preexistentes e limitados ao escopo geográfico e operacional do estudo. A integração direta da ferramenta com os sistemas ERP da empresa, por meio de APIs, pode tornar esse processo mais ágil e eficiente, reduzindo custos e otimizando a atualização dos dados. Além disso, a inclusão de variáveis adicionais, como custos operacionais, rotas rodoviárias e restrições locais, pode

aprimorar ainda mais a precisão do modelo, tornando-o aplicável em diferentes contextos organizacionais.

Por fim, o trabalho atingiu plenamente seu objetivo geral, ao propor um método estruturado e fundamentado para a análise de localização de armazéns. Ele reafirma a relevância de combinar métodos matemáticos e tecnologia para embasar decisões estratégicas no setor logístico, contribuindo para a competitividade e eficiência das operações. Futuras aplicações da ferramenta poderão explorar cenários adicionais e integrar bancos de dados externos para ampliar a confiança e aplicabilidade dos resultados.

REFERÊNCIAS

- AEROENGENHARIA. **O que é centróide?** 26 jul. 2023. Disponível em: <https://aeroengenharia.com/glossario/o-que-e-centroide/>. Acesso em: 25 nov. 2024.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/ logística empresarial**. Tradução: Raul Rubenich. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. **Supply Chain Logistics Management**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2002.
- CARDOSO, D. P. de A.; PEREIRA, M. W. da S.; MACAMBIRA, M. V. R.; JASTO, A. de O.; SILVA, R. G. da. **Aplicação do método do centro de gravidade para implantação de uma agroindústria de açaí no estado do Pará**. In: XXXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2019, Santos. Anais [...]. Santos: ABEPRO, 2019. Disponível em: <link se aplicável>. Acesso em: 30 nov. 2024.
- CARRARA, Camilla Miguel. **Uma aplicação do SIG para a localização e alocação de terminais logísticos em áreas urbanas congestionadas**. 2007. 224 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- CHOPRA, S. **Gestão da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operações**. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2019.
- COUTINHO, Thiago. **O que é plugin e como ele pode te ajudar?** 2022. Disponível em: <https://voitto.com.br/blog/artigo/o-que-e-plugin>. Acesso em: 15 nov. 2024.
- PINHEIRO, T. S. **Otimização do problema de localização de instalações aplicado ao comércio e distribuição de combustíveis**. [s.l.] Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2015.
- KULMAN, Denilson. **Espacialização da estiagem no Rio Grande do Sul de 1981 a 2011: análise da localização e vulnerabilidade de projetos de assentamentos (PA's) do INCRA**. 2015. 116 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.
- LONGLEY, P. A. *et al.* **Geographic information systems and science**. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015.
- MITCHELL, A. **The ESRI guide to GIS analysis: spatial measurements and statistics**. Redlands: ESRI Press, 2005.
- PEREIRA, N. de S.; SOUZA, F. J. S. de; DAVID, C. C.; FARIAS JUNIOR, L. R. **Aplicação dos métodos centro de gravidade e ponderação dos fatores: estudo de caso em uma empresa transportadora de cargas**. *Brazilian Journal of Production*

Engineering, São Mateus, v. 5, n. 5, p. 100-116, 2019. Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE/index>. Acesso em: 26 nov. 2024.

PINHEIRO, T. S. **Otimização do problema de localização de instalações aplicado ao comércio e distribuição de combustíveis**. [s.l.] Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2015.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho Científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Nova Hamburgo: Feevale, 2013. 277 p.

QGIS Development Team. **QGIS user guide**. 2023. Disponível em: <https://www.qgis.org/en/docs/index.html>. Acesso em: 14 jun. 2024.

QGIS Development Team. **QGIS Plugin Repository**. 2024. Disponível em: <https://plugins.qgis.org/>. Acesso em: 15 nov. 2024.

SOSA-TERRAZAS, E.; PARADA-GONZÁLEZ, M.; MARTÍNEZ-CONTRERAS, U. **Geographic information systems: proposal for the relocation of a central distribution point through the centroid method**. 6 jul. 2018.

SOUZA, F. J. S.; PEREIRA, N. de S.; PONTES, H. L. J. **Aplicação do método do centro de gravidade para decisão de localização de uma transportadora rodoviária de cargas**. In: XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2015, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza: ABEPRO, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/283676388>. Acesso em: 30 nov. 2024.

SUTTON, T.; DASSAU, O.; MEARS, H. **A gentle introduction to GIS: using quantum GIS**. 1. ed. Honolulu: Spatial Thinking, 2009.

TEIXEIRA, Claudineia Alves; OLIVEIRA, Elaine Moreira de; PIMENTEL, Junívio da Silva. **Software QGIS na produção de mapas temáticos para análise da microrregião de Boquira-BA**. *Revista Geo, Vitória da Conquista*, v. 2, n. 3, p. 35-43, 2018. Disponível em: <http://periodicos2.uesb.br/index.php/geo>. Acesso em: 02 dez. 2024.

TOMLINSON, R. **Thinking about GIS: geographic information system planning for managers**. Redlands: ESRI Press, 2007.

APÊNDICE A – Código Fonte do Plugin

```

class centroidfinder:
    def __init__(self, iface):
        """Construtor do plugin. Recebe a interface do QGIS."""
        self.iface = iface # Interface do QGIS
        self.plugin_dir = os.path.dirname(__file__)
        self.action = None
        self.dialog = None

    def initGui(self):
        """Inicializa a interface gráfica do plugin (menu e botão)."""
        # Criar a ação para o menu e a barra de ferramentas
        icon_path = os.path.join(self.plugin_dir, 'icon.png') # Substitua com o
        ícone que você quiser
        self.action = QAction(QIcon(icon_path), "Calcular Ponto Central
        Ponderado", self.iface.mainWindow())

        # Conectar o clique da ação ao método 'run'
        self.action.triggered.connect(self.run)

        # Adicionar o botão na barra de ferramentas do QGIS
        self.iface.addToolBarIcon(self.action)

        # Adicionar a ação ao menu de plugins do QGIS
        self.iface.addPluginToMenu("&Centroid Finder", self.action)

    def unload(self):
        """Remove o plugin do QGIS quando ele for desativado."""
        self.iface.removeToolBarIcon(self.action)
        self.iface.removePluginMenu("&Centroid Finder", self.action)

    def run(self):

```

```

"""Executa o plugin quando o botão for clicado."""
# Verificar se o diálogo já foi inicializado
if not self.dialog:
    from .centroid_finder_dialog import centroidfinderDialog
    self.dialog = centroidfinderDialog()

# Mostrar o diálogo
self.dialog.show()
self.dialog.exec_()

# Obter os valores da interface (camada de entrada e nome da camada
de saída)
input_layer = self.dialog.get_input_layer()
output_layer_name = self.dialog.get_output_layer_name()

# Validar a camada de entrada
if not input_layer:
    self.iface.messageBar().pushMessage("Erro", "Selecione uma
camada de entrada.", level=2)
    return

# Verificar se a camada tem as colunas necessárias
required_fields = ['LATITUDE', 'LONGITUDE', 'PESO']
missing_fields = [field for field in required_fields if field not in
input_layer.fields().names()]
if missing_fields:
    self.iface.messageBar().pushMessage("Erro", f"Faltando as colunas:
{' '.join(missing_fields)}", level=2)
    return

# Calcular o ponto central ponderado
soma_latITUDE_peso = 0
soma_longitude_peso = 0
soma_pesos = 0

```

```

for feature in input_layer.getFeatures():
    latitude = feature['LATITUDE']
    longitude = feature['LONGITUDE']
    peso = feature['PESO']

    soma_latitude_peso += latitude * peso
    soma_longitude_peso += longitude * peso
    soma_pesos += peso

if soma_pesos == 0:
    self.iface.messageBar().pushMessage("Erro", "A soma dos pesos é
zero, cálculo impossível.", level=2)
    return

latitude_central = soma_latitude_peso / soma_pesos
longitude_central = soma_longitude_peso / soma_pesos

# Criar o ponto central
ponto_central = QgsPointXY(longitude_central, latitude_central)
geometry = QgsGeometry.fromPointXY(ponto_central)

# Criar nova camada de saída com o ponto central
output_layer      =      QgsVectorLayer("Point?crs=EPSG:4326",
output_layer_name, "memory")
prov = output_layer.dataProvider()

# Adicionar os campos de latitude e longitude
prov.addAttribute([
    QgsField("LATITUDE", QVariant.Double),
    QgsField("LONGITUDE", QVariant.Double)
])
output_layer.updateFields()

```

```
# Criar a feição e adicionar à nova camada
central_feature = QgsFeature()
central_feature.setGeometry(geometry)
central_feature.setAttributes([latitude_central, longitude_central])
prov.addFeatures([central_feature])

# Adicionar a camada de saída ao projeto
QgsProject.instance().addMapLayer(output_layer)
self.iface.messageBar().pushMessage("Sucesso", "Ponto central
ponderado adicionado ao projeto.", level=3)
```