



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**METODOLOGIA DE DEFINIÇÃO DE REDE DE  
SUPRIMENTOS PARA ARMAZENAGEM DE *COMMODITIES*  
AGRÍCOLAS**

**ISAQUE DANIEL ROCHA EBERHARDT**

**ORIENTADOR: DR. SÉRGIO RONALDO GRANEMANN**

**TESE DE DOUTORADO EM TRANSPORTES**

**BRASÍLIA/DF:12 de FEVEREIRO/2020**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**METODOLOGIA DE DEFINIÇÃO DE REDE DE SUPRIMENTOS  
PARA ARMAZENAGEM DE *COMMODITIES* AGRÍCOLAS**

**ISAQUE DANIEL ROCHA EBERHARDT  
ORIENTADOR: DR. SÉRGIO RONALDO GRANEMANN**

**TESE DE DOUTORADO EM TRANSPORTES  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TRANSPORTES**

**PUBLICAÇÃO: T.TD – 001/2020  
BRASÍLIA/DF: 12 de FEVEREIRO – 2020**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**METODOLOGIA DE DEFINIÇÃO DE REDE DE SUPRIMENTOS PARA  
ARMAZENAGEM DE *COMMODITIES* AGRÍCOLAS**

**ISAQUE DANIEL ROCHA EBERHARDT**

**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
TRANSPORTES DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO  
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
DOUTOR EM TRANSPORTES.**

**APROVADO POR:**

---

**SERGIO RONALDO GRANEMANN, PhD. (PPGT/FT – UnB)  
(ORIENTADOR)**

---

**REINALDO CRISPINIANO GARCIA, PhD. (PPGT/FT – UnB)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**JOSÉ EUGÊNIO LEAL, PhD. (PUC - RIO)  
(EXAMINADOR EXTERNO)**

---

**ANA CARLA BITTENCOURT REIS, PhD. (FT – UnB)  
(EXAMINADOR EXTERNO)**

**BRASÍLIA/DF, 12 de FEVEREIRO de 2020.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

EBERHARDT, ISAQUE DANIEL ROCHA.

Metodologia de Definição de Rede de Suprimentos para Armazenagem de *Commodities* Agrícolas [Distrito Federal] 2020.

xiii, 91 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutorado, Transportes, 2020).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Rede de Suprimentos

2. *Commodities* agrícolas

3. Localização de facilidades

4. Modelagem

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

EBERHARDT, I. D. R. (2020). Metodologia de Definição de Rede de Suprimentos para Armazenamento de *Commodities* Agrícolas, Publicação T.TD-001/2020, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 90 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Isaque Daniel Rocha Eberhardt

TÍTULO DA TESE: Metodologia de Definição de Rede de Suprimentos para Armazenamento de *Commodities* Agrícolas.

GRAU: Doutorado

ANO: 2020

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado, quando da sua conclusão, para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação, e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Isaque Daniel Rocha Eberhardt  
isaquedanielre@hotmail.com

Brasília – DF – Brasil

## DEDICATÓRIA

*“A todos agricultores anônimos, que impotentes diante da ausência de uma infraestrutura mínima para trabalhar, são obrigados a vender sua safra a qualquer preço.”*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para esta tese e curso de doutorado.

A minha amiga, colega, confidente, esposa e companheira Leisy Mikaelly Alves Teixeira por ter dado suporte a todos os desafios que surgiram nessa jornada.

Aos meus pais, Célia Rocha Eberhardt e Nery de Barros Eberhardt por terem me ensinado o valor maior do conhecimento na vida humana.

A minha sogra Fátima Araújo do Nascimento Teixeira e sogro Cleurival Alves Teixeira por sempre incentivarem.

A todos os professores e colaboradores do Programa de Pós-Graduação em Transportes (PPGT/UnB) que contribuíram com a minha formação e aprendizagens ao longo do curso.

Ao professor Sérgio Ronaldo Granemann, pela orientação e suporte durante o curso de doutorado e a elaboração da tese.

Agradeço aos que a duras penas fazem a educação brasileira existir e me ajudaram desde os primeiros anos escolares até o dia da defesa.

Agradeço aos brasileiros que com seu trabalho e impostos financiam a educação pública nacional.

A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) por prover a base de dados sobre a infraestrutura de armazenagem nacional.

## RESUMO

### METODOLOGIA DE DEFINIÇÃO DE REDE DE SUPRIMENTOS PARA ARMAZENAGEM DE *COMMODITIES* AGRÍCOLAS

A agricultura brasileira está entre as mais importantes do planeta, ocupando posição de destaque na exportação das *commodities* agrícolas de grãos como soja e milho. O fato das áreas de produção serem distantes dos portos e a sua velocidade de expansão territorial ser maior que a velocidade de instalação de novas estruturas de movimentação e armazenagem, emergem impactos negativos no sistema logístico. A ausência de um sistema logístico eficiente e com capacidade de armazenagem suficiente para todo o volume de colheita força os agricultores a venderem suas colheitas imediatamente, provocando uma redução de preços das *commodities* por excesso de oferta e a venda em um momento de preços em queda. Diante deste cenário, o presente estudo tem por objetivo principal desenvolver uma metodologia para definição de rede de suprimentos para armazenagem e escoamento de *commodities* agrícolas. Para alcançar tais objetivos foi desenvolvida uma metodologia composta de sete passos metodológicos que abrangem as etapas de execução da metodologia segundo um conjunto de restrições de definições teóricas para a aplicação do mesmo. De modo a validar a metodologia foi realizado um estudo de caso em que foram utilizados os mapas de estimativas das safras de soja e de milho do município de Nova Ubiratã no Estado do Mato Grosso – MT para determinar a configuração da rede suprimentos para o município que supra o déficit de capacidade estática por armazenagem para a safra 2017/2018 e que minimize o custo total da rede de suprimento. Para esse estudo de caso foram usados mapas da infraestrutura logística envolvida (rodovias e de armazenagem) para o escoamento destas safras, rede de suprimento e de localização p-mediana, linguagens de programação R e Python, e Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Os resultados mostraram que a rede de suprimento com menor custo de transporte e armazenagem fora aquela que utilizou unidades de armazenamento de 162 mil toneladas de capacidade e com cobertura da produção de 120%. A metodologia possibilitou analisar a rede de suprimento atual sob a ótica de oferta-demanda e calcular as localizações e o número de instalações de facilidades logísticas necessárias para suprir o déficit da região do estudo de caso. Ademais, a metodologia demonstrou capacidade de tratar problemas de localização e otimização da rede de suprimentos em escala regional com agilidade e a eficiência preconizada.

**Palavras-chave:** Rede de suprimento, Localização de facilidades, *Commodities* agrícolas e Modelagem.

## ABSTRACT

### METHODOLOGY FOR DEFINITION OF SUPPLY NETWORK STORAGE OF AGRICULTURAL COMMODITIES

The Brazilian agriculture is one of the most important on the planet, with a prominent position in the agricultural commodities export of soybeans and corn. As the crop production areas are far from the ports and the speed of territorial expansion is greater than the speed of installation of new storage structures, important negative impacts on the logistics system emerge. The absence of an efficient logistical system with enough storage capacity for the entire harvest season forces farmers to sell their crops immediately after the harvest, causing a reduction in commodity prices due to oversupply and with sales at a time of falling prices. In this scenario, the main objective of this thesis was to develop a methodology for defining the supply network for the storage and flow of agricultural commodities. To achieve those objectives, the methodology developed consist of seven methodological steps that encompass the stages of the modeling execution according to a set of restrictions and definitions for its application. In order to validate the methodology, a study case was carried out using crop estimatives maps for soybean and corn in the municipality of Nova Ubiratã in the State of Mato Grosso – MT, Brazil. This maps to determine the configuration of the supply network for the municipality that overcomes the shortage of static storage capacity for the harvest of 2017/2018 and minimizes the total cost of the supply chain. For this case study, maps of the logistics infrastructure involved (highways and storage) were used for the flow of these crops, network model and p-median location, programming languages R and Python, and Geographic Information Systems (GIS). The results showed that the supply network with the lowest transport and storage cost was that one with storage units of 162 thousand tons of capacity and with production coverage of 120%. The model made it possible to analyze the current supply network from the perspective of supply-demand and calculate the locations and the number of logistical facilities necessary to supply the deficit of the region of the study case. In addition, the methodology demonstrated the ability to address problems of localization and optimization of the supply network on a regional scale with agility and the expected efficiency.

**Keywords:** Supply network, Location facilities, Agriculture *Commodities*, Management, Modelling.



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1. <i>COMMODITIES</i> AGRÍCOLAS NO BRASIL.....	2
1.2. EXPORTAÇÃO DE <i>COMMODITIES</i> AGRÍCOLAS NO BRASIL E NO MATO GROSSO.....	4
1.3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	6
1.4. PROBLEMA DE PESQUISA.....	9
1.5. OBJETIVOS.....	9
1.6. OBJETIVO GERAL .....	9
1.7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
1.8. - JUSTIFICATIVA.....	9
2 A TEORIA DE LOCALIZAÇÃO .....	12
2.1. PROBLEMAS NP-HARD.....	14
2.2. MODELOS DE LOCALIZAÇÃO .....	14
3 ESTADO DA ARTE EM LOCALIZAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE REDES DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA.....	24
4 METODOLOGIA PARA MODELAGEM DE UMA REDE DE SUPRIMENTOS PARA ARMAZENAGEM DE <i>COMMODITIES</i> AGRÍCOLAS .....	31
4.1. ORGANIZAÇÃO DA METODOLOGIA .....	31
4.2. FONTES DE DADOS, VARIÁVEIS E FERRAMENTAS.....	33
4.2.1. Formato dos Dados de Entrada.....	33
4.2.2. Oferta de Facilidades Logísticas .....	33
4.2.3. Estimativas de Demanda.....	33
4.2.4. Rede de Transporte.....	34
4.2.5. Custo Médio de Transporte .....	34
4.2.6. Variáveis Econômicas para Tomada de Decisão .....	34
4.2.7. Ferramentas Computacionais de Modelagem e Geoinformação.....	35
4.3. A FUNÇÃO OBJETIVO .....	36
4.3. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA.....	38
4.4. ETAPAS METODOLOGÓGICAS.....	39
4.6. DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO .....	44
4.6.1. Estudo da Rede Logística de <i>Commodities</i> Sob a Ótica da Oferta-Demanda.....	44

4.6.2. Definições Quanto a Tamanho e Tipo de Facilidade Logística Padrão .....	45
4.6.3. Geração das Zonas de Suprimento para as Facilidades Logísticas .....	45
4.6.4. Modelagem de Localização de Facilidades Logísticas .....	47
4.6.5. Estimativa do Custo de Armazenagem.....	51
4.6.6. Estimativa do Volume de Investimento Necessário para as Facilidades Logísticas Simuladas.....	51
5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DO ESTUDO DE CASO .....	53
6 RESULTADOS.....	60
7 CONCLUSÕES.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69
APÊNDICE I – METODOLOGIA DE IDENTIFICAÇÃO DE CULTIVOS .....	83

## LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 1.1 – Volume exportado dos complexos soja e milho no ano de 2017 em milhões de toneladas.....	5
Tabela 1.2 – Matriz de receitas potenciais das exportações brasileiras de soja e milho. Valores em mil USD para o volume de exportação multiplicado pela diferença entre o preço máximo do ano menos 10% e preço do mês.....	8
Tabela 2.1 – Classificação dos modelos de localização baseado no nível de dinâmica incorporado em sua metodologia de cálculo, segundo Arabani & Farahani (2012).....	16
Tabela 4.1 – Grupos de variáveis que pertencem a cada um dos grandes eixos. ....	31
Tabela 4.2 – Variáveis condicionantes restritivas positivas e negativas.....	32
Tabela 5.1 – Custo operacional anual para armazenagem de grãos à granel. ....	51
Tabela 5.2 – Parâmetros aplicados para testar a aplicação da modelagem de localização para o caso de Nova Ubitatã – MT e resultados produzidos.....	58
Tabela 6.1 – Resultados das diferentes simulações para as novas redes de suprimento otimizadas para a demanda na safra 2018.....	62
Tabela 6.2 – Resultados das diferentes simulações para as novas redes de suprimento otimizadas para a previsão de safra em 2050. ....	63

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1.1– Evolução da área cultivada de soja e milho, para as safras 1991/1992, 2001/2002 e 2011/2012. Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA.....	4
Figura 1.3 - Preços <i>free on-board</i> (fob) de soja no Porto de Paranaguá – PR/BR entre janeiro de 2007 e fevereiro de 2020. Fonte: Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA-ESALQ/USP. Elaboração do autor. ..	11
Figura 2.1 – Desenvolvimento de Torricelli para o problema do Ponto de Fermat, desenvolvido no plano Euclidiano. ....	12
Figura 4.1 – Avaliação oferta-demanda de facilidades logísticas para a metodologia proposta com as restrições definidas. Fonte: Elaboração do autor. ....	40
Figura 4.2 – Agrupamento da demanda por clusters para a modelagem de novas facilidades logísticas. Fonte: Elaboração do autor. ....	42
Figura 4.3 – Ilustração do resultado do cálculo da nova rede de suprimentos para armazenagem de <i>commodities</i> agrícolas. Fonte: Elaboração do autor..	43
Figura 4.4 – Zonas de suprimento para as unidades de armazenamento já existentes no município de Nova Ubiratã – MT. Fonte: Elaboração do autor. ....	47
Figura 5.1 – Mapa de cultivo de soja e milho para o município de Nova Ubiratã, na Safra 2017/2018. ....	55
Figura 5.2 – Zonas de suprimento para o município de Nova Ubiratã – MT. Na figura as porções em amarelo são aquelas pertencentes ao mapa DATQuaR, as porções em verde representam as zonas de suprimento das unidades de armazenamento que já existem e estão representados nos pontos em preto na figura. ....	57
Figura 5.3 – Resultado da aplicação do ILOGIM, com o cálculo para a localização de 13 novas unidades de armazenamento de soja e milho para o município de Nova Ubiratã – MT. Fonte: Elaboração do autor. ....	59
Figura 6.1. Mapa de rede de suprimentos calculada a partir do modelo ILOGIM para a produção de soja e milho, para o ano 2018, com uma cobertura de 120% da produção.....	64

Figura 6. Mapa de rede de suprimentos calculada a partir do modelo ILOGIM para a produção de soja e milho para o ano 2050 com uma cobertura de 120% da produção.....65

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
ESALQ	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
USDA	United States Department of Agriculture
ICNA	Instituto da Confederação Nacional da Agricultura
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
ANEC	Associação Nacional dos Exportadores de Cereais
MTS	Ministério dos Transportes
PNLT	Plano Nacional de Logística e Transportes
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
SIG	Sistema de Informações Geográficas
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MT	Mato Grosso
MODIS	<i>MODerate resolution Imaging Spectroradiometer</i>
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
SICARM	Sistema de Cadastro Nacional de Unidades Armazenadoras
ILOGIM	<i>Integrated LOGIstic Network Model</i>
SUARM	Superintendência de Armazenagem
MMA	Ministério do Meio Ambiente
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
SIFRECA	Sistema de Informações de Fretes
PAM	Pesquisa Agrícola Municipal
DATQuaR	Detecção de Áreas agrícolas em Tempo QUase Real
MIN	Mínimo valor de índice de vegetação
MAX	Máximo valor de índice de vegetação
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

# 1 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma atividade chave para a humanidade devido aos produtos e empregos gerados e pela sua relevância para a economia. Segundo a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), em termos globais, aproximadamente 1,8 bilhão de pessoas dependem da agricultura como fonte de renda das famílias, sendo que a maioria dessas pessoas estão localizadas em países em desenvolvimento da América Latina, na África e na Ásia. Esta comunidade do agronegócio no mundo, em 2017, alcançou US\$ 3,4 trilhões de Dólares Americanos (USD) (World Bank, 2018).

Em geral, a produção de soja e de milho é realizada de maneira descentralizada em termos geográficos, devido às características de produtividade dos cultivos e à descontinuidade das áreas agrícolas ao longo do espaço. Esta condição faz com que esses produtos ocupem grandes extensões de terra (presentes na maioria dos estados brasileiros).

De modo geral, a produção de *commodities* agrícolas está localizada em regiões distantes dos portos (FERRO e CASTRO, 2013). Tais regiões de produção agrícola, em sua grande maioria, foram ocupadas recentemente, e ainda não dispõem da infraestrutura de escoamento e de armazenagem adequada aos volumes atualmente produzidos (MAIA *et al.*, 2013).

Na exportação da soja, por exemplo, a infraestrutura limitada gera impactos negativos nos custos logísticos da cadeia (GARRETT *et al.*, 2013). Para a safra 2013/2014 a participação do custo médio do transporte, por tonelada de soja e milho, em relação ao preço no destino do produto (consumidor final quer seja China, União Europeia ou outro), foi respectivamente, de 23% e 50%, o que equivale a US\$ 119,6 e US\$ 206,1 em valores comparados ao valor final no destino (CNT, 2015). Assim, os prejuízos estimados com o déficit de infraestrutura logística (diferença entre a capacidade de armazenamento e a produção) nacional em 2012 foram de 83,2 bilhões de dólares (THIMOTHEO, 2013).

Apesar do Brasil ocupar uma posição importante no mercado de *commodities* agrícolas, a estrutura de logística e armazenagem do país não é compatível com as necessidades da safra atual. Segundo a FAO (2020a), é recomendável que um país detenha uma capacidade estática de armazenagem de no mínimo 20% superior à produção. A capacidade estática total de armazenagem nacional gira em torno de 142 milhões de toneladas (PATINO *et al.*, 2013). Por outro lado, a presença de um sistema de armazenagem adequado reduz as oscilações de preços

para os agricultores, aumenta os ganhos da cadeia produtiva e impacta positivamente a economia de um país (FAO, 2020b; GOUEL, 2014).

Entende-se por *commodity* todo tipo de mercadoria em estado bruto ou em estado primário, amplamente produzida, de importância comercial, e que detém um padrão e é comercializada globalmente (SANDRONI, 1999). Em geral, essas têm seus preços definidos no mercado internacional nas bolsas de valores, em sua maioria a partir da Bolsa de commodities *Chicago Board of Trade* (CBOE) (HERMELINGMEIER, 2010).

As *commodities* agrícolas apresentam duas características peculiares: a primeira refere-se à conservação das características do produto que está ligada a um processo de secagem e armazenamento sob condições controladas (JAYAS, 2012). A outra refere-se à sazonalidade de colheita, pois grande parte da colheita nacional de soja acaba sendo realizada entre os meses de janeiro a março (IBGE, 2020b). Esta sazonalidade de colheita implica na necessidade de um sistema robusto, descentralizado e eficiente de secagem e armazenamento nas regiões produtoras (MAIA *et al.*, 2013).

Além disso, é preponderante que o sistema de armazenagem seja parte de um sistema logístico ágil e eficaz. Segundo BALLOU (1997), a logística é o processo de planejar, implementar e controlar de modo eficiente os custos reais do fluxo e armazenagem de matérias-primas até o produto final, assim como toda informação entre a origem e o consumidor de acordo com as especificações do cliente e com o mínimo custo. Porém, a logística brasileira está entre uma das mais ineficientes, e, conseqüentemente, entre uma das mais caras no mundo (ARVIS *et al.*, 2020).

Dado um cenário de projeções para o crescimento da população atual em aproximadamente 2 bilhões de habitantes, atingindo 9,5 bilhões de habitantes no ano de 2050 (FOLEY *et al.*, 2012), devido à pressão por consumo que esta situação vai criar no mercado (com um aumento da demanda), existe a necessidade de preparar as cadeias produtivas de soja e milho para suprir a demanda que virá com o crescimento da população (LAMBIN, 2012). As previsões indicam que o crescimento da produção agrícola mundial deverá ser ao redor de 30% até 2050 (ALEXANDRATOS e BRUINSMA, 2020).

## **1.1. COMMODITIES AGRÍCOLAS NO BRASIL**



No mercado global de *commodities* o Brasil detém posição de destaque no *ranking* dos maiores exportadores, com ênfase para a soja, produto em que o país é segundo maior produtor e o maior exportador, e para o milho, em que o Brasil é o terceiro maior produtor e o segundo maior exportador (USDA, 2020).

A produção dessas *commodities* agrícolas exige que os agricultores sejam altamente especializados demandando alta tecnologia para que possam concorrer por preços em um mercado global com preços arbitrados pelas leis da oferta e da procura. A produção dos cultivos de soja e milho possibilita uso compartilhado do maquinário e requer técnicas similares de cultivo. Estes fatos levam a ocorrência de soja e milho nas mesmas regiões, em muitos casos na mesma área em diferentes momentos ao longo do ano agrícola (MASCARENHAS *et al.*, 1993). Soja e milho também podem utilizar a mesma estrutura de secagem e armazenagem em momentos diferentes da safra, o que reduz custos e viabiliza a instalação de estruturas de armazenagem em regiões de fronteira agrícola (MAIA *et al.*, 2013).

Exceto para áreas de agricultura irrigada, a maior parte da semeadura da agricultura brasileira ocorre na estação das chuvas (meses entre outubro e abril para a grande maioria do país) e com a colheita concentrada entre janeiro e maio (IBGE, 2020b). Isso acontece porque durante a estação das chuvas a rodagem de caminhões nas estradas, em algumas regiões brasileiras, é prejudicada (ICNA, 2012).

Ao longo de 20 anos, entre as safras 1991/1992 e 2011/2012, o volume e a distribuição das culturas de soja e milho mudaram, com uma visível expansão para o Oeste do Brasil (estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás) e para o Norte (Bahia, Maranhão, Tocantins e Piauí) (Figura 1.1).

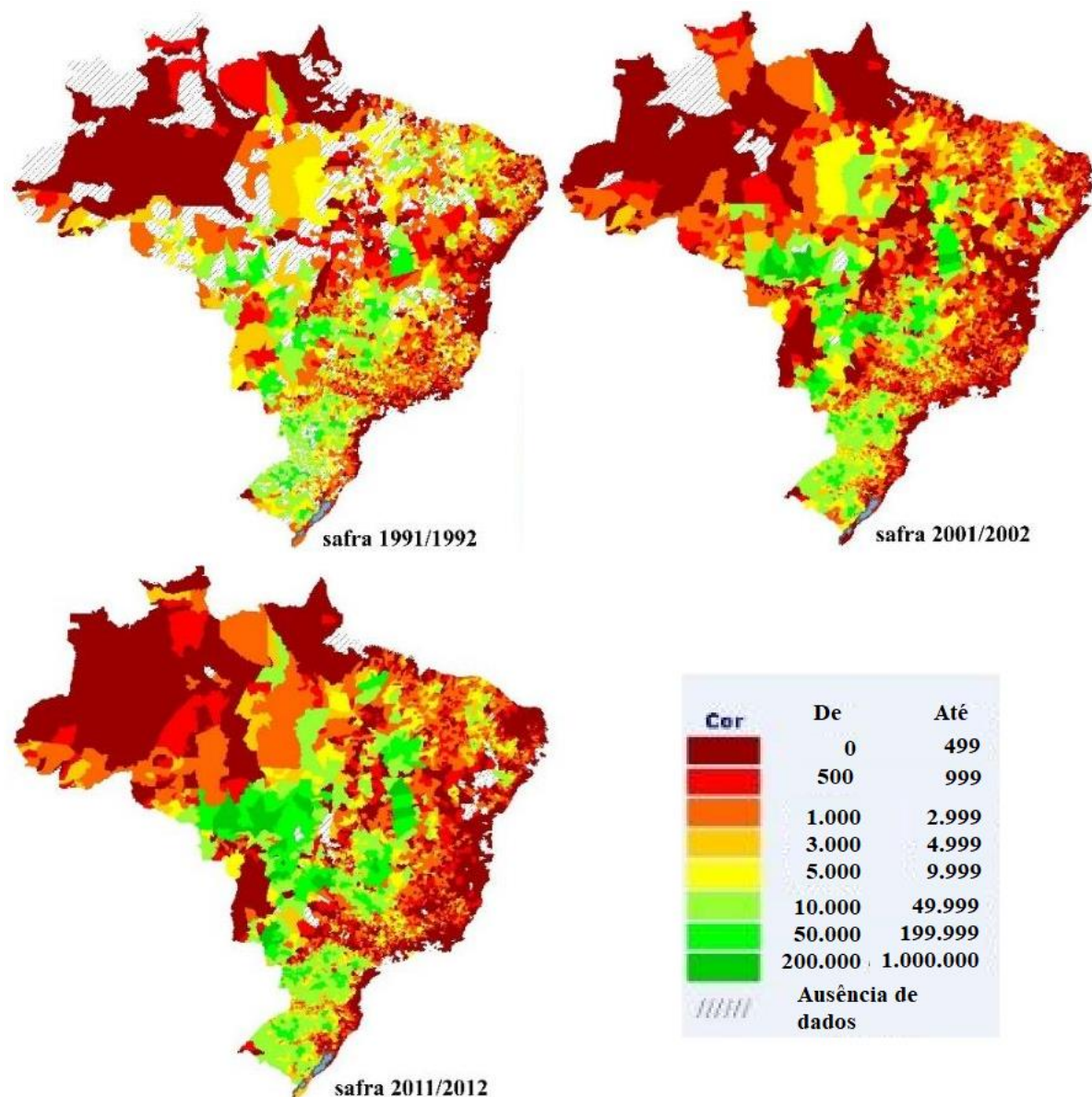


Figura 1.1– Evolução da área cultivada de soja e milho, para as safras 1991/1992, 2001/2002 e 2011/2012. Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Elaboração do autor.

## 1.2. EXPORTAÇÃO DE *COMMODITIES* AGRÍCOLAS NO BRASIL E NO MATO GROSSO

As exportações brasileiras de *commodities* agrícolas ocorrem por meio do complexo portuário nacional, pois seu destino é em grande maioria para a Europa e a Ásia. Embora estas sejam produzidas em quase todos os Estados do País (Figura 1.1), os principais portos de exportação são os de Santos (São Paulo), Paranaguá (Paraná), Rio Grande (Rio Grande do Sul), Itaquí (Maranhão) e Barbacena (Pará) (Tabela 1.1). Esse cenário leva as cargas a percorrerem grandes distâncias até o embarque, o que aumenta o custo logístico. O volume exportado pelos nove

portos mais importantes para soja e milho totalizou mais de 115 milhões de toneladas no ano de 2019 (ANEC, 2020; Tabela 1.1).

Tabela 1.1 – Volume exportado dos complexos soja e milho no ano de 2017 em milhões de toneladas.

Portos (estados)	Total (em milhões de
Santos (São Paulo)	37,9
Paranaguá (Paraná)	20,4
Rio Grande (Rio Grande do Sul)	14,8
Itaqui (Maranhão)	10,8
Barbacena (Pará)	10,1
Santarém (Pará)	5,8
São Francisco do Sul (Santa Catarina)	5,3
Vitória (Espírito Santo)	5,1
São Luís (Maranhão)	4,67

Fonte: Associação Nacional de Exportadores de Cereais (ANEC, 2020). Elaboração do autor.

A concentração na movimentação de *commodities* demanda o surgimento de novos corredores logísticos. Devido aos problemas de infraestrutura logística, as perdas na cadeia de soja e milho foram de aproximadamente quatro bilhões de reais na safra 2012 (THIMOTEO, 2013). O Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) foi elaborado pelo Ministério dos Transportes (MT) e o Ministério da Defesa justamente para propor soluções às demandas logísticas do País (MT, 2020).

Existe uma perspectiva de crescimento da produção brasileira de soja e milho a curto e médio prazos (MAPA, 2016) que não é acompanhado pela taxa de expansão da infraestrutura de armazenagem. Logo, o déficit de armazenagem tende a crescer (PATINO *et al.*, 2013; MAIA *et al.*, 2013). Especificamente no caso da safra nacional 2017/2018, com produção de aproximadamente 208 milhões de toneladas (CONAB, 2020) havia uma relação na qual 74% do volume de produção dispunha de armazenagem. Comparada a recomendação da FAO (2020a), que é de capacidade de armazenagem 20% superior ao volume da safra, registra-se um déficit de aproximadamente 56% de capacidade estática disponível no país para a safra 2017/2018.

Este déficit é maior nas regiões do País em que a produção está em expansão e tende a continuar por muitos anos, como indicam as previsões do MAPA (2016), por exemplo, no Centro-Oeste e MAPITOBA (conjunto de Estados formados por Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia) (AGUIAR *et al.*, 2020). Segundo o MAPA (2016), o volume combinado de soja e milho deve

seguir crescendo até atingir, na safra 2023/2024, mais de 245 milhões de toneladas. Isso reforça a necessidade de aumentar a infraestrutura logística (vias de escoamento e estruturas de armazenagem) para as *commodities* agrícolas, já que soja e milho disputarão espaço de armazenagem com os demais grãos (PATINO *et al.*, 2013).

### 1.3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A ausência de rede logística eficiente no Estado do MT e no Brasil acaba por gerar dificuldades de escoamento da produção, redução da margem de lucro dos agentes do agronegócio e ainda fragiliza a agroindústria nacional (devido à instabilidade de suprimento de insumos para as cadeias de produção de carnes ou à exposição a instabilidades de preços dos insumos da alimentação animal ou humana).

Tomando como exemplo os preços *free on board* médios diários em dólares americanos (USD) para soja e milho no porto de Paranaguá-PR e o volume de exportação nacional mensal, ambos entre os anos de 2008 e 2016, pode-se estimar qual o impacto da ausência de capacidade de armazenagem na receita potencial (Tabela 1.2).

A receita potencial apresentada na Tabela 1.2 foi calculada a partir de 90% do valor máximo para os preços de cada uma das *commodities*, em cada um dos anos subtraído do preço médio de cada mês, de cada respectivo ano, multiplicado pelo volume de soja e milho exportado naquele mesmo mês.

O resultado desse cálculo permitiu verificar que entre 2008 e 2016 houve um custo de oportunidade para o Brasil de aproximadamente US\$ 18,8 bilhões, por conta da venda de soja e milho em meses de safra que apresentam preços mais baixos que os ocorridos tradicionalmente na entressafra. Os valores desta grandeza podem representar importantes recursos em regiões produtoras e de agroindústria, desde que pudessem ser incorporados a cadeia produtiva e não transferidas ao produto com custo de oportunidade de não utilização de armazenagem. Se forem adicionados a esses valores os custos logísticos do agronegócio, como os custos de transporte por conta da deficiente infraestrutura e o tempo de espera por embarcar os produtos nos portos, possivelmente os valores sejam ainda maiores.

Adicionalmente, poderia ser incluído entre os problemas da ausência de uma rede logística para *commodities* agrícolas a necessidade de instalação de armazéns e secadores na propriedade, que poderiam gerar um efeito estabilizador ao sistema logístico (COCCA & GALVES, 2016).

Assim, a ausência de uma rede logística eficiente representa prejuízos consideráveis à economia nacional. E é nesse escopo que esta tese de doutorado propôs uma metodologia de estimativa de déficit em armazenagem de commodities agrícolas, que como resultado possa indicar soluções que possam orientar como reduzir os custos logísticos e ao mesmo tempo cobrir o déficit em armazenagem.

Tabela 1.2 – Matriz de receitas potenciais das exportações brasileiras de soja e milho. Valores em mil USD para o volume de exportação multiplicado pela diferença entre o preço máximo do ano menos 10% e preço do mês.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Janeiro</b>	\$ 1,485	\$ -49,116	\$ -90,450	\$ -24,207	\$ 3,098	\$ -8,185	\$ -135,807	\$ 3,471	\$ -316,555
<b>Fevereiro</b>	\$ -15,651*	\$ -51,192	\$ -135,081	\$ -7,097	\$ -23,210	\$ 5,424	\$ -73,271	\$ -19,999	\$ -368,821
<b>Março</b>	\$ -48,856	\$ -146,726	\$ -358,881	\$ -18,049	\$ -89,107	\$ -69,266	\$ 11,347	\$ -84,596	\$ -226,582
<b>Abril</b>	\$ -100,854	\$ -171,719	\$ -537,392	\$ -35,359	\$ -254,214	\$ -401,075	\$ -7,533	\$ -187,326	\$ -119,022
<b>Mai</b>	\$ -70,259	\$ -79,758	\$ -613,044	\$ -134,222	\$ -588,711	\$ -483,578	\$ -138,784	\$ -275,164	\$ 14,579
<b>Junho</b>	\$ -47,701	\$ -43,132	\$ -397,299	\$ 5,760	\$ -458,153	\$ -464,389	\$ -258,160	\$ -331,637	\$ -13,289
<b>Julho</b>	\$ 7,264	\$ -64,663	\$ -427,981	\$ 6,682	\$ -292,306	\$ -552,504	\$ -373,936	\$ -335,353	\$ -91,530
<b>Agosto</b>	\$ -93,452	\$ -69,520	\$ -343,132	\$ -30,935	\$ -77,785	\$ -847,747	\$ -429,241	\$ -403,370	\$ -29,830
<b>Setembro</b>	\$ -145,935	\$ -52,880	\$ -161,491	\$ -78,834	\$ -112,177	\$ -602,361	\$ -408,428	\$ -302,065	\$ -97,714
<b>Outubro</b>	\$ -168,973	\$ 2,567	\$ -73,823	\$ -93,307	\$ -140,435	\$ -480,137	\$ -285,571	\$ -215,195	\$ -35,812
<b>Novembro</b>	\$ -206,670	\$ 1,084	\$ -4,681	\$ -116,336	\$ -57,737	\$ -391,781	\$ -167,127	\$ -155,866	\$ -50,402
<b>Dezembro</b>	\$ -306,432	\$ -7,883	\$ 3,596	\$ -150,550	\$ -23,631	\$ -261,631	\$ -209,215	\$ -122,612	\$ -37,183
<b>Soma Anual</b>	\$ -1.204,783#	\$ -736,588	\$ -3.143,257	\$ -688,896	\$ -2.117,464	\$ -4.562,653	\$ -2.487,074	\$ -2.433,183	\$ -1.386,741

\*Valores negativos (em negrito) representam vendas a preços abaixo de 90% do preço máximo do ano (configurando assim uma receita que deixou de circular no país). Valores positivos representam balanço positivo, ou seja, vendas acima de 90% do máximo valor do ano.

#Valores da soma anual representam somente a soma dos valores negativos (ou receitas potenciais perdas).

#### **1.4. PROBLEMA DE PESQUISA**

Considerando-se o déficit de uma rede de armazenagem e escoamento de soja e milho no País, o problema de pesquisa que se faz pertinente é: “*Como modelar uma rede de suprimentos, considerando a solução ótima para o armazenamento e o escoamento de commodities agrícolas?*”

#### **1.5. OBJETIVOS**

##### **1.6. OBJETIVO GERAL**

O objetivo do trabalho foi desenvolver uma metodologia para definição de rede de suprimentos para armazenagem e escoamento de *commodities* agrícolas que atenda à demanda de uma região a partir de sua produção e, simultaneamente, minimize os custos logísticos da rede de suprimentos.

##### **1.7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Alinhados ao objetivo geral estão os seguintes objetivos específicos:

- Elaborar um mecanismo de análise de uma rede de suprimentos de *commodities* até as unidades de armazenagem com base no confronto entre oferta e demanda de capacidade estática de armazenagem;
- Dimensionar uma rede de suprimentos para armazenagem de *commodities* agrícolas a partir do déficit estimado na modelagem de oferta e demanda.

##### **1.8. - JUSTIFICATIVA**

A matriz brasileira das exportações de *commodities* agrícolas anuais tem a predominância da soja e do milho, culturas que representaram mais de 60% do volume e 30% dos valores das exportações nacionais no ano de 2017/2018. Porém, apesar de sua importância, o setor produtor de *commodities* agrícolas ainda não dispõe de infraestrutura logística adequada para a estocagem e escoamento dessas *commodities*.

Em um cenário de déficit de infraestrutura logística para o escoamento da produção, somado à expansão do volume produzido e exportado, surge a oportunidade da geração de uma metodologia capaz de definir a melhor localização e alocação das áreas de produção a respectiva

facilidade logística possível para uma rede de suprimentos de *commodities* agrícolas. Esta metodologia também pode auxiliar a tomada de decisão dos *stakeholders*, tanto aqueles vinculados ao poder público para a identificação das demandas por políticas públicas, como para os entes privados, como empresas do agronegócio e cooperativas, para redução de custos que terão impactos diretos nas margens usufruídas pelos produtores.

O Brasil conta com uma capacidade estática de armazenagem de aproximadamente 155 milhões de toneladas (CONAB, 2020b), que representa um sério déficit de infraestrutura de armazenagem. Segundo FAO (2020), seriam necessários aproximadamente 85 milhões de toneladas de capacidade de armazenagem adicional, ou 55% de aumento sobre a capacidade instalada, para suprir a demanda de armazéns para a produção da safra 2017/2018, no país.

O déficit de infraestrutura de armazenagem juntamente com a questão da sazonalidade de preços das *commodities* agrícolas produzem efeitos negativos para os agentes envolvidos na cadeia de produção. Por exemplo, entre as safras 2010/2011 e 2015/2016, os preços em dólares americanos de soja e milho estiveram muito acima da média histórica (Figura 1.3). Com patamares de preços altos e de grande demanda pelos produtos, a tendência é de que a safra nacional seja colhida e encaminhada à exportação, via portos, quase que imediatamente após a colheita, sem passar por nenhuma estrutura de armazenagem.

Porém, em cenário de super safra mundial e desaquecimento econômico, tal qual o verificado entre os anos de 2015 e 2020, nos quais os preços das *commodities* em dólar americano apresentaram queda (Figura 1.3) existe a tendência de dificuldade de comercialização de soja e milho no mercado, passamos a incorrer em dificuldades para os envolvidos na cadeia produtiva, especialmente para os produtores. Adicionalmente, verifica-se uma tendência geral nas *commodities* (não somente nas agrícolas) de preços em queda duradoura, sem perspectiva de retorno aos patamares praticados nas safras de 2012/2013 e 2013/2014. Estas condições de mercado associadas ao déficit logístico e de armazenagem, podem produzir reflexos negativos no segmento agropecuário para a maioria dos atores das cadeias de exportação do setor agropecuário brasileiro com sua repercussão na economia brasileira como um todo.



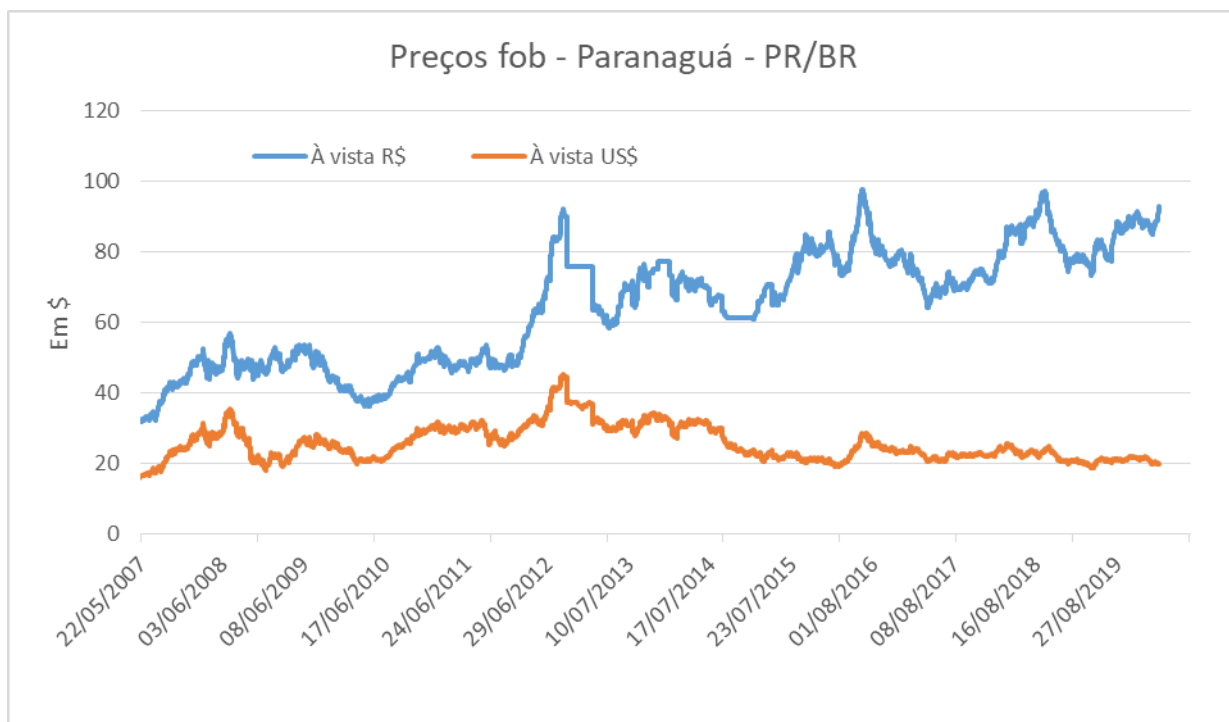


Figura 1.3 - Preços *free on-board* (fob) de soja no Porto de Paranaguá – PR/BR entre janeiro de 2007 e fevereiro de 2020. Fonte: Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA-ESALQ/USP. Elaboração do autor.

Assim, o presente trabalho pretende desenvolver um metodologia de construção da rede de suprimento de modo integrado, com a indicação de localização de novas estruturas de armazenagem, adicionadas aquelas já existentes, considerando a rede de transportes, buscando o menor custo de transporte para o sistema logístico de soja e milho e o suprimento do déficit logístico de uma rede de suprimentos composta por pontos de produção, vias de escoamento e facilidades logísticas de armazenamento.

## 2 A TEORIA DE LOCALIZAÇÃO

Entende-se por análise de localização o processo de modelagem, formulação e solução para o problema de localização espacial (FARAHANI & HEKMATFAR, 2009; DAVARI *et al.*, 2011). Os problemas de localização se alinham à escolha de um conjunto de pontos a serem estabelecidos para um determinado tipo de instalações, de maneira que: maximize o nível de serviço para os usuários; minimize os custos de operação e os custos de investimento, considerando diferentes critérios e um dado conjunto de restrições (GEOFFRION & POWERS, 1980; PEREZ *et al.*, 2004; FARAHANI & HEKMATFAR, 2009).

A origem do problema de localização ou de minimização de distâncias origina-se nos trabalhos de Pierre Fermat (1601-1665), com a busca de um método de cálculo capaz de determinar a mínima distância entre pontos em um plano Euclidiano. Um dos responsáveis por aplicar os conceitos de Fermat na solução do problema foi o italiano Torricelli (1608-1647). A interpretação de Torricelli para o problema levou à construção analítica de um conjunto de triângulos e círculos a partir dos três pontos estabelecidos no plano euclidiano (Figura 2.1).

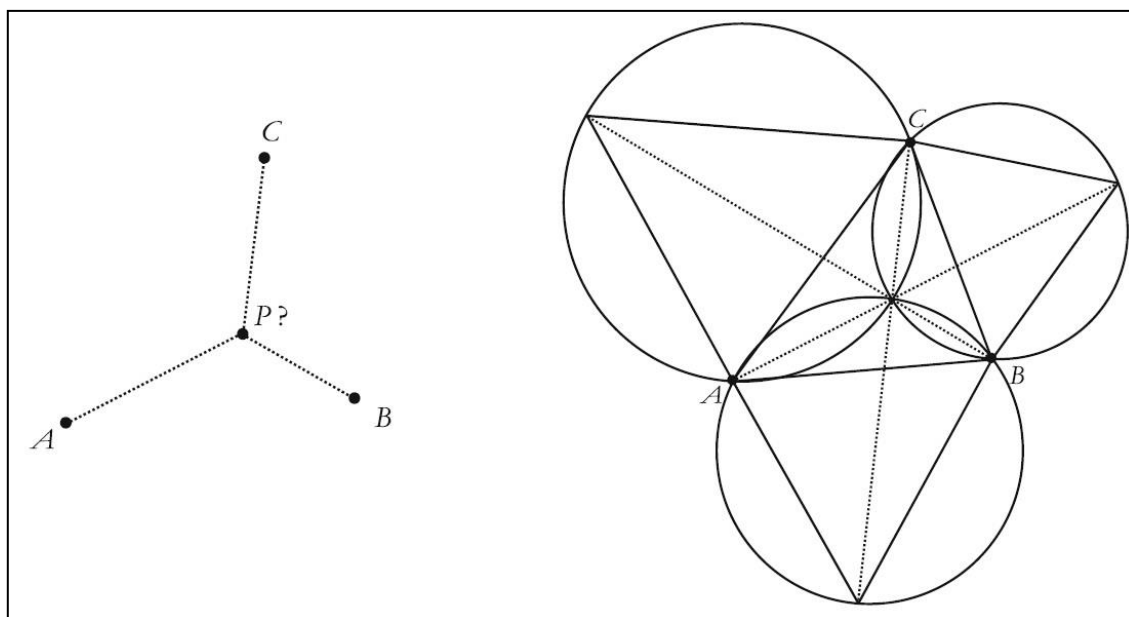


Figura 2.1 – Desenvolvimento de Torricelli para o problema do Ponto de Fermat, desenvolvido no plano Euclidiano.

Fonte: Adaptado de Laporte *et al.* (2015).

Os trabalhos a seguir desenvolvidos por diversos pesquisadores como Johann Heinrich Von Thünen (1783-1850), Carl Wilhelm Friedrich Launhardt (1832-1918) e Alfred Weber (1868–1958), entre outros, acompanharam a abordagem de Fermat e Torricelli (LAPORTE *et al.*,

2015). Outro trabalho importante para a ciência da localização foi o de Hotelling (1929), o qual analisou a concorrência e o efeito da estabilidade em empresas, fato que foi transposto como conceito para os modelos de localização.

Modernamente, a teoria de localização consolida-se como um campo da pesquisa operacional para buscar a melhor localização de facilidades logísticas com a alocação de recursos escassos. O conceito de “melhor localização” pode ser definido como aquela posição onde devido as restrições definidas para o caso é obtido o melhor resultado (LAPORTE *et al.*, 2015).

A partir dos anos 1960, a ciência da localização passou a ser um dos grandes campos de pesquisa operacional, especialmente a partir dos trabalhos de Miehle (1958) e Cooper (1963), que introduziram a ideia de múltiplas localizações simultâneas, e especialmente, o de Cooper (1963), que introduziu o conceito do problema de p-mediana, com cada ponto de demanda servindo como um possível local para uma nova estrutura a ser localizada.

Outro avanço importante foi a formulação do conceito de mediana gráfica absoluta (HAKIMI, 1964, 1965). Esse postulado define que uma estrutura pode ser locada em qualquer lugar da rede de transporte, desde que minimize a soma das distâncias de todos os nós da rede. Essa hipótese foi provada pelo autor com a determinação de que sempre existe uma solução ótima que é o vértice do grafo. Adicionalmente, esse trabalho foi o primeiro a tratar da ideia de um centro absoluto para a localização de uma estrutura em qualquer local que minimize a máxima distância dos pontos de abastecimento até a estrutura a ser locada (HAKIMI, 1964; LAPORTE *et al.*, 2015).

Em um passo seguinte, foi introduzida a ideia de múltiplas instalações ao mesmo tempo, resultando no formato clássico do problema de p-mediana, que ainda possibilitou utilizar programação inteira e técnicas de otimização combinatória (HAKIMI, 1965; LAPORTE *et al.*, 2015).

A partir desses trabalhos seminais muitos trabalhos foram derivados, como por exemplo, a localização de facilidades logísticas baseadas em soluções discretas por meio de um mix de programação linear inteira (BALINSKI, 1965). Outro trabalho que avançou nesse campo foi o de Reville & Swan (1970), que combinou programação linear inteira mista para localizações discretas no problema de p-medianas (LAPORTE *et al.*, 2015).

De maneira geral, nas primeiras décadas da ciência da localização, o maior foco dos trabalhos estava no desenvolvimento teórico dos problemas e suas soluções (LAPORTE *et al.*, 2015).

Atualmente muito dos trabalhos tem como objetivo o desenvolvimento de técnicas de localização contínua.

## **2.1. PROBLEMAS NP-HARD**

Uma das principais características dos problemas de localização e de transporte e logística estão relacionados ao crescimento da complexidade de resolução de um problema em função do aumento do tamanho da área ou conjunto de observações a ser tratada pela metodologia. De tal forma a complexidade de resolução do problema está em função direta ao aumento das combinações possíveis entre as variáveis envolvidas na elaboração da solução (Revelle et al., 2008). Neste contexto, a complexidade matemática pode variar em diferentes níveis em relação ao tempo necessário para obter uma solução ao problema.

Em relação a solução que foi construída neste trabalho, um dos principais elementos diferenciadores esteve na busca por um conjunto de alternativas que fossem capazes de evitar que a solução da metodologia proposta utilizasse algoritmo que resultasse em algum tipo np-hard.

## **2.2. MODELOS DE LOCALIZAÇÃO**

A definição do tipo de modelo de localização a ser utilizado depende de uma análise cuidadosa do conjunto de variáveis e circunstâncias que emanam do problema a ser modelado e ainda de considerar as soluções possíveis e o objetivo a ser alcançado com o processo de modelagem. Para tanto, é adequado que seja realizada uma análise do maior número de pesquisas possível, que possam servir de referência ao desenvolvimento da solução mais ajustada.

A classificação dos métodos de localização de facilidades logísticas pode ser realizada em relação ao tratamento do espaço (contínuo, rede de transporte ou discreta), e ainda com relação ao contexto, nome dos objetos, restrições ou tipos de facilidades logísticas envolvidas (LAPORTE et al., 2015). Ou ainda podem ser classificadas com relação à função objetivo que adotam, sendo elas: *minsum*, *covering*, *minmax*. Também podem considerar a localização da facilidade logística, se para entes públicos, economia mista ou privados (EISELT & MARIANOV, 2011).

Revelle et al. (2008) definem a classificação desses modelos de localização em quatro grandes grupos: a) modelos analíticos, b) modelos contínuos, c) modelos de redes, d) modelos discretos.

Os *modelos analíticos* são aqueles construídos com base em um grande número de simplificações: demanda uniforme em relação à densidade de facilidades em uma região, custos são uma função direta do número de facilidades a serem instaladas, e é considerada uma estimativa de custos totais e do número de localizações. Porém, em função do nível de restrições, os resultados acabam tendo baixo valor para a tomada de decisão.

Já os *modelos contínuos* na classificação de Revelle *et al.* (2008), tratam o espaço como sendo contínuo e permitem que as facilidades a serem instaladas sejam locadas em qualquer local do espaço. O conceito teórico clássico para esse tipo de modelo vem do problema de Webber. Os modelos contínuos preveem a utilização da abordagem de cálculo de distância euclidiana, sendo pouco apropriado muitas vezes para logística, porém, com aplicação recomendada para localização de antenas de transmissão, sinal de celular ou de rádio, além de câmeras de vigilância, entre outros.

Por outro lado, os *modelos de redes* tratam a busca das localizações atreladas à rede de transporte, que é composta por ligações e nós. De modo geral, a demanda é posicionada nos nós, podendo ser alocada em nós e ligações, como por exemplo, um serviço de atendimento de emergência em uma autoestrada. Uma das limitações desse tipo de abordagem é o elevado tempo de processamento para a elaboração de uma solução.

Ainda na classificação de Revelle *et al.* (2008), os modelos discretos assumem que existem dois conjuntos discretos, um de demandas e outro de candidatos a localizações, e que a solução desse problema pode ser dada por programação linear inteira mista. Porém, essa configuração leva os modelos à busca de solução ao nível dos chamados “*NP-Hard problems*”, que nada mais são do que modelos de difícil solução para análise em rede e que necessitam de grande demanda computacional para prover uma solução ótima.

Arabani & Farahani (2012) revisaram os métodos de localização que consideram diferentes dinâmicas temporais (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Classificação dos modelos de localização baseado no nível de dinâmica incorporado em sua metodologia de cálculo, segundo Arabani & Farahani (2012).

<b>Localização de facilidades logísticas determinística dinâmica</b>	<b>Erlenkotter (1981)</b> <b>Abravaya &amp; Berend (2009)</b> <b>Miller et al. (2007)</b> <b>Daskin et al. (1992)</b> <b>Bozkaya et al. (2010)</b> <b>Thanh et al. (2008)</b>	<b>Puerto &amp; Rodriguez-Chia (2006)</b> <b>Shulman (1991)</b> <b>Gebennini et al. (2009)</b> <b>Behmardi and Lee (2008)</b> <b>Saldanha-da-Gama &amp; Captivo (1998)</b>
<b>Localização ou Realocação de facilidades logísticas</b>	Brotcorne et al. (2003) Dias et al. (2008) Wang et al. (2003) Melo et al. (2006) Dias et al. (2006) Koontz et al. (2009) Gendreau et al. (2001) Naraharisetti and Karimi (2010)	Frantzeskakis & Watson-Gandy (1989) Emamizadeh & Farahani (1997) Hinojosa et al. (2008) Min & Melachrinoudis (1999) Farahani, Drezner et al. (2009) Melachrinoudis and Min (2000) Dias et al. (2007a, 2007b)
<b>Localização de facilidades logísticas de múltiplos períodos</b>	Sherali (1990) Acar et al. (2009) Gue (2003) Chardaire et al. (1996) Mahar et al. (2009) Gen & Syarif (2005) Hinojosa et al. (2000) Antunes & Peeters (2001)	Canel et al. (2001) Melachrinoudis et al. (1995) Albareda-Sambola et al. (2009) Romeijn and Morales (2004) Antunes and Peeters (2000) Alanis et al. (2010) Manzini & Gebennini (2008) Rajagopalan et al. (2008)
<b>Localização de facilidades logísticas dependente do tempo</b>	Batta (1989) Averbakh et al. (2007) Averbakh et al. (1998)	Drezner & Wesolowsky (1996) Drezner & Wesolowsky (1991)
<b>Localização estatística ou probabilística de facilidades logísticas estatísticas</b>	Chan et al. (2001) Lee & Jeong (2009) Lin (2009) Alonso-Ayuso et al. (2003) Yao et al. (2010) Baron et al. (2008) Aghezzaf (2005) Wang et al. (2011)	Romauch & Hartl (2005) Killmer et al. (2001) Gabor and Van Ommeren (2006) Snyder et al. (2007) Averbakh (2003) Albareda-Sambola et al. (2011) Schütz et al. (2008)
<b>Localização de facilidades por fuzzy</b>	Yang et al. (2007) Lau et al. (2010) Esnaf and Küçükdeniz (2009) Liu (2008) Mokhtarian (2011) Vahidnia et al. (2009)	Bashiri and Hosseininezhad (2009) Chou et al. (2008) Moheb-Alizadeh et al. (2011) Liu and Tian (2009) Wen and Iwamura (2008b) Wen and Kang (2011)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como é possível verificar nessa análise histórica e de classificação, existem muitas diferenças no processo de tratamento de dados, bem como no processo de classificação dos modelos, o que pode ser classificado de diversas formas em múltiplos níveis e sistemas.

Os trabalhos clássicos de localização estão entre os realizados por Huff (1966) e Reville & Swain (1970). Pode-se separar as pesquisas com base nas diversas técnicas que tratam os

fenômenos como discretos, como a chamada p-centro (TANSEL *et al.*, 1983a; KARIV & HAKIMI, 1979a, OWEN & DASKIN, 1998) ou p-mediana (KARIV & HAKIMI, 1979b; TANSEL *et al.*, 1983a, OWEN & DASKIN, 1998; TANSEL *et al.*, 1983b; BHATTACHARYA *et al.*, 1992; CHUNG & TCHA, 1992).

Existem ainda diversos trabalhos que se referem ao uso de lógica *fuzzy* (nebulosa ou difusa), principalmente por se constituírem de métodos que consideram as incertezas ou probabilidades em sua análise (BHATTACHARYA *et al.*, 1992; CANÓS *et al.*, 2001; DAVARI *et al.*, 2011; WEN & KANG, 2011; LIANG & WANG, 1991; ELIA, 2005; ROSSI, 2013).

Trabalhos de revisão na ciência da localização foram elaborados com diferentes abordagens, entre os quais pode-se destacar Revelle *et al.* (2008), que trataram de classificar 81 trabalhos dentro das metodologias que utilizam o método de p-mediana e problemas de localização de plantas, e ainda 34 pesquisas que utilizaram p-centro e problemas de cobertura.

Já Arabani & Farahani (2012) revisaram um conjunto de 167 artigos sobre os diferentes métodos de cálculo de localização de facilidades que consideram a dinâmica de demanda e oferta. Outro trabalho importante neste escopo é o de Crainic *et al.* (2015) que trata de como considerar a dinâmica da demanda no processo de cálculo de localização.

Em relação aos métodos de cálculo que consideram como ponto central a capacidade de cobertura, Farahani *et al.* (2012) analisaram 176 diferentes pesquisas para delinear quais as abordagens tratam esse assunto e quais os resultados possíveis de serem obtidos por esses artigos. Cabe ressaltar que muitos desses trabalhos trataram de estudar ou modelar problemas do mundo real, como por exemplo, atendimentos de emergência, paradas de ônibus, centro de saúde ou localizações de unidades do corpo de bombeiros.

Outra forma de localização de facilidades logísticas está naquelas que consideram um nível de incerteza de demanda para a busca por suprimento de demanda (SNYDER, 2006). O autor desta revisão traz um conjunto de diferentes tipos de modelagem que tratam de problemas reais, como por exemplo, atendimentos de saúde, evacuações militares médicas, localizações de estações de bombeiros, entre outros.

A localização de facilidades logísticas e suas relações com a cadeia de suprimento são abordadas por Melo *et al.* (2009), que analisaram um conjunto de 139 pesquisas. Destaca-se nos resultados a redução de custos das operações em análise, presente em 75% dos casos estudados.

Sahin & Sural (2007) revisaram os modelos de localização de facilidades logísticas baseados em modelos hierárquicos. Os artigos revisados foram classificados em torno do tipo de metodologia adotada, padrão do fluxo da metodologia, tipo e nível de serviço disponível em cada nível hierárquico e pela configuração espacial do problema. Os autores trataram ainda de separar aplicações para sistemas de saúde, manejo de resíduos sólidos, sistemas de distribuição-produção, sistema educacional, sistema de atendimento de emergência de saúde, rede de telecomunicações, entre outros.

Owen & Daskin (1998) revisaram os trabalhos que consideram o caráter estratégico de definição das potenciais localizações. Um dos focos do levantamento foi a busca por trabalhos que transcendiam as abordagens determinísticas, que acabam por simplificar demasiadamente os modelos em relação à realidade e, conseqüentemente, limitam a produção de resultados e restringem a possibilidade de geração de cenários com base em incertezas.

De modo semelhante, Farahani *et al.* (2010) trabalharam com as pesquisas de modelagem de localização baseadas em sistemas de múltiplos critérios ou atributos. Os trabalhos foram classificados em termos de metodologia adotada para calcular a localização, tipo de as soluções heurísticas, critérios de escolha da localização (custo, riscos ambientais, cobertura, nível de serviço e efetividade, lucratividade, acessibilidade, riscos sociais ou políticos). Essa classificação foi dividida basicamente em três diferentes abordagens: a) biobjetivo, b) k-objetivo, e c) multi-atributo. Assim, todas as pesquisas em que os modelos buscavam produzir modelagem de localização que tinham duas variáveis na função objetivo, foram chamadas biobjetivo. De modo similar, os casos em que a modelagem considerou mais do que duas variáveis na função objetivo, foram denominados modelos k-objetivos. E, por fim, os casos onde os modelos consideraram múltiplos atributos no processo de construção, foram agrupados na classe denominada “multi-atributo”.

Uma das técnicas de maior uso para a modelagem de localização de facilidades logísticas é da lógica *fuzzy* (CHUNG & TCHA, 1992; CANÓS *et al.*, 2001; PÉREZ *et al.*, 2004; MARTINS, 2010; ZHONG *et al.*, 2014; TOHIDI, 2015). Essa técnica adota a lógica nebulosa para modelar o resultado com base em um conjunto resposta de números reais, com distribuição contínua de possíveis soluções (CANÓS *et al.*, 2001). No caso de localização de facilidades logísticas, esse intervalo difuso pode ser o valor de demanda (WEN & KANG, 2011; ZHOU & LIU, 2007), a posição no espaço geográfico para instalação da unidade logística (CHUNG & TCHA, 1992; BHATTACHARYA *et al.*, 1993; KAHRAMAN *et al.*, 2003; CHOU *et al.*, 2008;



CRISTELLOTTI, 2011;ZHANG *et al.*, 2011;TOHIDI, 2015; JAKUBOVKIS, 2017), tempo de viagens considerando as localizações escolhidas (DAVARI *et al.*, 2011), a alocação dos demandantes para cada unidade logística ou ainda a eleição de locais preferentes para a instalação (ISHII *et al.*, 2007), adoção de múltiplos objetivos para seleção de fornecedores para sistemas de logística reversa com mínimo custo (BHATTACHARYA *et al.*, 1992; OZGEN & GULSUN, 2014; MOGHADDAM, 2015), ou que considerem localização e alocação simultaneamente (WEN & IWAMURA, 2008a; WEN & IWAMURA, 2008b; HOSSEININEZHAD *et al.*, 2014; ZHONG *et al.*, 2014).

Adicionalmente, diversos outros trabalhos tratam de modelagem de localização baseada em metodologias multicritérios, como por exemplo, *Multi Criteria Decision Aid* (MCDA; ZAMBON *et al.*, 2005; BARBOZA & VIEIRA, 2014; BOCCA & GALVES, 2016), *Multi Criteria Decision Making* (MCDM; TABARI *et al.*, 2008; VILLACRESES *et al.*, 2017), e *Analythic Hierarchy Process* (AHP; RANDHAWA & WEST, 1995; BADRI, 1999; SULTANA & KUMAR, 2012; COSTA *et al.*, 2013; GARCÍA *et al.*, 2014; KARA & DUKKANCI, 2017).

Um modelo de localização de facilidades logísticas também pode considerar a máxima cobertura com um determinado número de facilidades logísticas. Nesta linha, Chiyoshi *et al.* (2002) utilizam o modelo de hiper-cubo para definir uma solução ao modelo de localização que permita a máxima cobertura. Um modelo clássico para esse tipo de aplicação é o de *Maximum Covering Location Problem* (MCLP), utilizado para a produção de um mapa de localização para estações de recarga de veículos elétricos (ALHAZMI *et al.*, 2017), ou como os trabalhos de Zarandi *et al.* (2011) e Zarandi *et al.* (2013) tratam de aplicar esse modelo MCLP para a produzir a máxima cobertura de uma população com base na máxima distância desejável para consumidores. Uma aplicação é o modelo de múltiplas medianas para a localização de policiais para a máxima cobertura de uma região (HAKIMI, 1965).

Outra aplicação desta natureza foi a realizada por García-Flores *et al.* (2014) para a localização de locais de descanso de bovinos transportados para o abate na Austrália. Os autores produziram um mapa de máxima cobertura para as posições possíveis para as áreas de descanso considerando o tempo máximo de viagem dos animais, disponibilidade de água para a construção de locais de descanso, entre outras condições. Ainda com objetivo dessa natureza Jianbang & Smith (2011), trataram da modelagem de localização de plantas de produção de etanol, buscando o mínimo custo de transporte e de produção do sistema como um todo.

Minagawa & Sumiyoshi (1999) estudaram a localização de estabelecimentos comerciais com base na distribuição espacial da população, utilizando uma modelagem matemática e lógica.

A utilização de modelagem estatística, probabilística ou estocástica também pode ser utilizada no processo de localização de facilidades logísticas. Diversos trabalhos demonstraram que essa abordagem pode produzir bons resultados, a exemplo de Pereira *et al.* (2015) que aplicaram um modelo probabilístico para a máxima cobertura de uma região, buscando a máxima cobertura em um mínimo tempo de processamento. A exemplo de (SATANI *et al.*, 1998) que aplicaram modelagem de regressão múltipla voltada à localização de facilidades comerciais. Zhou & Liu (2003) produziram um modelo estocástico de localização-alocação que pode resultar no mínimo custo de atendimento ao consumidor a partir da localização de facilidades logísticas.

Mete & Zabinsky (2010) demonstraram a possibilidade da aplicação de um modelo estocástico voltado à otimização de localização de suprimentos médicos e de sua distribuição em caso de desastres naturais. Os autores utilizaram a cidade de Seattle para testar seu modelo e suas restrições, com resultados que possibilitariam atender de modo mais ágil a todos os hospitais da cidade a partir de um menor número de depósitos de suprimentos médicos. Galvão *et al.* (2005) formularam um modelo probabilístico unificado a partir do *Maximum Expected Covering Location Problem* (MEXCLP) e *Maximum Availability Location Problem* (MALP) para produzir uma nova ferramenta usada em um processo de combinação de população e cobertura de atendimento. Os autores obtiveram medidas de capacidade da metodologia, de eficiência e de tempo de operação computacional. E por último, Shi *et al.* (2008) utilizaram um modelo de regressão para produção de demanda por planta de produção de energia a partir de biomassa combinando sistemas de informações geográficas (SIG), imagens de satélite e a infraestrutura logística da região em estudo.

Outras metodologias utilizam formulações matemáticas e aproximações que produzem um sistema de cálculo de competição comparativa de localizações (ROHANINEJAD *et al.*, 2017). Nesta linha, Tanash *et al.* (2017) desenharam um modelo para cálculo de localização que utiliza arcos de custo baseado nos nós da rede de transporte e relaxação langrangeana, que produz resultados ótimos no limiar superior. Também, Hiassat *et al.* (2017) utilizam um modelo baseado em um algoritmo genético para produzir uma modelagem de localização que a relaciona à roteirização de veículos e inventário para manipulação, transporte e armazenamento de produtos perecíveis.

Adicionalmente, Pereira *et al* (2015) formularam a aplicação de um método que combina meta-heurísticas e alocação e localização baseada em máxima cobertura probabilística. Entre os resultados os autores alcançaram soluções de 94,5% das instâncias com o atendimento completo da função objetivo. Mesmo não atingindo uma solução exata, os resultados de Pereira *et al* (2015) apresentaram utilidade pela capacidade aplicação em grandes áreas. Outras pesquisas usam programação linear inteira para localização de *hubs* logísticos (ALAMO & BRINATI, 2006) ou para armazéns de açúcar (COLIN *et al.*, 1999). Em alguns casos autores desenvolveram um conjunto de restrições para adaptar o modelo às restrições de orçamento (DREZNER, 1998). Por outro lado, Iannoni & Morabito (2008) e Tempelmeier & Bantel (2015) estudaram a localização de bases de atendimento de emergência em rodovias com otimização de redes.

Dentre todos os modelos exatos de localização, provavelmente, o modelo p-mediana seja o mais utilizado desde a invenção da ciência da localização em termos modernos (LÖSCH, 1944; MIEHLE, 1958; BALINSKI, 1965; KARIV&HAKIMI, 1979; CURRENT & WEBER, 1994; GALVÃO & CHIYOSHI, 2000; DREZNER *et al.*, 2002; SENNE & LORENA, 2003; REVELLE & EISELT, 2005; DASKIN & MAASS, 2015; GOUDARD *et al.*, 2015; LAPORTE *et al.*, 2015; ALHAZMI *et al.*, 2017).

Os trabalhos fundamentais para o desenvolvimento do modelo p-mediana podem ser listados a partir de (LÖSCH (1944); MIEHLE (1958); HAKIMI (1964); BALINSKI (1965); COOPER (1963); REVELLE & SWAIN (1970) e KARIV & HAKIMI (1979). Essas pesquisas produziram uma sequência de evoluções que permitiu o pleno desenvolvimento do modelo como ferramenta de minimização de uma função objetivo. De modo simplificado, o modelo p-mediana utiliza uma função objetivo em um algoritmo que minimiza o máximo valor dessa função para atender a todas as restrições definidas na construção do modelo (HAKIMI, 1964; REVELLE & EISELT, 2005).

Para um problema de localização de facilidades logísticas, a função objetivo pode ser composta por diversas variáveis, isoladamente ou associadas, como o custo mínimo de transporte, tempo mínimo de viagem, número mínimo de facilidades logísticas, entre outros (REVELLE & EISELT, 2005). Essa modelagem quando aplicada a uma situação de dados e variáveis espaciais, tal como a localização de facilidades logísticas utilizando mapas como variáveis, irá utilizar todos os pontos de origem e as potenciais localizações para estabelecer a mediana do somatório das distâncias que minimize a distância total entre os pontos e a localização escolhida

para a localização da facilidade, considerando as restrições indicadas para o modelo (REVELLE & SWAIN, 1970).

Este tipo de modelo sempre produzirá resultados diretamente relacionados ao nível de descrição da realidade utilizado (BALLOU, 2006; CLEMENTE, 2008). Isso significa que a resposta do modelo será dependente da resolução (nível de detalhamento) dos dados utilizados e do resultado procurado. Adicionalmente, em função da natureza de solução deste tipo de problema ser de origem combinatória, e que o número de soluções possíveis (e conseqüentemente o número de operações de cálculos de distâncias) cresce grandemente com o aumento das possíveis regiões de instalações, a aplicação de um modelo p-mediana pode (e em alguns casos deve) incorporar um número de restrições tal que delimite previamente as melhores posições para instalação e que elimine posições desfavoráveis ou menos favoráveis à instalação, aumentando a velocidade de construção dos resultados (TEITZ & BART, 1968; SENNE & LORENA, 2003; ARAKAKI & LORENA, 2006; DASKIN & MAASS, 2015; GOUDARD *et al.*, 2015; CHUANG *et al.*, 2012).

Um dos modelos de ampla aplicação na teoria de localização é o de p-medianas, especialmente representado nos trabalhos de Revelle & Swain (1970), Revelle & Eiselt (2005) e Revelle *et al.*, (2008). Em termos matemáticos o modelo p-mediana utiliza a análise de um conjunto de possíveis locais à instalação em forma de uma rede, de modo que os resultados finais das atribuições dos pontos de abastecimentos das facilidades logísticas sejam aquelas que minimizem a distância total necessária a ser percorrida para se atingir a localização proposta (HAKIMI, 1964; HAKIMI, 1965; TEITZ & BART, 1968; FARAHANI & HEKMATFAR, 2009).

A formulação matemática do modelo p-mediana apresenta-se em um algoritmo de programação inteira 0-1 e busca minimizar a distância (custo) de localização-alocação de facilidades, dado que:

$$x(P) = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$(P) \text{ sobre as seguintes restrições: } \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1; j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = p \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq x_j; i, j \in N \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}; i, j \in N \quad (5)$$

Onde:

$(d_{ij})_{n \times n}$  Representa a matriz simétrica de distâncias,  $d_{ii} = 0, \forall i$ ;

$(x_{ij})_{n \times n}$  Representa a alocação,  $x_{ij} = 1$  se o nó  $j$  é alocado ao ponto  $i$ , e  $x_{ij} = 0$   $x_{ij} = 1 \Rightarrow x_{ji} = 0$

$p$  equivale ao número de facilidades (medianas) a serem localizadas;

$n$  é o número de nós na rede, e ainda  $N = \{1, \dots, n\}$ .

Nesta formulação do modelo  $p$ -mediana,  $i$  equivale ao ponto de localização da facilidade logística (a localização que minimiza a máxima distância entre os pontos de suprimento/demanda e a facilidade logística) e  $j$  representa os pontos de demanda/suprimento (os locais que irão servir de origem ou destino para o serviço/bens da facilidade logística), a restrição (2) garantem a pertinência de que cada nó  $j$  está sendo alocado unicamente a um nó  $i$ , que equivale a uma mediana. E por fim, a restrição (3) determina o número exato das medianas a serem identificadas ( $p$ ), e a restrição (5) garante que o resultado é inteiro.

### 3 ESTADO DA ARTE EM LOCALIZAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE REDES DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA

Uma das formas de implementar a teoria da localização é por meio de links e nós em uma rede de transporte. O uso de redes de transporte na ciência de localização não é recente e pode ser identificado nos trabalhos primordiais de desenvolvimento desse campo (MIEHLE, 1958). Este autor foi o primeiro a desenvolver a ideia de minimização de uma função objetivo sobre uma rede, utilizando a distância dos arcos como variável da função objetivo.

Mais tarde, Hakimi (1964) produziu de modo genérico o mecanismo de cálculo de otimização de localização sobre uma rede com objetivo de minimizar as distâncias em uma rede de comunicações. Esse trabalho serviu de base para o primeiro algoritmo de minimização da função objetivo em uma rede que considerava as distâncias da rede de transporte para determinar em qual dos vértices estava a melhor localização para uma facilidade logística e quais os outros pontos da rede proveriam seu suprimento (TEITZ & BART, 1968). Semelhantemente, os trabalhos de Kariv & Hakimi (1979a; 1979b) propuseram um algoritmo para a identificação das posições da rede que podiam conter as facilidades logísticas com o objetivo de minimizar o valor da função objetivo. Tansel *et al.* (1983a; 1983b) abordaram os problemas de p-mediana e de p-centro em uma rede qualquer (podendo essa ser uma rede rodoviária, aérea, de rios ou rotas marítimas). De modo similar, Revelle & Swain (1970) trataram o problema de localização de uma rede de transporte, que equivalia a rede rodoviária.

A modelagem em rede passou a ser muito utilizada a medida em que as ferramentas de cálculo passaram a possibilitar um conjunto maior de arcos e nós na construção da rede de suprimento, esse tipo de abordagem passa a ser essencial em trabalhos que envolvem otimização, localização e transporte.

O trabalho de Hurter & Martinich (1989), em formato de livro, aborda os diferentes métodos desenvolvidos para a teoria de localização até aquele momento, e apresenta interessante contribuição em análise das metodologias de localização e produção de demanda em redes de transportes, com especial foco em otimização destas redes com função objetivo determinísticas.

Em uma modelagem de redes de transportes com a análise de dos custos de transportes utilizados como parâmetros para a localização de facilidades logísticas, Dohse & Morrison (1996) desenvolveram sua abordagem de modo a considerar custos do lado dos suprimentos

(desde a fábrica até a facilidade logística de armazenagem), custos da operação da facilidade logística e do lado do consumidor (desde a facilidade de armazenagem até o consumo final). Nesta abordagem os autores conseguiram reduzir os custos totais da operação em mais de 10%.

Miller *et al.* (1996) buscaram abordar diferentes formas de modelagem para resolução de problemas de localização em redes de transportes que tendiam a resultar em equilíbrio. Dentre as teorias utilizadas estão desde equilíbrio de mercado baseado no espaço, teoria dos jogos de Nash para a definição do tamanho das facilidades logísticas que permitissem o equilíbrio de uma rede competitiva, entre outras teorias. Adicionalmente, trataram de como modelar o problema de localização com abordagem dinâmica.

Em trabalho sobre localização, programação de veículos e programação inteira, Padberg & Rijal (1996) trataram de diferentes abordagens com foco em programação linear. Entre as abordagens descritas para tratar o problema de localização estão diferentes abordagem de programação linear que buscam a obtenção de localizações ideais para a função objetivo estabelecida.

Mccann (1998) descreve amplamente o tratamento da localização industrial como forma de buscar a máxima eficiência locacional de recursos de transporte e de distribuição. Em seu trabalho, o autor aborda múltipla formas de tratamento de custos logísticos combinando custo de distribuição e custo de armazenagem, em busca de uma melhor abordagem do ponto de vista da produção industrial.

Por sua vez, Eiselt & Sandblom (2000), tratam com profundidade e detalhe diferentes abordagens de modelagem de redes logísticas por diferentes métodos, dentre os quais os destaca-se a modelagem de redes, utilizando problemas de caminho mínimo ou de redes em árvore.

Sule (2001) tratou de abordar a teoria de localização sob a ótica de classificação de métodos qualitativos e quantitativos, e adicionalmente como modelar os diferentes problemas de localização e transportes com base em modelagem dinâmica e simultânea de alocação de múltiplas facilidades, bem como combinando com metodologias que consideram o problema de transporte conjuntamente.

Em uma coletânea de trabalhos, Revelle & Eiselt (2005) produziram uma das mais completas revisões da teoria de localização já publicadas, citando e descrevendo mais de 100 artigos científicos e livros ao mesmo tempo. O foco central dessa obra de revisão da teoria de localização está na separação de métodos de localização, alocação, abordando tanto a

modelagem matemática em si como as formas de aplicação e as características de diferentes modelos como a localização de facilidades logísticas no plano ou de localização de facilidades logísticas em redes.

Aboolian *et al.* (2007) trataram a forma de realizar a modelagem de localização de facilidades logísticas de modo competitivo e ao mesmo tempo como estabelecer o *design* do problema. Para tanto, definiram algumas questões que apresentam as condições básicas para o entendimento de um problema de localização e a definição de seu *design*, quer sejam elas:

- a) Quantas facilidades devem ser localizadas?
- b) Onde estas facilidades devem ser localizadas?
- c) Que tipo de facilidades (em relação ao tamanho, variedade de produtos, tipo de operação entre outros aspectos) influenciam o local onde essas facilidades devem ser localizadas?

De modo prático, a abordagem de Aboolian *et al.* (2007) concentra grande enfoque em termos geográficos para responder a estas perguntas e garantir os resultados das diferentes modelagens possíveis para esses problemas de localização.

Jia *et al.*, 2007 trataram de métodos adequados a modelagem de resposta rápida a emergências, que tem como base de sua modelagem o processo de uma função objetivo que visa minimizar o tempo de atendimento de ocorrências. O trabalho com forte aplicação geográfica foi utilizado pelo Estado da Califórnia nos EUA como fonte de experimentação teórica e prática para a abordagem de modelagem de localização de socorristas para diversos tipos de atendimentos, desde ações em incêndios até possíveis atuações em caso de terremotos.

De modo semelhante, Church & Murray (2009) trabalharam em um livro que evidencia os usos de ferramentas e teoria de geociências em processos de tratamento de localização de facilidades logísticas, com grande detalhe em termos de abordagem matemática das diferentes modelagens no tratamento deste tipo de problema. No capítulo 2 os autores tratam sobre geociências na ciência de localização em diferentes modelagens de caráter espacial aplicadas em teorias de localização e os resultados que podem ser obtidos desse processo. Em outras seções do livro os autores acrescentam detalhadamente como as modelagens de localização baseadas em: a) ponto, b) linha, c) área, e d) cobertura, se beneficiam da teoria de geociências.

Outro livro de ampla abordagem na teoria de localização é aquele elaborado por Farahani & Hekmatfar (2009), no qual os autores tratam de modo exaustivo cada um dos níveis de tratamento do problema de localização, desde o mais simples baseado na localização de uma



facilidade logística isoladamente, passando por localização dinâmica de facilidades logísticas até os problemas de localização combinados a modelagem de roteirização. Em um capítulo específico os autores apresentam o problema clássico de modelagem de localização baseado no método de p-medianas. Também pode ser considerado uma das obras essenciais a formulação desta metodologia apresentada neste trabalho.

Eiselt & Marianov (2011) revisitam os clássicos da teoria de localização em uma abordagem que visa o detalhamento da teoria dos principais metodologias de tratamento do problema de localização. A obra é dividida em grandes grupos de tipos de abordagens, que podem ser classificadas em:

- a) Problemas *minisum*;
- b) Problemas *minimax*;
- c) Problemas de cobertura;
- d) Outros tipos de abordagem (de equilíbrio, de abordagem sequencial etc);
- e) Técnicas de solução dos problemas de localização e seus algoritmos em detalhes;
- f) Problemas de escolhas do consumidor e o padrão de localização de facilidades logísticas.

Esse livro pode ser considerado um documento completo ao desenvolvimento de trabalhos com teoria de localização, sendo também fundamental em termos de estabelecimento de soluções que foram abordadas no processo de modelagem deste trabalho de tese de doutorado.

Eiselt & Marianov (2015) desenvolvem um livro basicamente de aplicações da teoria de localização, no qual tem três grandes campos de análise, sendo eles:

- a) Negócios: Localizações de bancos; logísticas em parques logísticos; Localização de indústria florestal e serviço de saúde.
- b) Serviços públicos: Localização de bombeiros; de emergências para acidentes; Serviços de correios; E de escolas rurais e estudantes.
- c) Forças de ordem: Distribuição de policiais em distritos; Localização e tamanho de prisões; localização de unidades militares; e também de forças da guarda costeira.

Esse trabalho repleto de exemplos reais, produzidos com a finalidade de aplicação, demonstra em detalhes quanto a sociedade pode se beneficiar deste tipo de abordagem para a melhoria da qualidade de vida, redução de desperdícios e ampliação das oportunidades de negócios. Também pode ser considerada como uma obra fundamental ao desenvolvimento desse trabalho,

por conta de sua influência prática em termos de desenvolvimento de aplicações da teoria de localização na vida cotidiana.

O artigo elaborado por Goudard *et al.* (2015) aborda a aplicação da teoria de localização em território brasileiro com foco em melhoria da cobertura da rede de atendimento básico de saúde em um processo de otimização que considera diferentes técnicas, entre elas, entre elas a utilização de análise espacial em sistema de informações geográficas combinadas com modelagem CPLEX. Em ambos os casos foi testado o modelo de p-medianas, os resultados demonstraram que as aplicações de modelagem espacial melhoraram os resultados.

Laporte *et al.* (2015) elaboraram um livro que trata de a ciência de localização de maneira completa com diferentes abordagens, todas em grande nível teórico. O livro documenta os métodos possíveis de serem aplicados para cada uma das abordagens apresentadas no livro. Em um dos capítulos do livro, Daskin & Maass (2015) analisam em detalhes o modelo p-mediana e suas aplicações em modelagem de localização em uma análise de centro de distribuição tendo como base os Estados da Federação dos EUA. Com a aplicação do modelo de p-medianas foram identificados diferentes testes com número diferentes de centros de distribuição. Os autores conseguiram demonstrar que a solução mais otimizada não foi aquela onde foi adotado o máximo número de p-medianas, mas sim aquele onde o erro do processo de otimização foi menor.

Wiedenmann & Geldermann (2015) desenvolveram um modelo para a localização de facilidades logísticas que possam atender à supply chain de produtos agrícolas com foco em otimização de custos da cadeia logística. O modelo utilizado foi do tipo determinístico e buscava otimizar os custos do produto final (considerando custos do produto, do transporte e de processamento na unidade industrial). Este é um dos trabalhos que tem semelhanças com o proposto nesta tese de doutorado. De modo semelhante, Schroder et al. (2017) desenvolveram um modelo que visa atender ao suprimento de bio-refinarias (com produtores de origem vegetal), a partir da simulação em busca da localização ótima para o empreendimento.

Ortiz-Astorquiza *et al.* (2017) trabalharam com modelagem de localização com foco em múltiplos níveis de localização. Essa abordagem visa estabelecer na rede de *supply chain* como alocar da melhor maneira possível as operações a partir das escolhas da localização não só da facilidade logística, mas também das operações dos mesmos.

O trabalho de Sedghi *et al.* (2017) tentou combinar a teoria de localização com as questões de custos de mercados heterogêneos, onde preços e produtos não são uniformes e os consumidores também não se comportam uniformemente no espaço e nas escolhas. A abordagem dos autores buscou especialmente determinar os impactos desse tipo de problema em termos de lucro das empresas ao final do ciclo de operação.

Em um trabalho de análise de localização de policiais de reserva através do modelo p-mediana, Karatas & Yakici (2018) mostraram como a aplicação do modelo p-mediana pode auxiliar de modo operacional serviços que demandam agilidade e precisão na deposição de recursos. Esse trabalho publicado em 2018 usa do modelo clássico de cálculo de p-mediana para avaliar como estabelecer os locais em que devem ser posicionados os policiais de reserva, para que possam ser enviados como reforço em caso de acionamento e que seja atendida a premissa de menor tempo de deste. Este capítulo influenciou diretamente a elaboração do modelo desenvolvido nesta tese. As características diferenciais do modelo deste trabalho em relação ao demais trabalhos citados estão concentradas especialmente no uso de múltiplas origens (que no caso da demonstração aplicada neste trabalho, correspondem às áreas de produção de soja e milho e geram a demanda por armazenagem) e ao mesmo tempo a utilização de múltiplos destinos (que são representados por todos os armazéns que devem atender ao demandado), em uma metodologia de otimização para encontrar o menor custo operacional possível para o sistema como um todo (podendo esse custo operacional ser tratado em termos de valor monetário ou de tempo, a depender do tipo de aplicação do modelo).

A metodologia proposta integra diversas técnicas em um *framework* de aplicação espacial da metodologia p-mediana, onde podem ser definidas as variáveis de entrada e a função objetivo (que pode utilizar maximização ou minimização), de onde a aplicação da metodologia seguindo as etapas metodológicas descritas no Capítulo 4, produzirão o resultado de acordo com a definição da função objetivo. O caráter inovador da abordagem está em sua integração de diferentes métodos, aplicáveis de modo padrão para diferentes aplicações, em um ambiente único de execução, que inicie pela seleção e inserção das variáveis e a definição da função objetivo e que responda produzindo um resultado em acordo com essas especificações.

Portanto, a metodologia pode ser aplicada na definição da rede de suprimentos de commodities agrícolas (tal como proposto como aplicação desta tese de doutorado), bem como em otimização de infraestrutura de saúde, infraestrutura de educação, de atendimento policial, de localização de centros de distribuição ou de coleta de produtos.

Ademais, tendo em vista que toda a modelagem será desenvolvida em ambiente computacional, em âmbito espacial, e que a região de estudo é o Estado do Mato Grosso, o número de soluções possíveis na solução de um problema desses é proporcional ao tamanho da região de estudo. Assim, dado que a solução desse tipo de problema pode ser estabelecida por meio de combinações entre as possibilidades de localização chama-se de uma formulação Np-hard, o processo de redução do número de possíveis locais para a instalação das facilidades logísticas (variáveis condicionantes restritivas negativas) e a aplicação da metodologia usando uma hierarquização baseada em variáveis condicionantes restritivas positivas, tende a facilitar em muito o processo de cálculo.

## 4 METODOLOGIA PARA MODELAGEM DE UMA REDE DE SUPRIMENTOS PARA ARMAZENAGEM DE *COMMODITIES* AGRÍCOLAS

O objetivo central da foi desenvolver uma metodologia para construção de rede de suprimentos para armazenamento e escoamento de *commodities* agrícolas, aqui identificado como Modelo de Rede Logística Integrada (*ILOGIM*; do inglês, *Integrated LOGIstic Network Model*). A proposta metodológica apresentada na sequência descreve os passos que são necessários para produzir uma rede de suprimentos para escoamento e armazenagem de *commodities* agrícolas, que foi aplicado ao caso específico de armazenamento e escoamento da produção de soja e milho.

### 4.1. ORGANIZAÇÃO DA METODOLOGIA

A metodologia proposta consiste no desenvolvimento de uma rede de suprimento que utilize a função objetivo p-mediana para localização de facilidades segundo o proposto e descrito por Revelle *et al.* (2008) e de uma metodologia de rede de suprimentos (MILLER *et al.*, 1999; EISELT & SANDBLOM, 2000; FARAHANI & HEKMATFAR, 2009; BOOKBINDER, 2013; HILLIER & PROCE, 2013). E essa rede de suprimentos sendo originada a partir de uma base de dados espaço-temporal do objeto a ser atendido (com armazenagem ou distribuição) e a infraestrutura logística envolvida nos deslocamentos do objeto (vias rodoviárias ou facilidades logísticas já existentes), bem como os condicionantes positivos e negativos à instalação das facilidades logísticas, seguindo a organização proposta por Sultana & Kumar (2012). A base de dados da metodologia está dividida em grandes eixos ligados diretamente aos temas de: Demanda, Infraestrutura e Economia (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Grupos de variáveis que pertencem a cada um dos grandes eixos.

<b>Demanda</b>	<b>Infraestrutura</b>	<b>Economia</b>
<b>Dados de demanda por unidade de estudo</b>	Mapa de facilidades logísticas (oferta)	Custo médio de transporte R\$.km por unidade de estudo
<b>Dados operacionais</b>	Mapa de vias	Custo de oportunidade de dispor de uma facilidade logística
<b>Mapa de origem de demanda</b>	Mapas de restrições	Custo médio de construção de uma facilidade logística em função da capacidade R\$ por operação
<b>Mapa de destino para a demanda</b>		

Fonte: Elaboração do autor.

Dado que o objetivo da aplicação da metodologia é elencar as posições adequadas para a instalação de facilidades em uma rede logística otimizada, a modelagem proposta tem como ponto inicial a aplicação dos pré-requisitos estabelecidos e as variáveis condicionantes positivas e negativas (Tabela 4.2). Foram definidas como variáveis condicionantes restritivas negativas todas aquelas que desfavorecem a implantação das unidades de armazenamento, devido a necessidade de a infraestrutura logística estar junto à infraestrutura de transporte para que a operação do objeto alvo da modelagem (por meio de estradas principalmente) e de destino para o objeto sob modelagem. As variáveis condicionantes positivas são todas aquelas que favorecem a instalação (por exemplo, a proximidade das vias de transporte).

Cabe aqui ressaltar que todos os processos e resultados são produtos espaciais, que compreendem mapas contínuos (ocorrência do objeto de modelagem), mapas vetoriais (estradas, ferrovias, hidrovias e rios) e mapas de localização das facilidades logísticas existentes ou propostos a ser implantados.

Tabela 4.2 – Variáveis condicionantes restritivas positivas e negativas.

<b>Positivas</b>	<b>Negativas</b>
Proximidade das áreas urbanas (Menor do que 10km)	Distância maior do que 10km das estradas
Distância menor do que 1km de rodovias	Distância maior do que 1km de rodovias
Distância menor do que 500m de ferrovias e hidrovias	Áreas urbanas ou rurais (dependendo do objeto de modelagem)
Distância de facilidades logísticas já existentes	Áreas de reservas ambientais e de preservação ambiental
Presença da demanda	Terras indígenas
	Áreas de mineração
	Zonas susceptíveis a alagamentos

Fonte: Elaboração do autor.

Além disso, foi definido que a instalação das facilidades logísticas só pode ser processada em um *buffer* de 500 metros ao redor das estradas pavimentadas identificadas na rede de transportes. Então, foi adotada a instalação nas proximidades das rodovias dado que a grande maioria dos casos de necessidade de instalação de facilidades logísticas depende de transporte rodoviário.

A pré-modelagem é composta por duas partes, uma primeira de exclusão das porções que detêm as condicionantes restritivas negativas diminuindo o número de soluções possíveis e focalizando a busca pela melhor localização das unidades em locais que apresentam condições à instalação das unidades. Sequencialmente, a segunda parte está concentrada no uso de

variáveis condicionantes positivas para estabelecer as melhores localizações em relação as variáveis utilizadas gerando uma lista de possibilidades que possam receber as novas facilidades logísticas.

A modelagem da nova rede de suprimento é composta pela separação das zonas de suprimento, aplicação da função objetivo definida para determinar as melhores localizações para a instalação das facilidades logísticas que permita otimizar a rede de suprimento e por último o processo de análise dos resultados.

## **4.2. FONTES DE DADOS, VARIÁVEIS E FERRAMENTAS**

### **4.2.1. Formato dos Dados de Entrada**

Todos os dados a serem utilizados no ILOGIM devem estar no formato de informações espaciais, como por exemplo, informações vetoriais (com as topologias ponto, linha ou polígono); matriciais (como imagens de satélite, grades regulares, superfícies triangulares, matrizes multidimensionais ou “*arrays*”, modelos de terreno etc) ou dados tabulares com identificação de localização de ocorrência. Isso não implica em excluir o uso de outros tipos de informações com formatos diferentes, porém esse uso deverá estar associado a uma informação de localização espacial de ocorrência.

### **4.2.2. Oferta de Facilidades Logísticas**

As variáveis de infraestrutura logística a serem consideradas devem conter as facilidades logísticas de atendimento da demanda (quer sejam unidades de armazenamento de produtos, centros de distribuição ou qualquer outro tipo de facilidade que demande movimentação do objeto de estudo). Também são fundamentais as variáveis territoriais que permitem definir as áreas potenciais para a instalação das facilidades logísticas ou impõem restrições as mesmas. Estas podem ser obtidas junto a diferentes instituições, entre elas a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (para produtos agropecuários), Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Agência Nacional das Águas (ANA) (para questões restritivas), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (para informações demográficas e de demanda), *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (para mapas) entre outros.

### **4.2.3. Estimativas de Demanda**

O processo de localização das facilidades logísticas para qualquer um dos tipos de aplicações leva em conta a ocorrência do objeto ou produto gerador de demanda. Assumindo a construção de uma rede de suprimentos, os dados de demanda a serem utilizados devem representar em termos quantitativos e espaciais (dado que a modelagem é espacial) a diversidade e a densidade da demanda, para que seja calculada com a maior precisão possível a nova rede logística.

Para o tratamento de dados do tipo contínuos, como por exemplo a produção de commodities agrícolas ou de demanda por recolhimento de lixo em áreas urbanas, devem ser utilizadas representações dessas variáveis no formato de mapas. Essa definição de mapas, permite que cada célula do mapa contenha a demanda específica em termos de volume e de distância necessária até a facilidade logística a ser abastecida.

#### **4.2.4. Rede de Transporte**

As informações de infraestrutura de transporte são essenciais para a produção da localização das unidades logísticas na rede integrada, já que estas serão usadas como “ligação” entre os pontos de origem (áreas de geração de demanda), as facilidades logísticas e o destino do objeto da simulação da rede logística (pontos de destino). Por questões operacionais a modelagem aqui desenvolvida utilizou somente da malha rodoviária, sendo essa composta por estradas federais, estaduais e municipais desde que registradas nos mapas oficiais disponibilizados via o repositório de estradas do Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT).

#### **4.2.5. Custo Médio de Transporte**

A modelagem de localização de unidades de armazenagem busca minimizar os custos de transporte, logo o custo de transporte por tonelada e quilômetro será fundamental ao desenvolvimento da mesma. Assim, a partir de dados coletados junto Sistema de Informações de Fretes (SIFRECA) que aglutina os custos nacionais junto as empresas que atuam no setor de transportes rodoviário de *commodities* foi calculado o valor médio por quilômetro, por tonelada. O SIFRECA é elaborado pelo Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial - ESALQ/USP (SIFRECA, 2020).

#### **4.2.6. Variáveis Econômicas para Tomada de Decisão**

Duas questões norteiam a utilização de uma metodologia do tipo que está sendo proposta no caso da pesquisa em desenvolvimento. A primeira quanto a adoção de um processo de definição



de novas facilidades logísticas tem que melhorar do ponto de vista econômico (com o custo de oportunidade de transportar produtos a maiores distâncias ou investir em uma facilidade logísticas e reduzir custos com transporte e obter ganhos de venda na entressafra). E a segunda, qual o volume financeiro de investimento seria necessário para que um sistema otimizado e planejado pudesse ser implementado. Portanto, estas duas variáveis interferem diretamente no tamanho da infraestrutura e qual a decisão de construção ou não de uma nova facilidade logística.

#### **4.2.7. Ferramentas Computacionais de Modelagem e Geoinformação**

Geoprocessamento é a técnica ou conjunto de ferramentas adotadas para tratar dados que utilizam representações computacionais do espaço e do tempo para modelar e analisar fenômenos espaço-temporais. Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é o sistema computacional ou software que materializa os conceitos do geoprocessamento. Qualquer tipo de fenômeno que apresente ocorrência vinculada a uma posição geográfica pode ser representado em um SIG (CÂMARA *et al.*, 2001). Em resumo, um SIG agrupa, unifica e integra a informação, tornando-a disponível em uma nova forma ou colocando uma informação antiga em novo contexto, como ninguém teve acesso anteriormente (DANGERMOND, 1990).

Os modelos de representação da realidade adotados em um SIG podem assumir que os fenômenos são de natureza discreta ou contínua no espaço. Para representações discretas, as geometrias existentes vão desde a representação unidimensional contida em um ponto ou representações bidimensionais como linhas e polígonos. As representações de fenômenos de ocorrência contínua no espaço são dadas por formatos de dados do tipo matriciais ou *raster*, onde cada posição no espaço contém algum valor atribuído a superfície (CÂMARA *et al.*, 2001).

É possível associar às características dos SIGs e suas representações de modelagem matemática/estatísticas elaboradas em ambiente de programação orientada ao objeto (que relacionam variáveis utilizando nossa cognição e formas de entendimento) tal como na linguagem de programação do software R (R *Development Core Team*, 2020). O R é um conjunto de soluções em linguagem de programação construído sobre o conceito de software livre. Foi construído para ser melhorado constantemente por meio de *packages* (pacotes ou conjunto de funções com propósito específico) que são elaborados por colaboradores ao redor do mundo e disponibilizados em diversos repositórios.

A linguagem R pode comportar diferentes tipos de métodos ao mesmo tempo em uma modelagem interativa e flexível. No caso específico dessa proposta a linguagem R permite desenvolver modelagem sobre técnicas de geoinformação associada ao custo do frete, localização de origem (áreas de cultivo), localização de destino (unidades de armazenamento) e as vias de transporte (estradas, hidrovias ou ferrovias) por onde passará a produção para definir uma localização ótima de estruturas de armazenagem (BALLOU, 2006).

Outra linguagem *open source* e de alta capacidade de processamento de dados é a linguagem de programação orientada a objeto Python (ROSSUM & BOER, 1991). Esta linguagem de programação possui atributos similares aos do R, porém sua grande vantagem é a capacidade de suporte a análise em *bigdata*, especialmente no que tange a cálculos de alta complexidade e o manejo da memória computacional.

Um fator que torna o Python tão utilizado é de que os dois SIGs mais utilizados no mundo (ArcGis® e QGIS®) tem sua construção e linguagem de processamento Python. A linguagem hoje dispõe de aproximadamente 80.510 *packages*, para as mais diversas aplicações, todos com documentação de usuário, testados e com desenvolvedores acessíveis para a solução de possíveis problemas de código (PYTHON, 2020). Assim, todas as ferramentas computacionais necessárias ao desenvolvimento da presente proposta de pesquisa são todas classificadas como *opensource*, caracterizadas como aquelas disponíveis sem custos aos usuários e distribuídas via internet, sendo elas:

- a) Quantum GIS - QGIS (QGIS Development Team, 2020);
- b) As linguagens de programação R (R *Development Core Team*, 2020) e Python (ROSSUM & BOER, 1991).

### 4.3. A FUNÇÃO OBJETIVO

A partir da descrição elaborada das etapas metodológicas apresentadas anteriormente, a função objetiva visa descrever um processo de minimização do custo de transporte e de armazenagem (CLT) , sujeita a um conjunto de restrições. A proposição teórica é a seguinte:

$$i\loginRes = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij}x_{ij} \text{ Transp}_{cost} \text{ Fac}_{cost} \quad (1)$$

A função objetivo visa minimizar o somatório de todas as facilidades logísticas dado que o resultado de nível de cobertura proposto. Essa função objetivo para a modelagem pode ser representada por:

$$\min_{x,y} = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij} y_{ij} w_j \quad (2)$$

(2) Onde  $i \in I$  é o conjunto de localizações candidatas a seleção para a localização das facilidades logísticas a serem simuladas; e  $j \in J$  são é o conjunto de locais que originam demanda para a integração com facilidades logísticas; e responde pelo peso ponderado de cada uma das facilidades logísticas a serem instaladas.

A partir da função objetivo definida, a modelagem produz o resultado *iloginRes* significa o custo total da rede de suprimento de commodities agrícolas sob as seguintes restrições:

A definição de uma potencial localização para a facilidade  $x_i$  advém das restrições de que:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{Uma facilidade logística é instalada em uma localização } i \\ 0, & \text{não é instalada uma facilidade logística na localização } i \end{cases} \quad (3)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{a demanda } j \text{ é alocada na facilidade na localização } i \\ 0, & \text{a demanda não é alocada na facilidade logística na localização } i \end{cases} \quad (4)$$

Adicionalmente, a restrição que define que uma facilidade logística só pode ser alocada em um ponto pertencente ao conjunto  $J$ , tal que:

$$y_{ij} \leq x_i, \quad \forall i \in I, \quad j \in J \quad (5)$$

Neste contexto, a restrição de domínio das variáveis considera os valores assumidos como binários e podem ser representados por:

$$x_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I \quad (6)$$

Onde  $J$  é toda a demanda alocada a  $i$  para aquela circunstância em que  $J$  só pertence a uma facilidade logística  $i$ ;

$$0 \leq y_{ij} \leq 1, \quad \forall i \in I, \quad j \in J \quad (7)$$

Adicionalmente, é assumido que o custo de armazenamento por tonelada  $c_j$  de cada uma das unidades  $j$  é igual entre as mesmas e uniforme ao longo do tempo para qualquer unidade pertencente a região de estudo:

$$c_j = c, \quad \forall j \in J \quad (8)$$

Para o custo de transporte, tem se que:

$$Transp_{cost} = Dist * Cost \quad (9)$$

Onde  $Transp_{cost}$  é o custo de transportar um volume determinado por uma distância definida a um custo unitário por quilômetro percorrido.  $Dist$  é a distância de transporte de todos os pontos da zona de suprimento até o centro da mesma e deste centro da zona de suprimento até a facilidade logística via a rede de transporte. A distância é dada em quilômetros.

E onde  $Cost$  é o custo de transporte em Reais por tonelada por quilômetro percorrido.

Onde  $t$  é o número de facilidades logísticas a serem inseridas na simulação.

Dada a expressão

$$Fac_{cost} = Cost_{unit} * Qt * t \quad (10)$$

Onde  $Cost_{unit}$  equivale ao custo unitário para o uso por um período igual a 1.

E onde  $Qt$  é o quantidade utilizada no período igual a 1.

A partir das etapas metodológicas definidas a seguir são produzidos os resultados de modelagem de acordo com as restrições e a função objetivo.

### **4.3. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA**

A metodologia consiste nos passos necessários para atingir o objetivo, demonstrar os componentes individuais necessários para a execução da metodologia. Para tanto são descritos nesse processo: 1ª Etapa: Seleção da região geográfica de modelagem; 2ª Etapa: Elaboração ou preparação dos dados de entrada - construção de uma base de dados; 3ª Etapa: Estudo da rede de transporte e armazenagem existente para o caso e a região de análise; 4ª Etapa: Definições da configuração das localizações a serem obtidas; 5ª Etapa: Heurística de clusterização para redução do esforço computacional; 6ª Etapa: Dimensionamento da rede de suprimentos para

commodities agrícolas; e a 7ª Etapa: Mecanismo de análise dos resultados. Todas estas etapas são descritas em detalhes a seguir.

#### **4.4. ETAPAS METODOLOGÓICAS**

O modelo ILOGIM é composto por 7 etapas, cada uma destas compreende um processo pré-definido que serve de abastecimento a etapa subsequente, excetuando a última destas etapas que corresponde ao processo de construção da rede de suprimentos para armazenamento e escoamento de *commodities*. Toda a metodologia foi elaborada e vinculada à utilização das ferramentas de geoprocessamento através das linguagens de programação R (*R Development Core Team*, 2020).

##### **1ª Etapa: Seleção da região geográfica de modelagem**

A seleção da região para aplicação da modelagem é o ponto essencial para o início da aplicação das demais etapas metodológicas da modelagem ILOGIM. Essa é determinante para a escolha dos dados necessários a execução da modelagem, seleção de restrições e da função objetivo da modelagem.

##### **2ª Etapa: Elaboração ou preparação dos dados de entrada - construção de uma base de dados**

A característica principal para os dados de entrada no ILOGIM é de que esses estejam em formato de dados espaciais (vetoriais, matriciais ou tabelas de atributos vinculadas a um conjunto de dados espaciais). Assim, os dados são preparados de maneira que todas as informações de características espaciais discretas (de ocorrência pontual no espaço de estudo) devem ser preparadas na forma vetorial (que pode ser ponto, linha ou polígono). E de tal modo que é possível representar uma facilidade logística (por um ponto), uma estrada (por uma linha), um município, *cluster* de consumidores ou produtores (por um polígono), entre outros tipos de informações possíveis de serem tratadas no ILOGIM.

##### **3ª Etapa: Estudo da rede de transporte e armazenagem existente para o caso e a região de análise**

A partir da base de dados construída na 2ª Etapa é analisada a situação da rede de suprimentos para o produto/caso escolhido, sob a ótica de oferta-demanda por unidade geográfica definida dentro da região geográfica selecionada. Esta análise deve ser realizada de modo espacial, para

avaliar a cobertura da rede de suprimentos existente e de modo numérico, para avaliar os valores envolvidos no processo. A partir dessa análise será possível definir os pontos logísticos críticos da região de estudo e qual a demanda existente (qual o número e tamanho das facilidades) para a região geográfica de estudo (município, por exemplo) para suprir o déficit da rede de suprimentos atual, dando origem às bases para a modelagem de uma rede de transporte e armazenagem para o produto/caso na região geográfica de estudo, com o mínimo custo de transporte e armazenamento (Figura 4.1).

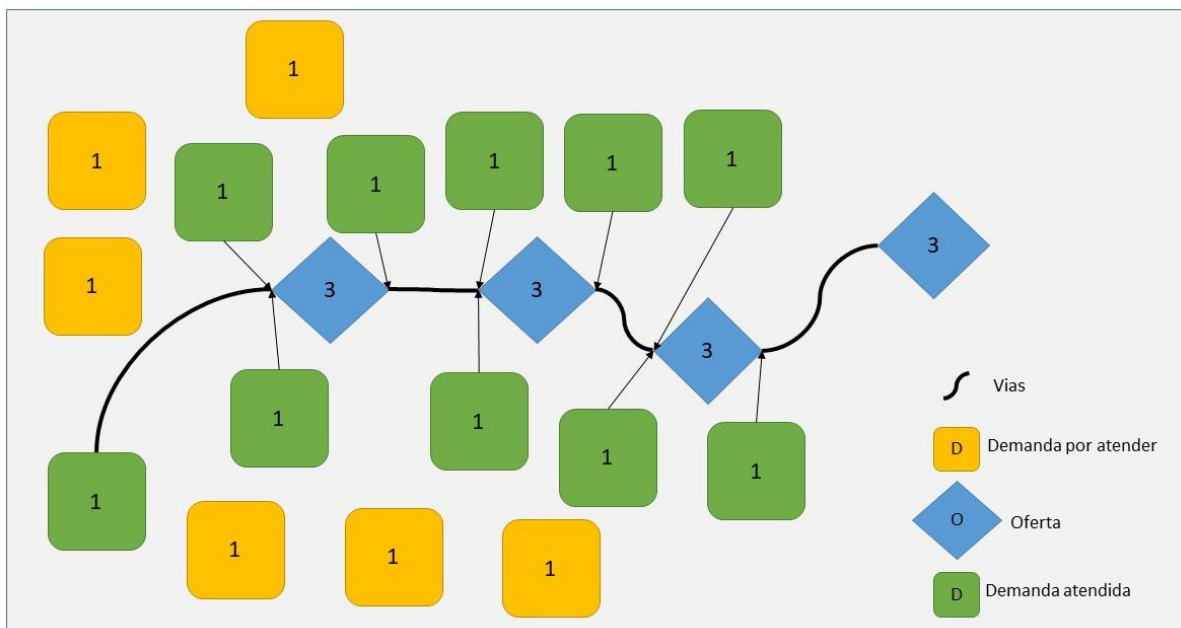


Figura 4.1 – Avaliação oferta-demanda de facilidades logísticas para a metodologia proposta com as restrições definidas. Fonte: Elaboração do autor.

A partir da Figura 4.1 é possível identificar computacionalmente qual o percentual de demanda que não está atendido pelas facilidades logísticas, e não só identificar o quanto, mas também onde é necessário o aumento do número de facilidades logísticas. Embora a figura represente somente um esquema, é identificável que os fluxos são somente atribuídos através das vias, que as facilidades logísticas estão inseridas nas vias para compor a rede de transporte. E que cada uma das facilidades pode receber somente 3 unidades de demanda, ao mesmo tempo que as unidades de demanda são iguais em tamanho.

#### 4ª Etapa: Definições da configuração das localizações a serem obtidas

Após preparados os dados a serem utilizados, é necessário definir as características do conjunto de facilidades logísticas a serem instaladas, seu tamanho, o número de facilidades, quais as restrições serão impostas para a definição dos componentes desta rede e qual o número de

repetições da aplicação da modelagem deverá ser aplicado para melhorar a rede de suprimento resultado da modelagem.

Esta etapa inicia na definição das restrições, já que estas servem para reduzir o esforço computacional e agilizar a produção dos resultados. Logo, em virtude do caráter espacial dos dados, todas as restrições implicam na retirada de porções inadequadas à instalação de facilidades logísticas para a nova rede de suprimentos a ser calculada.

Seguindo o mesmo exemplo da Figura 4.1, a definição da configuração do resultado esperado é parte fundamental do processo de cálculo, para o qual é necessário definir:

- a) Qual o nível de atendimento ou cobertura para a rede de suprimento e armazenagem a ser produzida pela simulação deve atender = Nesse caso o nível de cobertura é de 100% (ou seja, nenhuma unidade de demanda sem alocação a uma unidade de oferta);
- b) Quantas facilidades logísticas são necessárias para atender o nível de cobertura definido (em 100% para o caso do exemplo)= 2 Facilidades;
- c) Onde serão instaladas as facilidades logísticas = Junto a rede de transporte de modo a minimizar o somatório dos custos de todo o sistema.

Com essas definições é possível estipular quantas facilidades serão calculadas (2 ao total no caso da Figura 4.1), qual o tamanho (com capacidade de 3 unidades de demanda) e que serão sempre alocadas a partir da menor distância percorrida no sistema.

### **5ª Etapa: Heurística de clusterização para redução do esforço computacional**

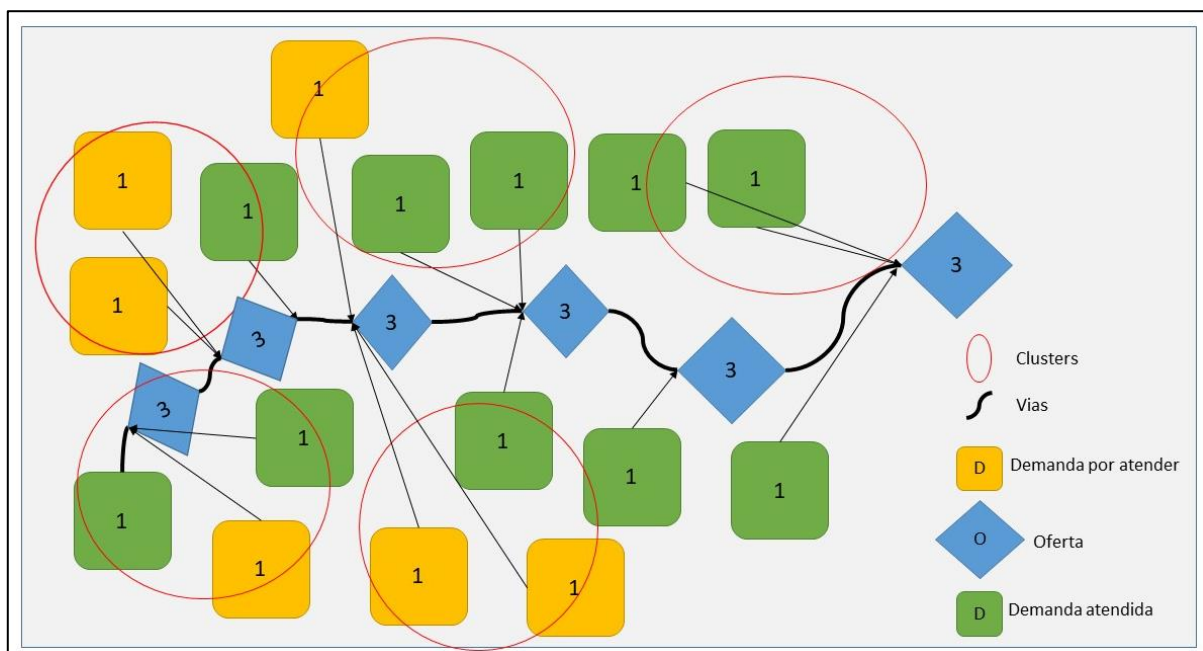
A aplicação da metodologia de localização de facilidades em uma rede consiste em uma otimização dos problemas *NP-Hard*, a partir de processo de combinação de múltiplas soluções testadas com variações de parâmetros na modelagem de localização desta metodologia, a função objetivo p-mediana, para cada unidade que terá sua instalação projetada.

Assim, para o caso da aplicação da metodologia em grandes áreas é necessário definir e implementar heurísticas que possam reduzir o número de combinações possíveis para as localizações a serem instaladas. Para isso, foi definida na metodologia a aplicação de um método de “clusterização” agregando as posições que abastecerão as facilidades logísticas. O algoritmo utilizado para a geração dos clusters é o *k-means* aplicado sobre as coordenadas de latitude e longitude de cada ponto de suprimento de demanda. Neste caso o *k-means* separa um conjunto de observações em um número *k* de grupos (a depender do número de facilidades

logísticas a serem adicionadas a rede de suprimentos), sendo que cada observação pertencerá a um único grupo, e pertencerá aquele grupo com a média de localização geográfica mais próxima de seu valor (*R Core Team and contributors worldwide, 2020*).

A aplicação dessa técnica define as zonas de suprimento que alimentarão cada facilidade logística a ser modelada através da metodologia. A partir dessas zonas de suprimento a aplicação do cálculo de localização é tratada individualmente no seu espaço geográfico, a partir da restrição espacial imposta pela zona de suprimento (dadas as características do método do *k-means*).

A partir do exemplo teórico, a aplicação da clusterização permite que sejam identificados quais pontos é necessária a aplicação da modelagem de novas facilidades logísticas que atendam às premissas definidas nas etapas anteriores. No caso do exemplo em questão, a Figura 4.2 demonstra a construção dos clusters que atendem à premissa de agregar em grupos de 3 unidades de demanda e ao mesmo tempo os que estejam mais próximos entre si e da rede logística.



#### 6ª Etapa: Dimensionamento da rede de suprimentos para *commodities* agrícolas

O processo de construção da rede de suprimentos consiste no cálculo das localizações das facilidades logísticas por meio do algoritmo p-mediana em cada uma das zonas de suprimento.



O resultado ótimo local é a rede de suprimento um conjunto de ótimos locais e um ótimo global otimizado ao conjunto da rede de suprimento. O algoritmo ser definido para a metodologia é o algoritmo de Teitz & Bartz (TEITZ & BARTZ, 1968; BRUNSDON, 2015). Esse algoritmo considera a rede de transporte para os cálculos de distância entre os pontos de suprimento (dentro das zonas de suprimento), as localizações das facilidades logísticas modeladas.

Com a aplicação da metodologia proposta, a nova rede de suprimento e armazenagem passa a permitir que sejam alocadas às demandas às facilidades logísticas mais próximas, de modo a otimizar o resultado final (Figura 4.3).

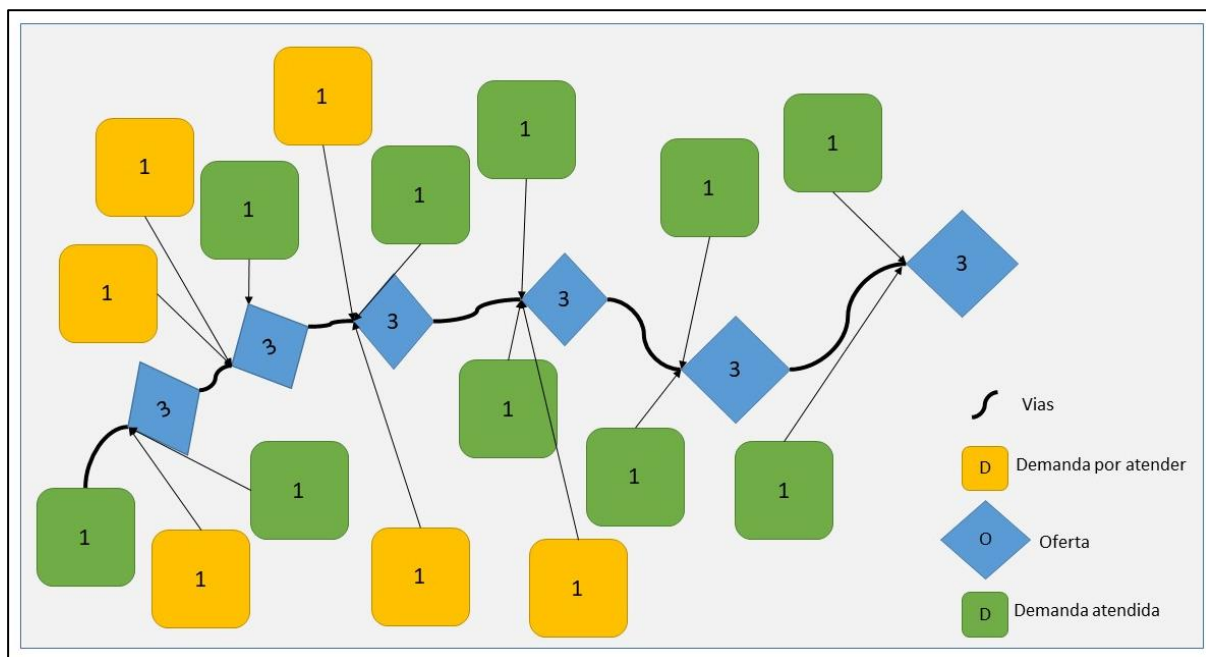


Figura 4.3 – Ilustração do resultado do cálculo da nova rede de suprimentos para armazenagem de *commodities* agrícolas. Fonte: Elaboração do autor.

### 7ª Etapa: Mecanismo de análise dos resultados

A análise dos resultados da metodologia consiste em comparar os custos totais do sistema simulado, em cada uma das execuções da modelagem, e estabelecer qual dos arranjos (número de facilidades, tamanho das facilidades e outros parâmetros) demonstraram os resultados mais adequados as especificações definidas na função objetivo.

Os resultados da modelagem também são analisados sobre o ponto de vista de cobertura produzida pela nova rede de suprimento simulada, e se essa cobertura está de acordo com os parâmetros estabelecidos no momento da definição da rodagem da modelagem. Adicionalmente, o mecanismo de análise econômica permite estimar qual o custo total, em reais, para implementar que cada uma das simulações.

## 4.6. DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

Para descrever a metodologia, faz-se necessário considerar que, no contexto da presente pesquisa o termo metodologia operacional faz jus a uma ferramenta utilizável rotineiramente por qualquer setor que demande de instalação de facilidades logísticas. Essa proposta pode ser tanto considerada em termos de metodologia (a partir de toda a descrição e definições desta pesquisa) como também pelas ferramentas (como sistema computacional capaz de gerar as posições para as localizações desejadas).

Adicionalmente, o estudo de caso que demonstrará a potencialidade da metodologia será aplicado sobre a cadeia de soja e milho, visando à produção de um conjunto de observações capazes de suprir a capacidade demandada para capacidade estática de armazenagem. Essas duas culturas, soja e milho, foram escolhidas por sua importância econômica e social no país.

Nesta seção são apresentadas as etapas da metodologia que foram aplicadas, bem como as variáveis necessárias ao desenvolvimento da mesma e que foram nominadas na Seção 4 e Tabela 4.1.

### 4.6.1. Estudo da Rede Logística de *Commodities* Sob a Ótica da Oferta-Demanda

Em consonância com os objetivos propostos, uma das etapas fundamentais ao desenvolvimento da modelagem de geração de rede de transporte e armazenagem para *commodities* agrícolas é a análise da rede existente com base em uma ótica de oferta-demanda (MILLER *et al.*, 1996; FIUZA *et al.*, 2012). Para reproduzir esse tipo de análise, com uma ótica sistêmica, deve-se analisar não somente a rede de transportes, como o transporte em si mesmo (FILHO, 2014), as estruturas de armazenagem (JUNIOR & TSUNECHIRO, 2005; GALLARDO *et al.*, 2009), entre outros fatores.

A base dessa etapa da metodologia é construída em termos de valores matemáticos e locacionais (HOLMBERG *et al.*, 1999; HUA *et al.*, 2011; HILLIER & PROCE, 2013), para a construção de uma rede logística com design apropriado a máxima eficiência (OH & HAGHANI, 1997; KLOSE & DREXL, 2005; PACHECO & CIRQUEIRA, 2006; PANICHELLI & GNANSOUNOU, 2008; LAMBERT & STEWART, 2011; SOUZA *et al.*, 2013; SCHIFFERA & WALTHERA, 2017; TEODOROVIC & JANIC, 2017) e adensamento de cadeia logística (LOPES, 2014).

A primeira parte da aplicação da metodologia para definição da rede logística para armazenamento de *commodities* agrícolas consiste na produção das informações espaciais de localização dos cultivos e da quantidade produzida para cada célula do mapa. Esse processo utiliza estatísticas agrícolas disponibilizadas pelo IBGE e CONAB e do uso da metodologia desenvolvida por Eberhardt *et al.* (2015) definida como Detecção de Áreas Agrícolas em Tempo Quase Real (DATQuaR) com uso de imagens de satélite. Para mais detalhes de ambas metodologias de identificação de cultivos ver o Apêndice I - Metodologia de identificação de cultivos.

#### **4.6.2. Definições Quanto a Tamanho e Tipo de Facilidade Logística Padrão**

Em virtude da necessidade de definir tipo padrão das facilidades logísticas que sirvam a armazenagem de *commodities* agrícolas, essa informação foi extraída do Sistema de Cadastro Nacional de Unidades Armazenadoras (SICARM) da CONAB (CONAB, 2020b).

Uma vez definido o tipo de unidade armazenadora mais recorrente, é necessário escolher o tamanho típico de unidade. Para tanto, podem ser utilizados os dados do SICARM para estimar o qual o volume médio de capacidade estática para o tipo típico de estrutura de armazenagem para a região de estudo.

A produção das novas localizações deve levar em conta este tamanho e tipo típico das regiões em estudo e também considerará instalar unidades de tamanho variável (partindo do tamanho típico) até o maior valor da região em análise.

#### **4.6.3. Geração das Zonas de Suprimento para as Facilidades Logísticas**

A partir do tamanho típico da facilidade logística identificada para a região de estudo são calculadas as regiões de influência em termos de volume de demanda que produz um raio suficientemente grande para o abastecimento da facilidade logística ou para receber seu atendimento. Essa abordagem produz um conjunto de clusters sobre os quais é possível calcular o ótimo local (localização ótima dentro da região delimitada) de modo ágil e independente das demais localizações a serem alocadas.

Utilizando esse tipo de abordagem, que em computação é chamada de *divisão e conquista*, permite que seja implementado um sistema de processamento em paralelo do cálculo de localização, sendo realizado o cálculo de cada facilidade logística, analisada de modo separado

e simultaneamente. A metodologia com essa configuração permite que sejam geradas simulações em grandes regiões, tornando o método factível para aplicações reais nas mais diversas áreas.

O resultado da aplicação dessa técnica produz os mapas de zonas de suprimento ou demanda para as facilidades logísticas pretensamente a serem instaladas que comportem a demanda de acordo com as premissas definidas para a modelagem em aplicação. A título de demonstração desta premissa, podemos verificar as zonas de suprimento para as unidades de armazenamento já existentes no município de Nova Ubiratã (Figura 4.4).

As zonas de suprimento utilizadas para subsidiar a localização de novas unidades de armazenamento são similares ao demonstrado na Figura 4.2, com a ressalva de que no caso das novas unidades as zonas de suprimento foram calculadas para subsidiar a definição de localização das novas unidades de armazenamento (KLAMROTH, 2002; D'IGNAZIO & GIOVANNETTI, 2014).

Essas zonas foram computadas com base na produção disponível no espaço por meio de uma relação de densidade de disponibilidade de cultivo, com a definição do raio desta zona de abastecimento sendo aquele necessário para abastecer uma unidade de armazenamento padrão do estado do MT. Logo, para cada célula do mapa avaliado é produzido um valor de raio necessário para que a produção de soja e milho seja equivalente a necessidade para abastecer uma unidade de armazenamento padrão. Essa medida indica quão mais concentrada está a produção disponível para o armazenamento e conseqüentemente, quão mais favorável essa posição é em relação as demais por conta de sua alta concentração de produção ao redor da possível localização. Para o caso da demonstração os diâmetros são variáveis em função do tamanho das unidades de armazenamento existentes segundo os dados do SICARM-CONAB. As porções em amarelo são as áreas cultivadas com soja e milho no mapa produzido pela metodologia DATQuAR.

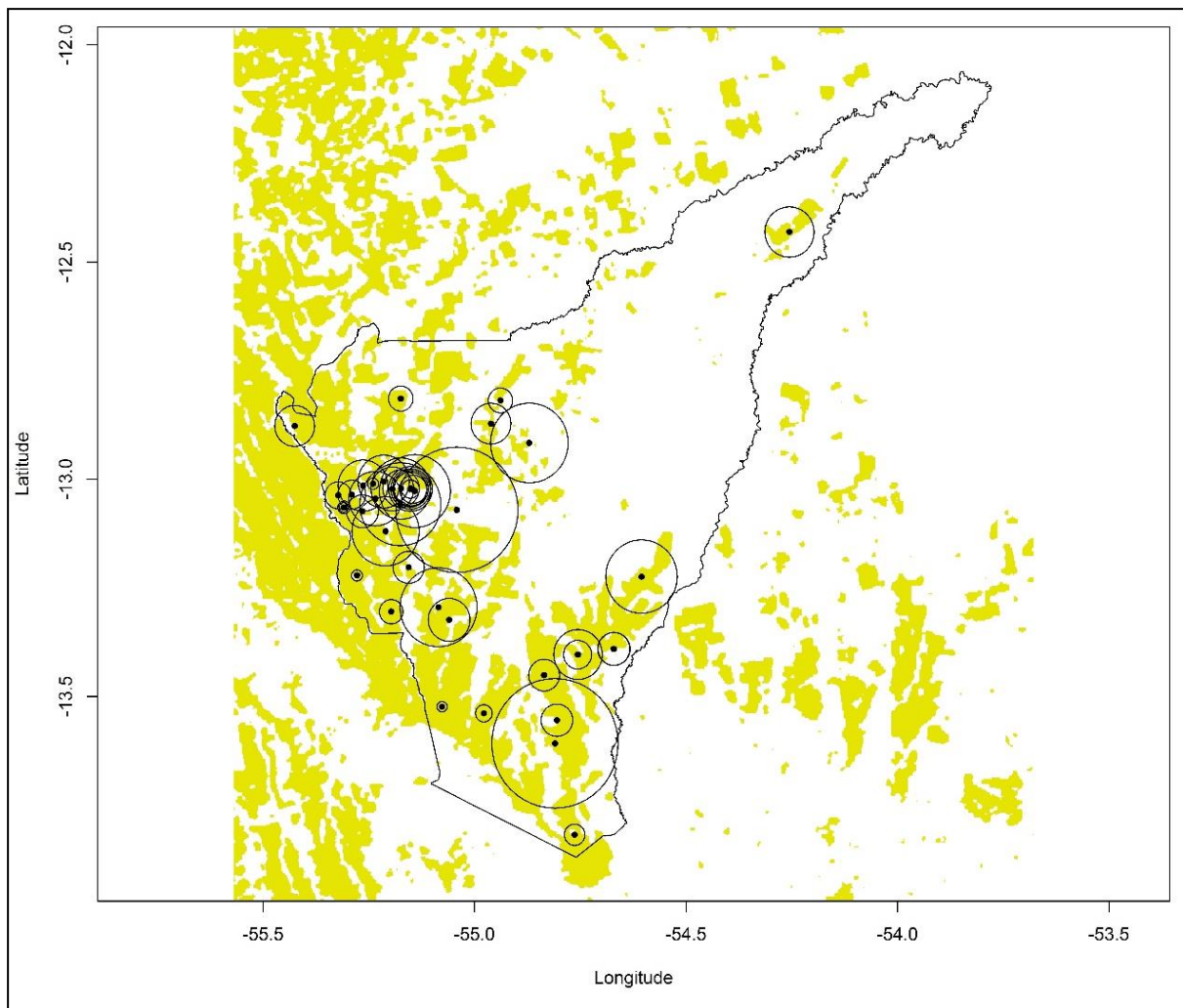


Figura 4.4 – Zonas de suprimento para as unidades de armazenamento já existentes no município de Nova Uiratã – MT. Fonte: Elaboração do autor.

#### 4.6.4. Modelagem de Localização de Facilidades Logísticas

O ponto de partida do processo aqui proposto está no banco de dados construído com todas informações anteriormente citadas e nas zonas de suprimento geradas na etapa imediatamente anterior. Sobre esses dados é aplicada a modelagem de localização p-mediana para identificar a melhor localização das estruturas de armazenagem para cada zona de suprimento, respeitando as restrições definidas na concepção da metodologia, que produzam o menor custo de transporte do sistema como um todo.

Já que esta tese de doutorado desenvolve uma metodologia operacional de modelagem de alocação de facilidades logísticas, visando disponibilizar à sociedade uma opção de gestão e planejamento logístico para atores públicos e privados, esta foi implementada, desenvolvida e

testada em um sistema integrado de plataformas de softwares livres, utilizando o software R (R *Development Core Team*, 2020) e o Python (ROSSUM & BOER, 1991).

A opção por implementar a metodologia em nível de *script* R e em Python, e não usar softwares proprietários disponíveis, advém da flexibilidade de análise, capacidade de processamento e a possibilidade de inserir restrições espaciais e técnicas ao processo de modelagem, em especial na ciência de localização (SCHOLTEN *et al.*, 2009). Por exemplo, uma dessas restrições de caráter espacial é a vinculação de possíveis localizações somente inseridas no mapa de estradas da região em estudo, já que as facilidades logísticas dependem de transporte para sua operação. Associado a isso a utilização de linguagem de programação permite a flexibilidade de análise dos resultados produzidos pela metodologia a elaboração de modelagem estatística para produção de cenários futuros, bem como sumarização dos resultados finais, em uma mesma plataforma, interligado ao processo de geração da metodologia.

Traduzindo os termos matemáticos das Equação 1 e as restrições 2 a 8 para o caso de localização de facilidades logísticas, tem-se que,  $i$  equivale ao ponto de localização da facilidade logística (que neste caso se refere a localização que minimiza a máxima distância entre os pontos de demanda via rede de transporte e a facilidade logística) e  $j$  representa os pontos de demanda para a facilidade logística (porções da superfície que representam a demanda), as restrições (5) e (6) garantem a pertinência de cada nó  $j$  (porção da superfície que demanda uma facilidade logística) está sendo alocado unicamente a um nó  $i$ , que equivale a uma mediana (localização da facilidade logística).

E por fim, a restrição (7) determina o número exato das medianas a serem identificadas ( $p$ ) (o número de facilidades logísticas a serem localizadas), e a restrição (8) garante que o resultado é integral. Esse desenho está de acordo com o proposto por HAKIMI, 1964; HAKIMI, 1965; TEITZ & BART, 1968; REVELLE & SWAIN, 1970; PUU, 2003; REVELLE & EISELT, 2005; REVELLE *et al.*, 2008; FARAHANI & HEKMATFAR, 2009; SEDGHI *et al.*, 2017.

Porém, dada a característica da função objetivo  $p$ -mediana de calcular todas as posições contidas na região restrita espacialmente, este cálculo resulta em uma matriz de  $z$  linhas e colunas (sendo que o  $z$  equivale ao número total de possíveis localizações de unidades de armazenamento), esta característica é que confere a condição chamada *np-hard*. Associado a esta característica matricial da metodologia, de modo geral, existem ganhos em eficiência a partir do aumento da escala (escala neste caso aumento de escala é entendido como aumento do tamanho da facilidade logística) e este aumento de escala implica em um maior  $z$  no

momento do cálculo da posição da facilidade logística, em outras palavras, um crescimento no número de combinações e a conseqüentemente o aumento da dificuldade de cálculo e aumento do tempo computacional necessário executar estes cálculos.

Em geral, as metodologias que empregam a função objetivo p-mediana acabam por utilizar formas de simplificação ou redução da complexidade do processo de cálculo, que são chamadas heurísticas. Entre as heurísticas utilizadas está a relaxação langrangeana/*surrogate* (LORENA *et al.*, 2001; SENNE & LORENA, 2003; ARAKAKI & LORENA, 2006), otimização de sub-gradientes (BEASLEY & CHIYOSHI, 1993), árvore de soluções (MARANZANA, 1964), *annealing simulated* (GALVÃO & CHIYOSHI, 2000) e outras possíveis heurísticas.

O caso do método proposto enfoca a produção de uma metodologia de amplo uso, no qual a instalação de facilidades logísticas está vinculada à demanda por vias de acesso (preferencialmente com pavimentação asfáltica, porém com a inclusão das vias de terra), com proximidade de cidades ou aglomerados com a população disponível a trabalhar na unidade e de uma área de zona de suprimentos de demanda pela facilidade logística em questão (dado que a uma facilidade logística apresenta uma região de influência estabelecida por um raio de ação), entre outras condições. Estas condições aqui foram tratadas como restrições à localização de facilidades logísticas e ao mesmo tempo servem para delimitar a heurística proposta para a redução do volume dados a ser processado pela metodologia.

A partir das características citadas, a proposta de utilização de zonas de suprimento como heurística ao processo de cálculo da localização de facilidades logísticas permite atender a todas essas premissas de restrições e ainda ser de fácil implementação, bem como de ampla utilização já que pode ser adotada para os casos em que a facilidade logística recebe produtos da zona de suprimento ou o inverso onde a facilidade logística pode atuar distribuindo produtos para pontos nesta região geográfica delimitada pela zona de abastecimento.

Essas zonas de suprimento são definidas a partir de um raio cujo centro esteja localizado sobre as vias da região, e que este raio seja de uma dimensão tal que seja capaz de suprir a demanda de abastecimento da facilidade logística a ser instalada na região em questão (ZARANDI *et al.*, 2011; ZARANDI *et al.*, 2013; PEREIRA *et al.*, 2015). De modo simplificado, utilizando um exemplo a partir da produção de *commodities* agrícolas, é possível estabelecer que a zona de suprimento equivalerá à região na qual toda a produção de *commodities* estará sendo atribuída a uma única unidade de armazenamento a ser instalada e que essa será completamente abastecida (Figura 4.5). No detalhe, a Figura 4.5 mostra um exemplo do conceito de zona de

suprimento para uma unidade de armazenamento de soja e milho construído a partir do mapa de soja e milho (círculo em preto com o centro marcado em vermelho), instalada nas proximidades de uma rodovia (vetor em preto).

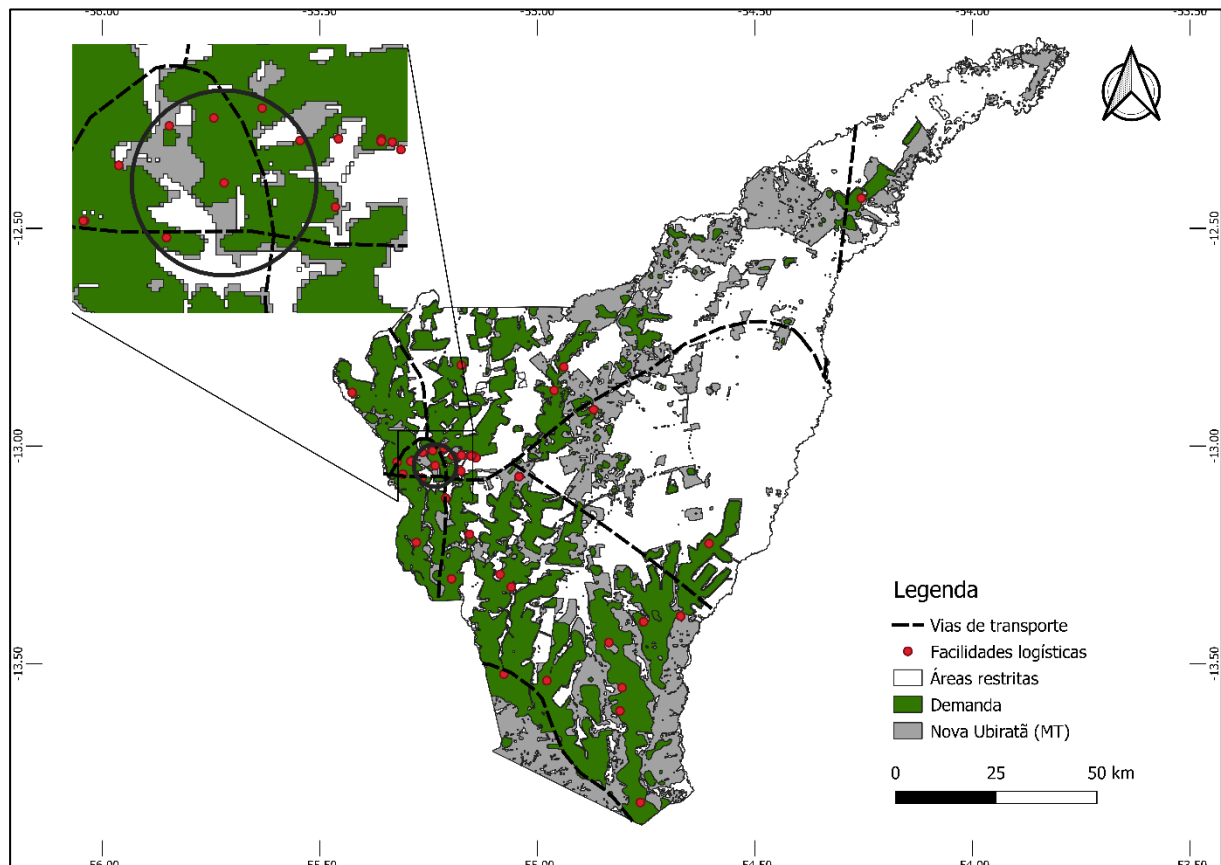


Figura 4.5 – Demonstração da heurística aplicada a função objetivo p-mediana para a redução de complexidade e do esforço computacional de aplicação do processo.  
Fonte: Elaboração do autor.

Dada a configuração dessa heurística, da adoção das restrições para a alocação de facilidades logísticas e das condicionantes negativas definidas na Tabela 4.1, a metodologia aqui proposto acaba por reduzir em mais de 97% das áreas possíveis para recebimento das facilidades logísticas, fato que potencializa a aplicação em múltiplos cenários (múltiplas simulações com variações de parâmetros) em grandes regiões, em alguns casos até mesmo de aplicações de caráter nacional.

A utilização deste método além de restringir o número de opções de locais à instalação de cada facilidade logística (o que na prática se mostra racional, dado que ao aplicar uma metodologia deste tipo em grandes regiões, as possíveis localizações de unidades a serem instaladas no norte da região de estudo não podem entrar na concorrência com possíveis pontos localizados no sul



da mesma região, por exemplo), ainda garante a observância das restrições definidas na função objetivo p-mediana.

O número de zonas de suprimento a partir da demanda para a região em estudo serve para definir o número de facilidades logísticas a serem instaladas (satisfazendo a restrição 5). Por outro lado, o uso da zona de suprimento garante que  $j$  (ponto de abastecimento, que no caso da metodologia equivale a uma porção do mapa de demanda) só poderá estar atribuído a um único  $i$  (local de instalação da facilidade logística, que no caso da metodologia será equivalente a um ponto ligado as vias de acesso), de modo a satisfazer as definições (6 e 7).

#### 4.6.5. Estimativa do Custo de Armazenagem

Utilizando o custo médio de armazenagem por um período de 12 meses para diferentes tamanhos de facilidade logística é estimado o custo de armazenamento para o período de 12 meses de cada uma das unidades logísticas resultantes da aplicação da metodologia de obtenção da rede de suprimentos calculada. Os custos de armazenamento por tonelada em diferentes escalas estão descritos na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Custo operacional anual para armazenagem de grãos à granel.

Tamanho da Unidade (em toneladas)*	Custo operacional por ano para armazenagem (em R\$)**
13.500	R\$ 68,28
21.817	R\$ 61,45
30.000	R\$ 54,62
162.080	R\$ 51,21

\*Tamanho das unidades em toneladas de capacidade estática de armazenagem. \*\*custo operacional para o processo de armazenagem de grãos à granel por período de 12 meses, considerando todos os custos operacionais e sem movimentação de carga interna na infraestrutura.

#### 4.6.6. Estimativa do Volume de Investimento Necessário para as Facilidades Logísticas Simuladas

A partir do mapa de demanda por instalação de facilidades logísticas gerado através da aplicação da metodologia de cálculo descrita previamente, é produzida uma estimativa de valor total de investimento necessário a suprir o déficit facilidades logísticas para as condições da função objetivo aplicada, de acordo com os pressupostos e restrições estabelecidas para o caso (tipo de produto) e a região de estudo. Para esta aplicação da metodologia é gerado um valor para a região em estudo  $I_e$ , que será dado pela relação entre o tamanho médio das facilidades

logísticas ( $\partial$ ), o número de facilidades necessárias ( $\beta$ ) e o valor médio de investimento necessário para instalação de cada unidade das facilidades logísticas naquelas condições ( $\delta$ ), de onde se obtém a relação:

$$I_e = \partial * \beta * \delta \quad (11)$$

A pressuposição de cálculo de demanda total de investimentos para suprir as necessidades por facilidades logísticas de uma região de estudo, utilizando essa metodologia de cálculo simplificado, advém da restrição definida inicialmente de que todas as facilidades logísticas a serem simuladas tem o mesmo tamanho.

## 5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DO ESTUDO DE CASO

A aplicação da metodologia proposto desta tese no estudo de caso visando à validação do algoritmo, das teorias escolhidas, das pressuposições, dos métodos aplicados e das ferramentas utilizadas para materializar toda a proposição. O estudo de caso foi realizado na localização de facilidades logísticas para armazenagem de *commodities* agrícolas, sendo elas soja e milho no Município de Nova Ubiratã, no Estado do Mato Grosso. A aplicação da metodologia seguiu todas as pressuposições, técnicas e métodos sobre o município de Nova Ubiratã, e este local foi escolhido porque é um dos municípios do estado do MT que detém uma das cinco maiores áreas cultivadas de soja e milho e que dentre esses maiores produtores detém o maior déficit de capacidade estática de armazenagem.

A capacidade estática de armazenagem existente, para a safra 2017/2018, para o município de Nova Ubiratã é de 818 mil toneladas. Todavia, ele teve a produção de 2,7 milhões de toneladas para soja e milho nesse período. Logo, para alcançar a orientação da FAO de volume mínimo de infraestrutura de armazenagem (que é igual a 1,2 vezes a produção de uma safra) a demanda é de 3,24 milhões de toneladas.

As características e restrições do estudo de caso para a metodologia ILOGIM aplicado à localização de unidades logísticas para armazenagem de *commodities* agrícolas, são:

- a) As zonas de suprimento servem de origem para a demanda por armazenagem e estão em função o volume de soja e milho produzido e da localização das áreas;
- b) As vias de acesso utilizadas como rede de transporte são unicamente de transporte rodoviário e estão presentes no mapa oficial de rodovias (quer sejam com cobertura asfáltica ou não);
- c) Todas as facilidades logísticas operam ao mesmo custo operacional por tonelada recebida, portanto, sem diferencial de preço, o que permite estabelecer um processo de concorrência territorial pela aquisição da demanda. Sendo a alocação unicamente baseada na distância entre o ponto de demanda e o ponto de oferta, sempre sendo considerada a alocação da demanda à uma facilidade logística realizada a partir da menor distância;
- d) As facilidades logísticas de armazenagem existentes são tratadas de modo que a sua capacidade é preenchida por meio de raio de ação concorrencial ou de cobertura a partir de suas zonas de suprimento concêntricas a sua localização;

- e) As facilidades logísticas a serem alocadas pelo ILOGIM são de tamanho igual em cada aplicação da metodologia, variando de 13,5 mil toneladas (mínimo valor encontrado nas unidades existentes no município hoje), 21,817 mil toneladas, 30 mil toneladas e 162,080 toneladas;
- f) A cobertura da nova rede logística a ser simulada visa cobrir toda a produção de soja e milho, variou de 40% a 120% da produção (mais 20% adicionais de acordo com o sugerido pela FAO);
- g) Aplicações da metodologia foram realizadas para a demanda por armazenagem em 2018 e no ano 2050.

Sobre o conjunto dos dados espaciais do município foram excluídas as áreas com restrições negativas, conforme descrito na Seção 4 e Tabela 4.1. Essa operação visa restringir as possíveis localizações de cálculo de facilidades logísticas somente a áreas que estejam aptas a seu recebimento (Figura 5.1). Na Figura 4.4, em vetor vermelho estão representadas as áreas de soja e milho identificadas pela metodologia DATQuaR. As áreas em branco representam áreas com restrições negativas excluídas a partir de diferentes variáveis, como por exemplo mapa de cobertura vegetal florestal (Hansen *et al.*, 2013), áreas urbanas (incompatíveis com a instalação de unidades logísticas), entre outros. As porções em cinza representam as áreas favoráveis à instalação de facilidades logísticas na região em estudo.

O mapa de soja e milho gerado para a aplicação da metodologia ILOGIM foi obtido a partir da aplicação da metodologia DATQuaR (EBERHARDT *et al.*, 2015) descrita no Apêndice I. A partir disso, foi produzido um mapa de cultivos com as imagens MODIS EVI para a safra 2017/2018 (Figura 5.1), que possibilita identificar as localizações de origem da produção para abastecer as facilidades logísticas de armazenagem.

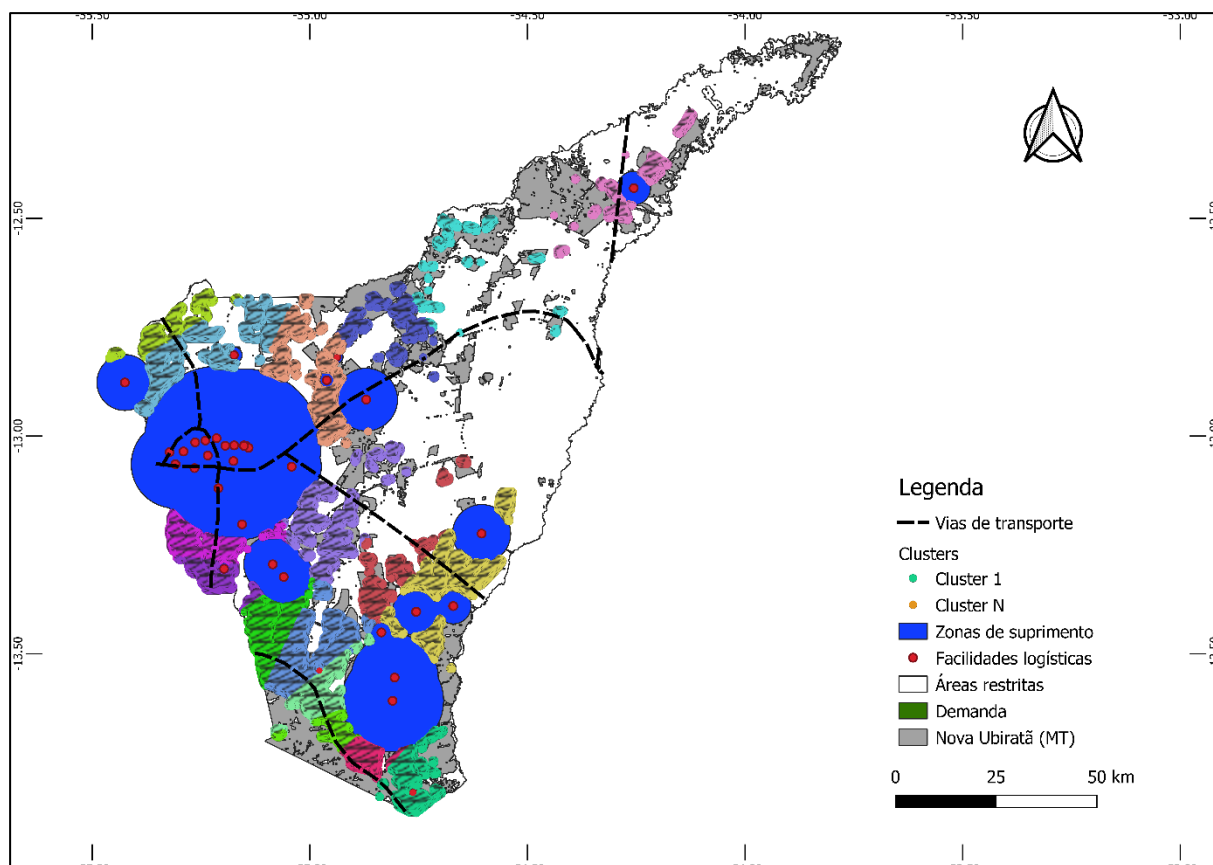


Figura 5.1 – Mapa de cultivo de soja e milho para o município de Nova Ubitatã, na Safra 2017/2018.

Fonte: Elaboração do autor.

A partir do mapa de cultivos gerado com a metodologia DATQuAR (que representa a localização dos cultivos) é produzido um mapa de demanda em que o valor de cada célula do mapa equivale ao valor em toneladas de demanda por armazenagem para ser alocado nas unidades logísticas a serem calculadas. Essa superfície de demanda é calculada a partir da seguinte equação:

$$D_t = \left( \frac{T * 1.2}{A} \right) * C_a \quad (12)$$

Onde,  $D_t$  equivale ao valor de demanda por célula do mapa de demanda em toneladas, sendo calculada a partir de  $T$  que é a soma da produção de soja e milho para a safra, e o fator de 1.2 equivale ao percentual adicional proposto pela FAO, para o valor  $A$  representa a área cultivada em hectares e o termo  $C_a$  equivale a área em hectares da célula do mapa.

Para a aplicação da metodologia nas condições de Nova Ubitatã (MT) o valor total de produção de soja e milho para a safra 2017/2018 foi de 2,7 milhões de toneladas em uma área de 360.000

hectares, como resultado de demanda por célula do mapa que é equivalente a 6,25 hectares, dado que:

$$D_t = \left( \frac{2.700.000 \text{ ha} * 1.2}{360.000 \text{ t}} \right) * 6,25 = 56,25 \text{ t. ha}^{-1}$$

Portanto, cada uma das células do mapa de demanda passa a ser considerada como uma demanda potencial por armazenagem, a partir da qual foram construídas as zonas de suprimento. Inicialmente foram construídas as zonas de suprimento necessárias para o abastecimento de cada uma das facilidades logísticas de armazenagem já existentes no município de Nova Ubiratã, para delimitar quais as porções onde existe produção de soja e milho não estão inseridas sob o raio de abrangência das unidades de armazenamento existentes no município. O algoritmo de geração das zonas de suprimento considera a capacidade da unidade de armazenamento e a localização exata (de acordo com o banco de dados adquirido junto a CONAB); mapa DATQuaR de cultivo e a  $D_t$  de soja e milho no município para a safra.

A metodologia considera esses parâmetros para definir qual o raio de ação de cada unidade de armazenamento é necessário para que a produção dessa área seja igual ao volume necessário para suprir a unidade de armazenamento. O algoritmo define o raio dessa zona de abastecimento até que a diferença entre a demanda da região e a capacidade de armazenamento da unidade esteja abaixo de  $\pm 0,5\%$ , quando os resultados são salvos no formato de mapa da zona de suprimento (Figura 5.2).

Cabe ressaltar que para os locais onde existem unidades de armazenamento próximas e que as zonas de influência dessas unidades se sobrepõem é considerada uma concorrência perfeita, uma vez que, a definição a quem está alocada cada célula do mapa de demanda é calculada a partir da distância através da rede de transportes e o custo de armazenamento por tonelada de cada uma das unidades é o mesmo para todas as unidades.

Ademais, o processo de cálculo das zonas de suprimento começa com o mapa de cultivo do município na totalidade das áreas, e a cada cálculo de zona de suprimento, a porção de área equivalente à produção necessária para abastecer essa unidade é excluída do mapa. A próxima zona de suprimento passa a ser calculada sem considerar essa região do mapa já alocada anteriormente a uma zona de abastecimento. De tal forma, a construção de cada uma das novas zonas de suprimento inicia-se a partir da demanda ainda não alocada.

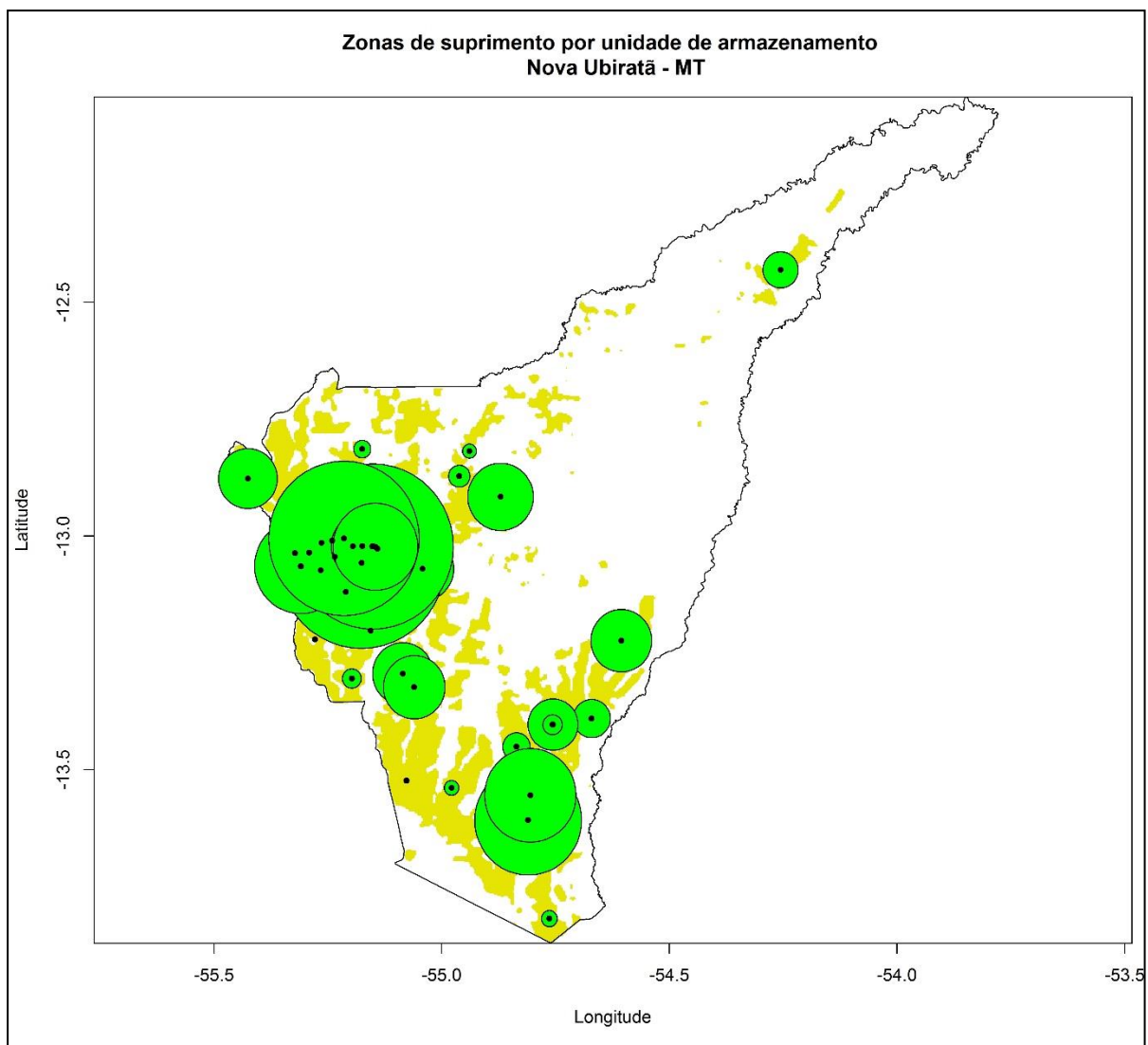


Figura 5.2 – Zonas de suprimento para o município de Nova Uiratã – MT. Na figura as porções em amarelo são aquelas pertencentes ao mapa DATQuaR, as porções em verde representam as zonas de suprimento das unidades de armazenamento que já existem e estão representados nos pontos em preto na figura.

Fonte: Elaboração do autor.

Sobre o mapa DATQuaR, após a exclusão das áreas que pertencem as zonas de suprimento das unidades de armazenamento já existentes, foi aplicado o processo de clusterização para segmentar as porções do território, dado que o tamanho de unidade de armazenamento típica a ser calculada é equivalente à mediana das facilidades logísticas da região em estudo (Tabela 5.2 e Figura 5.3).

Tabela 5.2 – Parâmetros aplicados para testar a aplicação da modelagem de localização para o caso de Nova Ubiratã – MT e resultados produzidos.

<b>Tamanho (toneladas)</b>	<b>Cobertura de produção (%)</b>	<b>Nº de unidades em 2018</b>	<b>Nº de unidades em 2050</b>
<b>13.500</b>	40	51	95
<b>13.500</b>	50	64	119
<b>13.500</b>	60	76	143
<b>13.500</b>	70	89	167
<b>13.500</b>	80	102	191
<b>13.500</b>	90	115	215
<b>13.500</b>	100	127	238
<b>13.500</b>	120	153	286
<b>21.817</b>	40	32	59
<b>21.817</b>	50	39	74
<b>21.817</b>	60	47	89
<b>21.817</b>	70	55	103
<b>21.817</b>	80	63	118
<b>21.817</b>	90	71	133
<b>21.817</b>	100	79	148
<b>21.817</b>	120	95	177
<b>30.000</b>	40	23	43
<b>30.000</b>	50	29	54
<b>30.000</b>	60	34	64
<b>30.000</b>	70	40	75
<b>30.000</b>	80	46	86
<b>30.000</b>	90	52	97
<b>30.000</b>	100	57	107
<b>30.000</b>	120	69	129
<b>162.080</b>	40	4	8
<b>162.080</b>	50	5	10
<b>162.080</b>	60	6	12
<b>162.080</b>	70	7	14
<b>162.080</b>	80	8	16
<b>162.080</b>	90	10	18
<b>162.080</b>	100	11	20
<b>162.080</b>	120	13	24

Fonte: Elaboração do autor.

A aplicação mostrou-se possível, demonstrando que o uso da metodologia ILOGIM para dimensionamento da rede de transporte e armazenagem de *commodities* agrícolas representa uma ferramenta interessante e que tem potencial para este tipo de aplicação. Por exemplo, uma das aplicações da metodologia utilizou valor total de facilidades logísticas a serem instaladas na região de estudo foi de 13 unidades, com o tamanho médio de 162.080 toneladas por unidade de armazenamento. Adicionalmente, a Figura 5.3 demonstra que a aplicação da metodologia



ILOGIM conseguiu produzir uma cobertura de cálculo de novas facilidades logísticas que passariam a atender à produção do município de Nova Ubitatã em 20% acima de sua capacidade de produção, com um recobrimento geográfico pleno da área de estudo onde foi aplicada a metodologia.

As porções em azul equivalem às áreas que tem cobertura por parte das unidades de armazenamento já existentes. Os pontos em amarelo são as localizações propostas de instalação de novas unidades de armazenamento e as linhas em marrom representam os pixels alocados a cada unidade de armazenamento a ser alocada. Todas as novas facilidades logísticas foram calculadas para estarem situadas na rede de transporte e as distâncias são as somas das distâncias via rede de transporte da produção até a unidade de armazenamento.

Em relação ao dimensionamento do volume de investimento para que fosse possível implementar a rede logística proposta, foi utilizado o valor do custo médio de construção de toda uma facilidade logística de armazenagem com todos os equipamentos e obras civis de aproximadamente R\$ 545,70 por tonelada de capacidade estática construída.

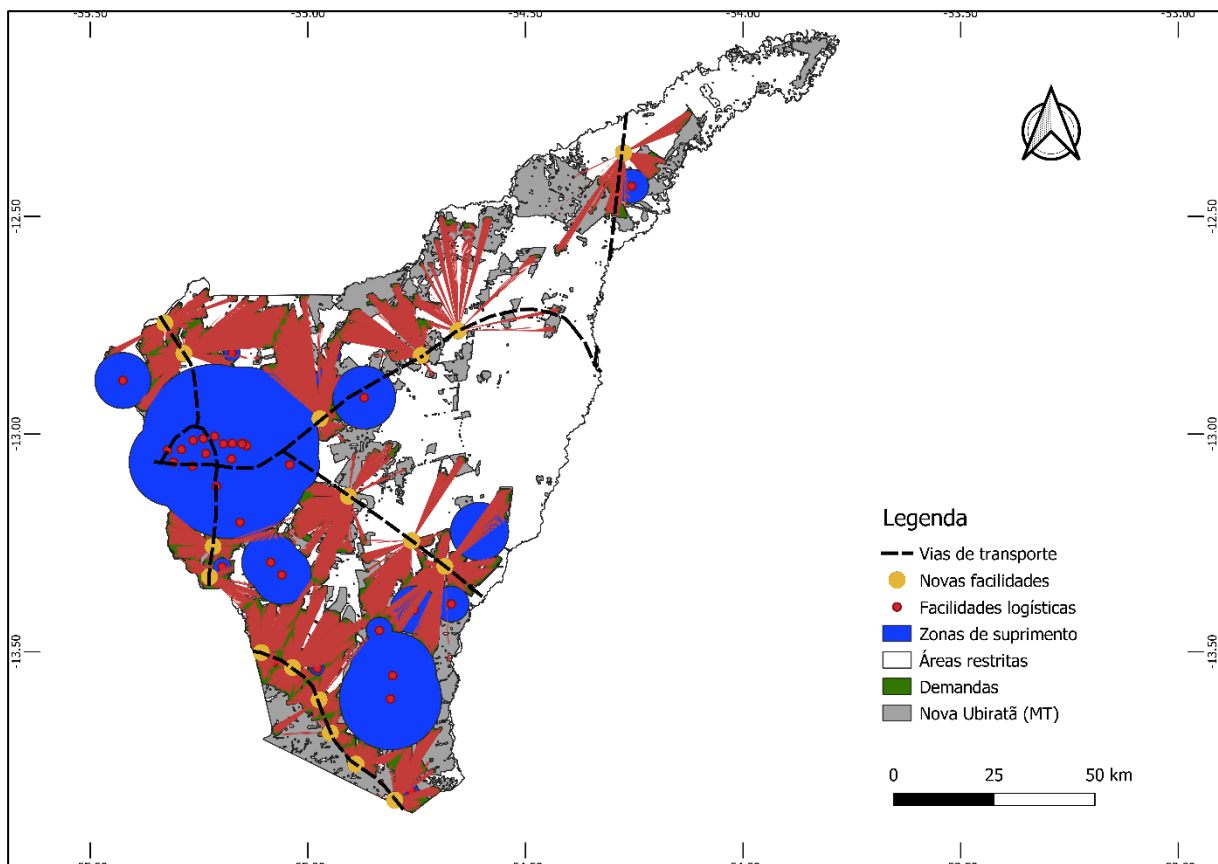


Figura 5.3 – Resultado da aplicação do ILOGIM, com o cálculo para a localização de 13 novas unidades de armazenamento de soja e milho para o município de Nova Ubitatã – MT. Fonte: Elaboração do autor.

## 6 RESULTADOS

A metodologia ILOGIM foi desenvolvida com o intuito de atender a um problema real e de grande relevância econômica, relacionado ao processo de otimização de redes logísticas, um problema frequente no território Brasileiro e nos Países em Desenvolvimento em geral. Essa premissa é importante especialmente em função da constante demanda por melhoria das condições logísticas de países produtores e exportadores de commodities agrícolas, bem como pela limitação de capital existente para o desenvolvimento das melhorias de infraestrutura necessária para suprir essas demandas. No cenário atual de contingenciamento de recursos na maioria dos estados nacionais em desenvolvimento e por conta da necessidade de boas práticas de gestão de ativos e recursos públicos, é imprescindível que sejam analisadas em detalhes as opções de investimento.

A partir da aplicação da metodologia ILOGIM foram produzidos os resultados para 64 diferentes combinações de arranjos para a rede logística. Essas variações de configuração consideraram o tamanho das unidades a serem estimadas em relação a um volume fixo de demanda por armazenagem e escoamento de commodities agrícolas. A variação de localização dessas unidades está relacionada à definição do tamanho da unidade de armazenamento, que por sua vez define qual a melhor localização na rede logística para atingir a cobertura da produção demandada com o menor custo de transporte (basicamente influenciado pela distância percorrida).

As variações aplicadas a validação da metodologia ILOGIM consideram também um percentual da produção de commodities sendo atendida pela nova rede simulada. Esse percentual variou de 40 a 120% da produção existente na região em estudo. De tal forma a metodologia ILOGIM permite a geração de cenários de diferentes configurações, tais como demonstrados na Tabela 6.1. Outra variável importante da análise da metodologia ILOGIM foi a adoção de dois cenários no tempo, com a produção de commodities para os anos 2018 e 2050. No caso da produção em 2018 (o ano com dados do IBGE mais atualizados em nível municipal) a aplicação da metodologia ILOGIM está ligada a uma análise da situação atual. Em relação à aplicação da metodologia ILOGIM para o ano 2050, Tabela 6.2, os valores de produção, produtividade e localização utilizados foram aqueles extraídos do modelo GLOBIOM (SOTERRONI *et al* 2018).

Dentre os resultados da aplicação da metodologia ILOGIM foram produzidos os cenários para as simulações com suas distribuições espaciais. Essas simulações representam as localizações das novas unidades propostas, o local da origem de demanda (produção das commodities agrícolas) por armazenamento e as conexões pela rede rodoviária existente. Essa nova configuração da rede foi construída considerando as novas unidades de armazenamento calculadas para as porções da produção de soja e milho que não estão atendidas pela rede logística existente. A definição de quais são os locais não atendidos emerge da definição de que as unidades de armazenamento competem de modo direto pela demanda (produção de commodities) a partir da menor distância entre a localização da unidade de armazenamento e a origem da demanda. Um dos 64 resultados espaciais da aplicação da metodologia ILOGIM é apresentado na Figura 6.1.

A análise em termos do volume de recursos necessário para implementar a infraestrutura definida pela metodologia, para uma cobertura de 80% no cenário para o ano de 2018 demanda um investimento inferior ao valor da produção local total para uma safra. Neste caso, a metodologia poderia auxiliar na decisão de realização ou não de investimento por parte de empresas da cadeia de commodities agrícolas. De modo similar, como ferramenta de incentivo de crédito de parte das instituições públicas à expansão da rede de suprimentos de commodities agrícolas a partir de uma estratégia clara de investimento delimitada pelo tamanho do valor da produção.

Tabela 6.1 – Resultados das diferentes simulações para as novas redes de suprimento otimizadas para a demanda na safra 2018.

Tamanho (ton)	Cobertura %	Nº	Média km*	Custo de transporte*	Custo Logístico Simplificado**	Investimento necessário para construção**
<b>13.500</b>	40	51	9,5	R\$ 8,03	R\$ 79,94	R\$ 375,71
<b>13.500</b>	50	64	9,3	R\$ 7,88	R\$ 77,40	R\$ 471,48
<b>13.500</b>	60	76	9,2	R\$ 7,80	R\$ 75,88	R\$ 559,89
<b>13.500</b>	70	89	9,1	R\$ 7,76	R\$ 74,74	R\$ 655,66
<b>13.500</b>	80	102	9,1	R\$ 7,73	R\$ 73,90	R\$ 751,43
<b>13.500</b>	90	115	9,0	R\$ 7,67	R\$ 73,22	R\$ 847,20
<b>13.500</b>	100	127	9,0	R\$ 7,67	R\$ 72,76	R\$ 935,60
<b>13.500</b>	120	153	8,9	R\$ 7,60	R\$ 71,96	R\$ 1.127,14
<b>21.817</b>	40	32	9,9	R\$ 8,43	R\$ 73,53	R\$ 380,98
<b>21.817</b>	50	39	9,7	R\$ 8,22	R\$ 71,12	R\$ 464,32
<b>21.817</b>	60	47	9,5	R\$ 8,08	R\$ 69,33	R\$ 559,56
<b>21.817</b>	70	55	9,4	R\$ 7,97	R\$ 68,09	R\$ 654,80
<b>21.817</b>	80	63	9,3	R\$ 7,91	R\$ 67,21	R\$ 750,05
<b>21.817</b>	90	71	9,2	R\$ 7,85	R\$ 66,52	R\$ 845,29
<b>21.817</b>	100	79	9,2	R\$ 7,81	R\$ 65,98	R\$ 940,54
<b>21.817</b>	120	95	9,0	R\$ 7,70	R\$ 65,17	R\$ 1.131,03
<b>30.000</b>	40	23	10,3	R\$ 8,77	R\$ 67,33	R\$ 376,53
<b>30.000</b>	50	29	9,9	R\$ 8,46	R\$ 64,35	R\$ 474,76
<b>30.000</b>	60	34	9,8	R\$ 8,39	R\$ 62,85	R\$ 556,61
<b>30.000</b>	70	40	9,6	R\$ 8,17	R\$ 61,43	R\$ 654,84
<b>30.000</b>	80	46	9,5	R\$ 8,11	R\$ 60,50	R\$ 753,07
<b>30.000</b>	90	52	9,5	R\$ 8,11	R\$ 59,82	R\$ 851,29
<b>30.000</b>	100	57	9,3	R\$ 7,90	R\$ 59,24	R\$ 933,15
<b>30.000</b>	120	69	9,3	R\$ 7,88	R\$ 58,43	R\$ 1.129,60
<b>162.080</b>	40	4	24,2	R\$ 20,52	R\$ 82,87	R\$ 353,79
<b>162.080</b>	50	5	19,9	R\$ 16,90	R\$ 72,06	R\$ 442,24
<b>162.080</b>	60	6	16,7	R\$ 14,20	R\$ 65,82	R\$ 530,68
<b>162.080</b>	70	7	13,9	R\$ 11,80	R\$ 61,61	R\$ 619,13
<b>162.080</b>	80	8	12,5	R\$ 10,65	R\$ 59,42	R\$ 707,58
<b>162.080</b>	90	10	12,1	R\$ 10,24	R\$ 57,53	R\$ 884,47
<b>162.080</b>	100	11	12,0	R\$ 10,21	R\$ 56,93	R\$ 972,92
<b>162.080</b>	120	13	11,5	R\$ 9,78	R\$ 55,85	R\$ 1.149,81

\* Custos e medidas por tonelada. \*\*Custo Logístico simplificado é composto por custo de transporte e custo de armazenagem de uma tonelada por um período de 12 meses. \*\*\*Valores em milhões de reais necessários para a construção das facilidades logísticas propostas na modelagem de cada arranjo da metodologia.

Tabela 6.2 – Resultados das diferentes simulações para as novas redes de suprimento otimizadas para a previsão de safra em 2050.

Toneladas	Cobertura %	2050				
		Nº	Média km*	Custo de transporte*	Custo Logístico Simplificado**	Investimento necessário para construção***
<b>13.500</b>	40	95	9,1	R\$ 7,75	R\$ 74,32	R\$ 699,86
<b>13.500</b>	50	119	9,0	R\$ 7,66	R\$ 73,05	R\$ 876,67
<b>13.500</b>	60	143	8,9	R\$ 7,62	R\$ 72,23	R\$ 1.053,47
<b>13.500</b>	70	167	8,9	R\$ 7,62	R\$ 71,66	R\$ 1.230,28
<b>13.500</b>	80	191	8,8	R\$ 7,58	R\$ 71,22	R\$ 1.407,09
<b>13.500</b>	90	215	8,8	R\$ 7,55	R\$ 70,88	R\$ 1.583,89
<b>13.500</b>	100	238	8,8	R\$ 7,53	R\$ 70,62	R\$ 1.753,33
<b>13.500</b>	120	286	8,8	R\$ 7,52	R\$ 70,23	R\$ 2.106,95
<b>21.817</b>	40	59	9,4	R\$ 7,95	R\$ 67,63	R\$ 702,43
<b>21.817</b>	50	74	9,2	R\$ 7,85	R\$ 66,31	R\$ 881,01
<b>21.817</b>	60	89	9,1	R\$ 7,76	R\$ 65,45	R\$ 1.059,59
<b>21.817</b>	70	103	9,0	R\$ 7,70	R\$ 64,88	R\$ 1.226,27
<b>21.817</b>	80	118	9,0	R\$ 7,68	R\$ 64,44	R\$ 1.404,85
<b>21.817</b>	90	133	8,9	R\$ 7,63	R\$ 64,08	R\$ 1.583,44
<b>21.817</b>	100	148	8,9	R\$ 7,61	R\$ 63,81	R\$ 1.762,02
<b>21.817</b>	120	177	8,9	R\$ 7,59	R\$ 63,42	R\$ 2.107,28
<b>30.000</b>	40	43	9,5	R\$ 8,12	R\$ 60,92	R\$ 703,95
<b>30.000</b>	50	54	9,5	R\$ 8,05	R\$ 59,59	R\$ 884,03
<b>30.000</b>	60	64	9,3	R\$ 7,89	R\$ 58,73	R\$ 1.047,74
<b>30.000</b>	70	75	9,2	R\$ 7,80	R\$ 58,09	R\$ 1.227,83
<b>30.000</b>	80	86	9,1	R\$ 7,78	R\$ 57,64	R\$ 1.407,91
<b>30.000</b>	90	97	9,1	R\$ 7,75	R\$ 57,29	R\$ 1.587,99
<b>30.000</b>	100	107	9,0	R\$ 7,70	R\$ 57,02	R\$ 1.751,70
<b>30.000</b>	120	129	9,0	R\$ 7,66	R\$ 56,60	R\$ 2.111,86
<b>162.080</b>	40	8	12,5	R\$ 10,65	R\$ 59,42	R\$ 707,58
<b>162.080</b>	50	10	12,1	R\$ 10,24	R\$ 57,53	R\$ 884,47
<b>162.080</b>	60	12	11,5	R\$ 9,79	R\$ 56,24	R\$ 1.061,36
<b>162.080</b>	70	14	11,2	R\$ 9,50	R\$ 55,39	R\$ 1.238,26
<b>162.080</b>	80	16	10,8	R\$ 9,22	R\$ 54,77	R\$ 1.415,15
<b>162.080</b>	90	18	10,7	R\$ 9,06	R\$ 54,32	R\$ 1.592,05
<b>162.080</b>	100	20	10,5	R\$ 8,88	R\$ 53,95	R\$ 1.768,94
<b>162.080</b>	120	24	10,2	R\$ 8,70	R\$ 53,45	R\$ 2.122,73

\* Custos e medidas por tonelada. \*\*Custo Logístico simplificado é composto por custo de transporte e custo de armazenagem de uma tonelada por um período de 12 meses. \*\*\*Valores em milhões de reais necessários para a construção das facilidades logísticas propostas na modelagem de cada arranjo da metodologia.

Os resultados da aplicação da metodologia ILOGIM em termos espaciais demonstraram atender à demanda por facilidades logísticas, visando à cobertura espacial e de demanda por

armazenagem de commodities agrícolas. Para ambos os casos de simulações (2018 e 2050), os melhores resultados foram produzidos para o maior tamanho de unidade existente atualmente na região de estudo (com 162.080 toneladas). Para esse arranjo com cobertura de 120% da produção existente no local para cada um dos volumes de produção em cada um dos cenários dos anos (Figura 6.1).

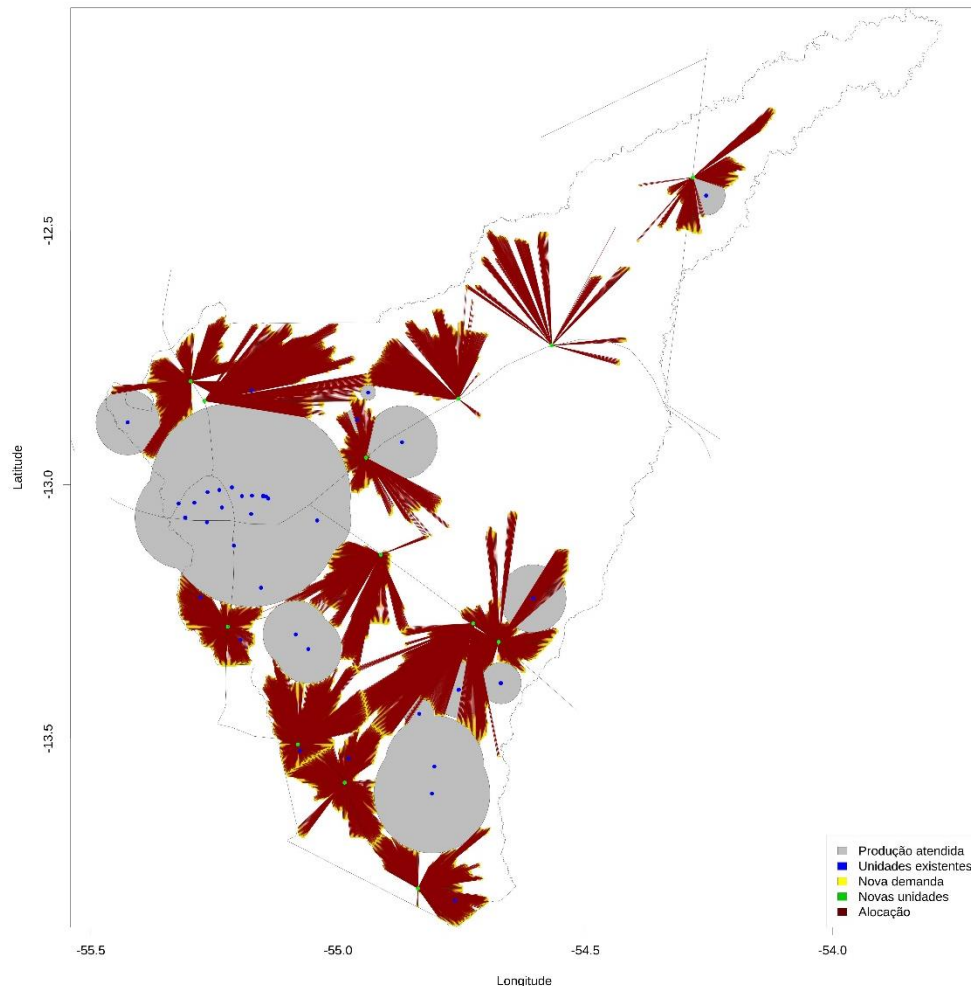


Figura 6.1. Mapa de rede de suprimentos calculada a partir da metodologia ILOGIM para a produção de soja e milho, para o ano 2018, com uma cobertura de 120% da produção.

Para a simulação em 2050, o resultado da metodologia ILOGIM foi semelhante ao observado no ano de 2018, ou seja, o melhor resultado foi obtido com o maior tamanho de unidade de armazenamento e com cobertura de 120% da produção de soja e milho no município de Nova Ubiratã (MT) (Figura 6.1). Em ambos os casos, existem ganhos de escala com a instalação de unidades de armazenamento de maior porte e esses ganhos de escala acabam por produzir as melhores soluções para o problema de otimização da rede logística.

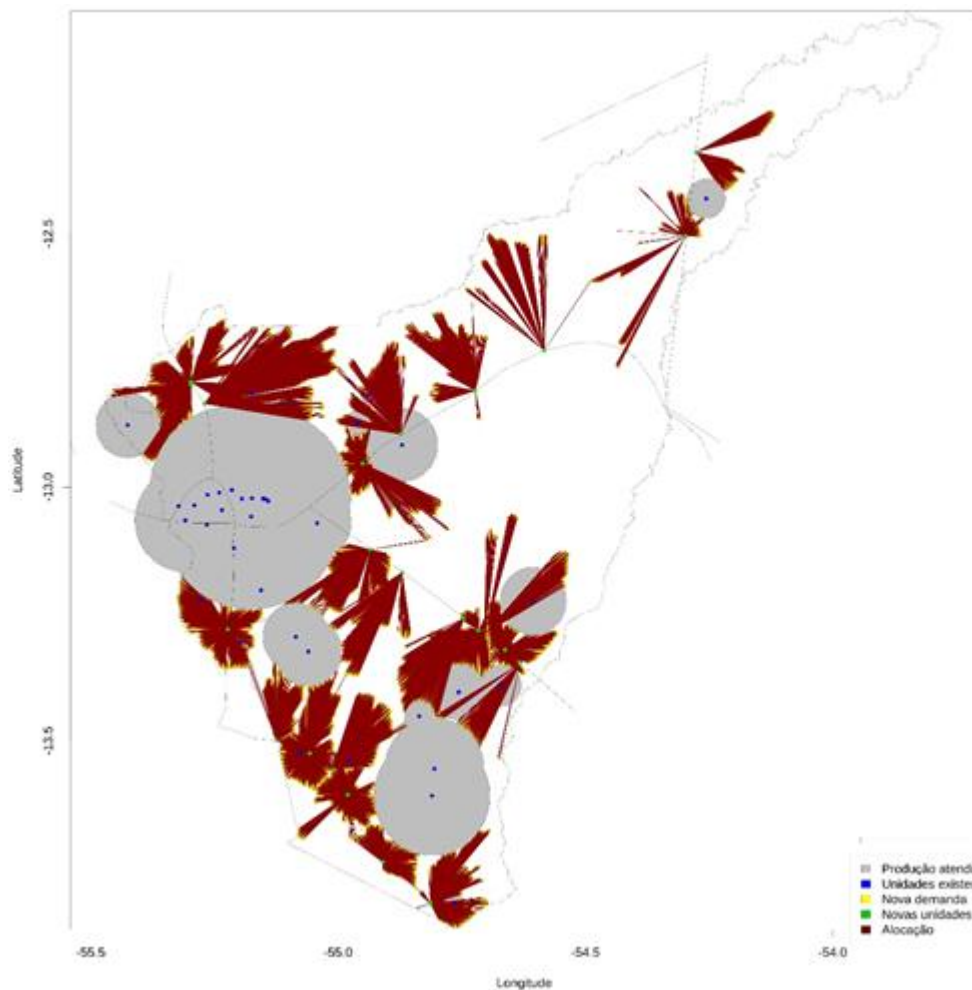


Figura 6.2 Mapa de rede de suprimentos calculada a partir da metodologia ILOGIM para a produção de soja e milho para o ano 2050 com uma cobertura de 120% da produção.

Da mesma forma que os exemplos apresentados nas Figuras 6.1 e Figuras 6.2, é possível analisar com mais detalhe os resultados apresentados na Tabela 6.1. Esses resultados estão organizados em um formato de painel que permite comparar diferentes tamanhos de unidade de armazenamento e diferentes número de unidades de armazenamento. Nestas condições a análise dos resultados permite avaliar que as diferenças entre o melhor resultado (menor custo logístico simplificado composto por transportes e armazenagem) e o pior resultado (maior custo logístico composto por transportes e armazenagem). O custo logístico simplificado refere-se ao somatório dos custos de transporte médio para a distância média de cada unidade de suprimento até o local de origem da produção multiplicado pelo custo de transporte por quilômetros e os custos de armazenagem e operação de uma unidade de armazenamento de produtos agrícolas.

Na abordagem aplicada o comportamento padrão da modelagem ILOGIM está associado aos ganhos de escala produzidos pela adoção de unidades de armazenamento maiores (que por sua vez reduzem o número de unidades necessárias para atender à demanda existente). Em virtude

do maior tamanho e menor número de unidades necessárias para atender à demanda, o algoritmo tem maior grau de liberdade para escolher as posições para as unidades de armazenamento. Em função deste formato, a aplicação da metodologia que tende a escolher melhores opções em relação ao ajuste global do resultado (menor custo de toda a rede) e ao mesmo tempo produzir maior equilíbrio para os custos individuais de cada unidade de armazenamento em virtude melhor escolha das localizações em cada uma das novas facilidades calculadas.

Por último, a execução da metodologia ILOGIM com base no cálculo do custo logístico de uma rede de suprimentos para commodities agrícolas foi realizada com a aplicação de um computador do tipo desktop pessoal com um processador do tipo Intel® I7, com 64 gigabytes de memória RAM em um tempo médio de execução de 1.8 segundos para cada unidade de armazenamento. Essa métrica é possível por conta do desenho da metodologia ILOGIM, que separa os cálculos da localização das facilidades logísticas em função de um conjunto de clusters de demanda chamados de zonas de suprimento.

Esse processo de separação da demanda implica em uma redução da complexidade natural do processo combinatório de cálculo de localização em modelagem de redes logísticas. Do ponto de vista prático, o processo de agregação regional evita que em aplicações de larga escala (estados ou países) o algoritmo seja obrigado a testar combinações não adequadas, como por exemplo, localizações em norte e sul de uma região em estudo. Adicionalmente, essa abordagem metodológica permite que a aplicação da modelagem de localização seja aplicada em método computacional chamado de “paralelo” (onde os cálculos de unidades indivisíveis como uma facilidade logística são realizados simultaneamente ao cálculo dos custos de outras unidades, por partes separadas do processador do computador) e isso permite que a aplicação seja escalável praticamente sem limite de tamanho de operação.

De modo similar, uma vez que o processo pode ser aplicado em separado, em paralelo e em curto espaço de tempo, é possível a utilização dessa modelagem não somente para aplicações de facilidades logísticas (consideradas estáticas no tempo), mas também para a localização de viaturas como ambulâncias, viaturas policiais, carros de bombeiros ou em outras aplicações que demandam a localização de recursos em um determinado espaço geográfico.



## 7 CONCLUSÕES

A metodologia ILOGIM provou ser capaz de executar a modelagem de localização em tempo hábil e com a devida eficiência, gerando resultados consistentes e atingir o objetivo de produzir uma rede de suprimento de commodities agrícolas de modo ágil, que permita a aplicação em escala regional, nacional ou continental. Ao calcular as redes de suprimento de commodities agrícolas com a definição de novas localizações de facilidades logísticas para a cobertura da demanda utilizando a rede de transporte rodoviário como meio de transporte.

Nesse formato a aplicação da metodologia ILOGIM de uma rede de suprimentos otimizada com novas unidades de armazenamento para atender à demanda por capacidade estática de armazenamento produziu os melhores resultados (menor custo de transporte e armazenagem por 12 meses), em unidades de armazenamento de 162.080 toneladas e com 120% de cobertura da produção. Para este cenário os melhores resultados de custo por tonelada foram de R\$ 55,85 (para o ano 2018) e de R\$ 53,45 (para o ano de 2050). Os resultados finais para os custos por tonelada foram influenciados em grande parte por conta dos ganhos de escala no processo de armazenagem, resultantes da adoção de unidades de maior porte, um fenômeno esperado e confirmado pela metodologia aplicada.

A partir da aplicação da metodologia ILOGIM utilizando múltiplas configurações, com variações em tamanho e número de unidades de armazenamento, foi possível executar a metodologia em um arranjo computacional aplicável em grandes áreas em pequeno espaço de tempo. De tal modo resolvendo um dos principais problemas de otimização de redes de suprimento existentes atualmente utilizadas que por conta de sua abordagem acabam demandando um esforço computacional extremo e tempo de execução que impedem a adoção em escala.

Uma das possíveis limitações do trabalho realizado está na disponibilidade de um mapa detalhada de vias rodoviárias, desde as vias sem pavimentação que chegam as propriedades rurais de onde são carregados os produtos até as vias asfálticas que chegam nas rodovias estaduais e federais. Com a adoção de uma rede de transporte mais completa a metodologia certamente poderia gerar redes de suprimento com maior detalhe e melhor distribuição espacial das localizações escolhidas.

Em relação às contribuições do trabalho, é possível ressaltar que estas são sobretudo na formulação da metodologia que fosse capaz de congrega diferentes técnicas ou métodos

existentes em um arranjo que permite resolver um problema complexo (o cálculo de localização de facilidades logísticas em grandes regiões). Desta forma, permitir uso eficiente de recursos por parte de potenciais operadores de unidades de armazenamento, agricultores e os agentes públicos.

A aplicação do ILOGIM não se restringe somente a aplicações de uso rede de suprimento de produtos agrícolas. De modo que pode ser aplicada a outras possíveis formas e rede de suprimento que podem ser em verticais como segurança pública (na localização de unidades policiais com relação a localização dos cidadãos ou acionamentos), serviços de saúde e emergência (como postos de atendimento ou ambulâncias em relação a localização dos chamados por atendimento), escolas (para a definição de localizações de novas escolas em relação a localização dos alunos ou mesmo para escolher a qual escola cada aluno deveria ser lotado para ter o menor tempo de deslocamento) entre outras potenciais aplicações.

Durante a execução do trabalho surgiram algumas possibilidades de continuidade da pesquisa como, por exemplo, a aplicação da metodologia associada à simulação de preços das commodities durante o período pós colheita para o estabelecimento de uma nova rede de suprimento de commodities agrícolas. Outra possibilidade a ser conduzida em pesquisa seria a introdução de análise espaço-temporal de expansão da produção para definição de qual a melhor região para a instalação de novas facilidades logísticas com base no aumento da produção (expansão da demanda no longo prazo) e maximizar o retorno em 20 a 30 anos. Adicionalmente, outra possibilidade de pesquisa para a aplicação da metodologia ILOGIM seria a adoção de uma etapa de simulação de novas vias de transporte para acesso à produção (já que na metodologia ILOGIM atual foi adotada a rede de transporte existente atualmente e registrada nos mapas oficiais do DNIT). Com a inserção de novas vias permitiria elevar ao máximo grau de otimização de custos de transporte e armazenamento da rede de suprimento estabelecida. E por fim, a possibilidade de aplicação mais completa da metodologia ILOGIM com a adoção das redes de transporte rodoviário, ferroviário e aquaviário para definir a rede de suprimento para commodities agrícolas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABASTANTE, F.; BOTTERO, M.; GRECO, S.; LAMI, I. (2014). Addressing the Location of Undesirable Facilities through the Dominance-based Rough Set Approach. *Journal Multi-Criteria Decision Analysis*, n.21, p.3–23.
- ABOOLIAN, R.; BERMAN, O.; KRASS, D. (2007). Competitive facility location and design problem. *European Journal of Operational Research*, v.182, p.40–62.
- AGUIAR, G. A. M.; Lima Filho, R. R. de; Torres Junior, A. de M. Mapitoba - a última fronteira agrícola. *Agroanalysis*, Mercado & Negócios, Maio, 2013. Disponível em: <[http://www.agroanalysis.com.br/materia\\_detalhe.php?idMateria=1506](http://www.agroanalysis.com.br/materia_detalhe.php?idMateria=1506)>. Acesso em: 02 mar. de 2020.
- ALAMO, J. A. T.; BRINATI, M. A. (2006). Modelagem para localização de hubs no transporte de encomendas expressas. *Produção*, v.16, n.3, p.470-480.
- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World Agriculture towards 2030/2050**. Global Perspective Studies Team. ESA Working Paper No. 12-03. The 2012 revision. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/016/ap106e/ap106e.pdf>>. Acesso em: 01 mar. de 2020.
- ALHAZMI, Y. A.; MOSTAFA, H. A.; SALAMA, M. M. A. (2017). Optimal allocation for electric vehicle charging stations using Trip Success Ratio. *Electrical Power and Energy Systems*, v.91, p.101-116.
- ARABANI, A. B.; FARAHANI, R. Z. (2012). Facility location dynamics: An overview of classifications and applications. *Computers & Industrial Engineering*, v.62, p.408-420.
- ARAKAKI, R. G. I.; LORENA, L. A. N. (2006). Uma heurística de localização-alocação (HLA) para problemas de localização de facilidades. *Produção*, v.16, n.2, p.319-328.
- ARVIS, J. F.; SASLAVSKY, D.; OJALA, L.; SHEPHERD, B.; BUSCH, C.; RAJ, A. (2014). **The Logistics Performance Index and Its Indicators. Connecting to Compete 2014, Trade Logistics in the Global Economy**. World Bank, Washington, DC. Disponível em: <<http://lpi.worldbank.org/>>. Acesso em: 09 fev. 2020.
- ANEC – Associação Nacional dos Exportadores de Cereais. (2020). Evolução das exportações brasileiras de soja e milho em 2013. Disponível em: <<http://www.anec.com.br/pt-br/servicos/historico-de-safras>>. Acesso em: 03 mar. 2020.
- ATZBERGER, C. (2013) Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs. *Remote Sensing*, v.5, n.2, p.949-981.
- AWASTHI, A.; CHAUHAN, S. S.; GOYAL, S. K. (2011). A multi-criteria decision making approach for location planning for urban distribution centers under uncertainty. *Mathematical and Computer Modelling*, 53, p.98–109.
- BARBOZA, P. D.; VIEIRA, J. G. V. (2014). Análise de decisão multicritério aplicada na seleção de investimento em armazenagem de soja em grão. *Produto & Produção*, v.15, n.2, p.24-45.

- BALLOU, R. H. (1997). Business logistics - importance and some research opportunities. *GESTÃO & PRODUÇÃO*, v.4, n.2, p. 118-129, ago.
- BALLOU, R. H. (2006). **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. Editora Bookman, Porto Alegre, 616p.
- BANA e COSTA, C. A. (1993). Três convicções fundamentais na prática do apoio à decisão. *Pesquisa Operacional*, p.13, v.1, p.9-20.
- BANA e COSTA, C. A.; ENSSLIN, L. (1999). Decision support systems in action: integrated application in a multi-criteria decision aid process. *European Journal of Operational Research*, n.113, v.2, p.315-335.
- BADRI, M. (1999). Combining the analytic hierarchy process and goal programming for global facility location-allocation problem. *Int. J. Production Economics*, v.62, p.237-248.
- BHATTACHARYA, U.; RAO, J.R.; TIWARI, R.N. (1992). Fuzzy multi-criteria facility location problem. *Fuzzy Sets and Systems*, n.51, p.277-287.
- BHATTACHARYA, U.; RAO, J. R.; TIWARI, R. N. (1993). Bi-criteria multi facility location in fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, v.56, p.145-153.
- BALINSKI, M. L. (1965). Integer programming: methods, uses, computation. *Management Science*, v.12, p.253-313.
- BEASLEY, J. E; CHIYOSHI, F. (1993). Lagrangean heuristic for location problems. *European Journal of Operations Research*, n.65, p.383-399.
- BRUNSDON, C. (2015). TBART - Teitz and Bart's p-Median Algorithm. Version 1.0, 11-1-2015. Disponível em: < <https://cran.r-project.org/web/packages/tbart/tbart.pdf>.> Acesso em: 10 jan. 2020.
- BOCCA, L. S.; GALVES, M. L. (2016). Multicriteria decision aid to implement an on-farm storage system for soybeans. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.36, n.6, p.1250-1260.
- CANÓS, M.J.; IVORRA, C.; LIERN, V. (2001). The Fuzzy p-Median Problem: A Global Analysis of the Solutions. *European Journal of Operational Research*, n.130, p.430-436.
- CLEMENTE, A. (2008). **Projetos empresariais e públicos**. Editora Atlas, 3ª edição, São Paulo, 344p.
- CRAINIC, T. G.; HEWITT, M.; TOULOUSE, M.; VU, D. M. **Location and Service Network Design**. CIRRELT, 2015.
- CNT – Confederação Nacional do Transporte. (2015). Transporte & Desenvolvimento - Entraves Logísticos ao escoamento de Soja e Milho. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Estudo/transporte-desenvolvimento>>. Acesso em: 30 de dec. 2018.
- COCCA, L. S.; GALVES, M. L. (2016). Multicriteria decision aid to implement an on-farm storage system for soybeans. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.36, n.6, p.1250-1260.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira. Quarto levantamento da safra 2018/2019, janeiro de 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos/boletim-da-safra-de->

graos/item/download/23999\_57b97f236e2bf03f1f87c796a16fab99/BoletimZGraosZjaneiroZ2019.pdf>. Acesso em: 10 jan. de 2020.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sistema de Cadastro Nacional de Unidades Armazenadoras (SICARM). Disponível em: < <http://sisdep.conab.gov.br/consultaarmazemweb/>>. Acesso em: 07 jan. de 2020.

COCHRAN, W.G. (1977). **Sampling techniques**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 428p.

COLIN, E. CIPPARRONE, F. A. M.; SHIMIZU, T. Otimização do Custo de Transporte na Distribuição-Armacenagem de Açúcar. *Produção*, v.9, n.1, p.23-30.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. (1998). **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. CRC Press, Taylor & Francis.

COSTA, J. F. S.; BORGES, A. R.; MACHADO, T. S. (2013). Um modelo multicritério de apoio à decisão aplicado a localização industrial: um caso da indústria têxtil. *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção*, v.13, n.1, p.1-15.

COOPER, L. (1963). Location-allocation problems. *Operations Research*, v.11, n.3, p.331-343.

CRAN - The Comprehensive R Archive Network. Institute for Statistics and Mathematics, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/>>. Acesso em: 07 abri. 2016.

CHIYOSHI, F. Y.; GALVÃO, R. D.; MORABITO, R. (2002). A note on solutions to the maximal expected covering location problem. *Computers & Operations Research*, v.30, p.87-96.

CHOU, S. Y.; CHANG, Y. H.; SHEN, C. Y. (2008). A fuzzy simple additive weighting system under group decision-making for facility location selection with objective/subjective attributes. *European Journal of Operational Research*, v.189, p.132–145.

CHUANG, Y. F.; LEE, H. T.; LAI, Y. C. (2012). Item-associated cluster assignment model on storage allocation problems. *Computers & Industrial Engineering*, v.63, p.1171-1177.

CHURCH, R. L.; MURRAY, A. T. (2009). Business site selection, location analysis and GIS. Wiley, New Jersey, 314p., ISBN 978-0-470-19106-4.

CHUNG, K.; TCHA, D. (1992). A fuzzy set-theoretic method for public facility location. *European Journal of Operational Research*, n.58, p.90-98.

CRISTELLOTTI, M. **Localização de curtumes no brasil através do modelo COPPE-COSENZA de localização industrial**. Dissertação. Rio Janeiro, 95p.

CURRENT, J.; WEBER, C. (1994). Application of facility location modeling constructs to vendor selection problems. *European Journal of Operational Research*, v.76, p.387-392.

DASKIN, M. S.; MAASS, K. L. (2015). The p-Median Problem. *Location Science*, Springer, 650p., DOI 10.1007/978-3-319-13111-5.

DANGERMOND, J. (1990). A classification of software components commonly used in Geographic Information Systems. In: MARBLE, Duane, PEUQUET, Donna. Introductory readings in Geographic Information Systems. London: Taylor & Francis, p.30-51.

- DAVARI, S.; ZARANDI, M. H. F.; HEMMATI, A. (2011) Maximal covering location problem (MCLP) with fuzzy travel times. *Expert Systems with Applications*, n.38, p.14535–14541.
- D'IGNAZIO, A.; GIOVANNETTI, E. (2014). Continental differences in the clusters of integration: Empirical evidence from the digital *commodities* global supply chain networks. *Int. J. Production Economics*, v.147, p.486-497.
- DREZNER, T. (1998). Location of multiple retail facilities with limited budget constraints – in continuous space. *Journal of Retailing und Consumer Services*, v.5, n.3, p.173-184.
- DREZNER, T.; DREZNER, Z.; SALHI, S. (2002). Solving the multiple competitive facilities location problem. *European Journal of Operational Research*, v.142, p.138–151.
- DOHSE, E. D.; MORRISON, K. R. (1996). Using transportation solutions for a facility location problem. *Computers Ind. Engeng.*, v.31, n. 12, p.63-66.
- EBERHARDT, I.D.R.; LUIZ, A.J.B.; FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I.D. (2015). Detecção de áreas agrícolas em tempo quase real com imagens Modis. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.50, n.7, p. 605-615.
- EBERHARDT, I. D. R. (2015). Estimativa em tempo quase real de área de milho e de soja no Rio Grande do Sul, por sensoriamento remoto e amostragem. **Dissertação de Mestrado**. Isaque Daniel Rocha Eberhardt. São José dos Campos: INPE. 108p. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3HNHPQL>. Acesso em:01 mar. 2018.
- EBERHARDT, I. D. R., SCHULTZ, B., RIZZI, R., SANCHES, I. D., FORMAGGIO, A. R., ATZBERGER, C., MELLO, M. P., IMMITZER, M., TRABAQUINI, K., FOSCHIERA, W., LUIZ, A. J. B. (2016). Cloud cover assessment for operational crop monitoring systems in tropical areas. *Remote Sensing*, n.8, v.3, p.219-232.
- ELIA, P. H. DA F. (2005). *Modelo Fuzzy de Avaliação de Áreas Portuárias/Industriais*. **Tese de Doutorado**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ.
- EISELT, H. A.; MARIANOV, V. (2011). *Foundations of location analysis*. New York, 524p., ISBN 978-1-4419-7571-3.
- EISELT, H. A.; MARIANOV, V. (2015). **Applications of Location Analysis**. International Series in Operations Research & Management Science, Sringer, 440p. DOI 10.1007/978-3-319-20282-2.
- EISELT, H. A.; SANDBLOM, C. L. (2000). **Integer Programming and Network Models**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, Berlin, 500p. DOI 10.1007/978-3-662-04197-0.
- GARCÍA-FLORES, R.; HIGGINS, A.; PRESTWIDGE, D.; MCFALLAN, S. (2014). Optimal location of spelling yards for the northern Australian beef supply chain. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.102, p.134–145.
- GARCÍA, J. L.; ALVARADO, A.; BLANCO, J.; JIMÉNEZ, E.; MALDONADO, A. A.; CORTÉS, G. (2014). Multi-attribute evaluation and selection of sites for agricultural product warehouses based on an Analytic Hierarchy Process. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.100, p.60–69.

- GARRET, R. D.; LAMBIN, E. F.; NAYLOR, R. L. (2013). Land institutions and supply chain configurations as determinants of soybean planted area and yields in Brazil. *Land Use Policy*, vol. 31, p.385-396.
- GEOFFRION, A. M.; POWERS, R. F. (1980). Facility location analysis is just the beginning (if you do it right). *Interfaces*, v.10, n.2.
- GOUDARD, B.; OLIVEIRA, F. H.; GERENTE, J. (2015). Avaliação de modelos de localização para análise da distribuição espacial de unidades básicas de saúde. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.67, n.1, p.15-34.
- FARAHANI, R. Z.; STEADIESEIFI, M.; ASGARI, N. (2010). Multiple criteria facility location problems: A survey. *Applied Mathematical Modelling*, v.34, p.1689–1709.
- FARAHANI, R. Z.; ASGARI, N.; HEIDARI, N.; HOSSEININIA, M.; GOH, M. (2012). Covering problems in facility location: A review. *Computers & Industrial Engineering*, v.62, p.368–407.
- FARAHANI, R. Z.; HEKMATFAR, M. (2009). **Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies, Contributions to Management**, Science, DOI 10.1007/978-3-7908-2151-2.
- FAO – Food and Agriculture Organization of United Nations. Disponível em: <<http://www.fao.org/home/en/>>. Acesso em: 01 fev. 2020.
- FAO – Food and Agriculture Organization of United Nations. Committee on Commodity Problems. **Food Stocks and Price Volatility**. Seventieth Session, Rome, 7-9 October 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-mk895e.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2020.
- FERRO, A. B.; CASTRO, E. R. de. (2013). Determinantes dos Preços de Terras no Brasil: uma análise de região de fronteira agrícola. *RESR*, vol.51, nº3, p. 591-610.
- FIUZA, S. N.; CAMPANHÃO, A. F.; HORA, H. R. M.; COSTA, H. G. (2012). Localização industrial na Região Norte Fluminense: uma análise em termos de oferta e demanda por fatores locacionais. *G & DR*, v.8, n.3, p.198-238.
- FISHER, M. M.; HEWINGS, G. J. D.; NAGURNEY, A.; NIJKAMP, P.; SNICKARS, F. (2013). *Employment Location in Cities and Regions - Models and Applications*. London, Springer, DOI 10.1007/978-3-642-31779-8.
- FILHO, M. S. C. (2014). *Avaliação da vulnerabilidade da rede de transporte rodoviário de carga no Brasil*. **Dissertação de Mestrado**, Brasília, 371p.
- FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N. D.; O'CONNELL, C.; RAY, D. K.; WEST, P. C.; BALZER, C.; BENNETT, E. M.; CARPENTER, E. R.; HILL, J.; MONFREDA, C.; POLASKY, S.; ROCKSTRO, J.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; TILMAN, D.; ZAKS, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, v.478, October, p.337-342.
- GALLARDO, A. P.; STUPELLO, B.; GOLDBERG, D. J. K.; CARDOSO, J. S. L.; PINTO, M. M. O. (2009) Avaliação da capacidade da infraestrutura de armazenagem para os grãos agrícolas produzidos no centro-oeste brasileiro. In: XXI Congresso Panamericano de Engenharia Naval, 2009, Montevideo. Anais do Congresso.

GALVÃO, R. D.; CHIYOSHIA, F. Y.; MORABITOB, R. (2005). Towards unified formulations and extensions of two classical probabilistic location models. *Computers & Operations Research*, v. 32, p.15-33.

GALVÃO, R. D.; CHIYOSHI, F. (2000). A statistical analysis of simulated annealing applied to the p-median problem. *Operations Research*, v.96 p.61-74.

GARRETT, R. D.; LAMBIN, E. F.; NAYLOR, R. L. (2013). Land institutions and supply chain configurations as determinants of soybean planted area and yields in Brazil. *Land Use Policy*, n.31, p.385-396.

**GOUEL, C. Stocks for the stabilization of food markets: Lessons from rational expectations models.** FAO Expert Meeting on Stocks, Markets and Stability. Report. World Bank, Washington, DC, USA. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/Event/DEC/DECAR-food-conference-sep-2014/DECAR-food-conference-sep2014-Gouel-Stocks-for-the-stabilization-of-food-markets-062414-FAO-Experts-meeting-Gouel-Notes.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2016.

HANSEN, M. C., POTAPOV, P. V., MOORE, R., HANCHER, M., TURUBANOVA, S. A., TYUKAVINA, A., THAU, D., STEHMAN, S. V., GOETZ, S. J., LOVELAND, T. R., KOMMAREDDY, A., EGOROV, A., CHINI, L., JUSTICE, C. O., TOWNSHEND, J. R. G. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century 10 Forest Cover Change, *SCIENCE*, 342, 850–853, doi:10.1126/science.1244693.

HAKIMI, S. L. (1964). Optimal location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Operational Research*, v.12, p.450–459.

HAKIMI, S. L. (1965). Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems. *Operational Research*, v.13, p.462–475

HERMELINGMEIER, C. (2010). The competitive firm and the role of information about uncertain factor prices. *Economic Modelling*, n.27, p.547-552.

HILLIER, F. S.; PROCE, C. C. (2013). **Handbook of Global Logistics, Transportation in International Supply Chains.** New York, Springer, 553p., DOI 10.1007/978-1-4419-6132-7.

HIASSAT, A.; DIABAT, A.; RAHWAN, I. (2017). A genetic algorithm approach for location-inventory-routing problem with perishable products. *Journal of Manufacturing Systems*, v.42, p.93-103.

HOLMBERG, K.; RÖNNQVIST, M.; YUAN, D. (1999). An exact algorithm for the capacitated facility location problems with single sourcing. *European Journal of Operational Research*, v.113, p.544-559.

HOSSEININEZHAD, S. J.; JABALAMELI, M. S.; NAINI, S. G. J. (2014). A fuzzy algorithm for continuous capacitated location allocation model with risk consideration. *Applied Mathematical Modelling*, v.38, p.983–1000.

HOTELLING, H. (1929). Stability in competition. *The Economic Journal*, v.39, n.153, p.41-57.

HUA, G.; CHENG, T. C. E.; WANG, S. (2011). The maximum capture per unit cost location problem. *Int. J. Production Economics*, v.131, p.568-574.



HUETE, A.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; LEEUWEN, W. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, n.59, p.440-451.

HUETE, A.; JUSTICE, C.; LEEUWEN, W. V. (1999). **Modis vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basis document**. Disponível em: <[modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod13.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf)>. Acesso em: 1 abr. 2016.

HUFF, D. L. (1966) A programmed solution for approximating an optimum retail location. *Land Economics*, n.42, p.293-303.

HURTER, A. P.; MARTINICH, J. S. (1989). **Facility Location and the Theory of Production**. Kluwer Academic Publishers, 253p., 001: 10.1007/978-94-009-2518-2.

IANNONI, A. P.; MORABITO, R. (2008). Otimização da localização das bases de ambulâncias e do dimensionamento das suas regiões de cobertura em rodovias. *Produção*, v.18, n.1, p.047-063.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de Dados Agregados, Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA, culturas anuais, tabela 1612. Disponível em:<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&c=1612>>. Acesso em: 07 fev. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de Dados Agregados, Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA, culturas anuais, tabela 825. Disponível em:<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=1&i=P&e=l&c=825>>. Acesso em: 07 fev. 2020.

ICNA – Instituto Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Portal de Inteligência Competitiva do Agro Brasileiro. Relatório de Inteligência Capacidade de Armazenamento e Escoamento da Produção Agrícola. Disponível em: <<http://www.icna.org.br/relatorio/relatorio-de-inteligencia-capacidade-de-armazenamento-e-escoamento-da-producao-agricola>>. Acesso em: 05 mar. 2016.

IRONS, J. R.; DWYER, J. L.; BARSÍ, J. A. (2012).The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission. *Remote Sensing of Environment*, n.122, p.11-21.

ISHII, H.; LEE, Y. L.; YEH, K. Y. (2007). Fuzzy facility location problem with preference of candidate sites. *Fuzzy Sets and Systems*, v.158, p.1922-1930.

JAYAS, D. S. Storing Grains for Food Security and Sustainability. *Agricultural Research*, v.1, n.1, p.21-24, Jan-Mar, 2012.

JAKUBOVKIS, A. (2017). Strategic facility location, capacity acquisition, and technology choice decisions under demand uncertainty: robust vs. non-robust optimization approaches. *European Journal of Operational Research*, v.260, n. 3, p.1095-1104.

JIA, H.; ORDÓÑEZ, F; DESSOUKY, M. (2007). A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies. *IIE Transactions*, v.39, p.41-55.

JUNIOR, S. N.; TSUNECHIRO, A. (2005). Produção agrícola e infra-estrutura de armazenagem no Brasil. *Informações Econômicas*, v.35, n.2.

JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J.R.G.; DEFRIES, R.; ROY, D.P.; H, D. K.; SALOMONSON, V.V.; PRIVETTE, J.L.;RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.;

- MYNENI, R.B.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S.W.; NEMANI, R.R.; ZHENGMING, W.; HUETE, A.R.; VAN LEEUWEN, W.; WOLFE, R.E.; GIGLIO, L.; MULLER, J.; LEWIS, P.; BARNESLEY, M.J. (1998). The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v.36, p.1228-1249.
- KARA, B. Y.; DUKKANCI, O. (2017). Routing and Scheduling Decisions in the Hierarchical Hub Location Problem. *Computers and Operations Research*, v.85, p.45-57.
- KAHRAMAN, C.; RUAN, D.; DOGAN, I. (2003). Fuzzy group decision-making for facility location selection. *Information Sciences*, v.157, p.135-153.
- KARIV, O.; HAKIMI, S. L. (1979). An algorithmic approach to network location problems. I: the p-centers. *SIAM J. APPL. MATH.* n.37, No.3, December. P.513-538.
- KARIV, O.; HAKIMI, S. L. An algorithmic approach to network location problems. II: the p-medians. *SIAM J. Appl. Math.* (1979), n.37, No.3, December, p.539-560.
- KARATAS, M.; YAKICI, E. (2018). An analysis of p-median location problem: Effects of backup service level and demand assignment policy. *European Journal of Operational Research*, v.0, p.1–12.
- KLAMROTH, K. (2002). **Single-Facility Location Problems with Barriers**. New York, Springer, 214p.
- KLOSE, A.; DREXL, A. (2005). Facility location models for distribution system design. *European Journal of Operational Research*, v.162, p.4–29.
- LAMBERT, D. M.; STEWART, L. (2011). Spatial heterogeneity of factors determining ethanol production site selection in the U.S., 2000-2007. *Biomass and Bioenergy*, v.35, p.1273-1285.
- LAPORTE, G.; NICKEL, S.; GAMA, F. S. (2015). **Location Science**. London, Springer, 650p., DOI 10.1007/978-3-319-13111-5.
- LAMBIN, E. F. (2012). Global land availability: Malthus versus Ricardo. *Global Food Security*, n.1, p.83-87.
- LIANG, G.; WANG, M. J. (1991). A Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Method for Facility Site Selection. *International Journal of Production Research*, v. 29, n.11, p.2313-2330.
- LÖSCH, A. (1944). **The economics of location**. Yale University Press, New Haven. 556p.
- LOPES, L. L. (2014). **Problemas para a logística de armazenamento de grãos no Brasil e os desafios para adensamento das cadeias produtivas do agronegócio**. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: [www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=000944102](http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=000944102). Acesso em: 12 abr. 2017.
- LORENA, L. A. N.; SENNE, E. L. F.; PAIVA, J. A. C.; MARCONDES, S. P. B. (2001). Integração de modelos de localização a sistemas de informações geográficas. *Revista do Departamento de Engenharia de Produção*, v.8, n.2, agosto.

LOVELAND, T. R.; DWYER, J. L. (2012). Landsat: Building a strong future. *Remote Sensing of Environment*, n.122, p.22-29.

LUIZ, A. J. B.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N.; ARENAS-TOLEDO, J. M.; GOLTZ, E.; BRANDÃO, D. (2012). Estimativa amostral objetiva de área plantada regional, apoiada em imagens de sensoriamento remoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.47, n.9, p.1279-1287, set.

MARTINS, G. W. (2010). **Uma contribuição aos estudos de localização industrial: determinando o potencial de transporte aéreo de uma região com base no modelo de análise hierárquica COPPE-COSENZA**. Tese, Rio de Janeiro, 104p. Disponível em: [objdig.ufrj.br/60/teses/coppe\\_m/GuilhermeWeberMartins.pdf](http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/GuilhermeWeberMartins.pdf).

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções para o agronegócio 2014/2015 a 2024/2025, Brasília, 2016. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/PROJECOES\\_DO\\_AGRONEGOCIO\\_2025\\_WEB.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/PROJECOES_DO_AGRONEGOCIO_2025_WEB.pdf)>. Acesso em: 02 mai. 2016.

MAIA, G. B. da S.; PINTO, A. de R.; MARQUES, C. Y. T.; LYRA, D. D.; ROITMAN, F. B. (2013). Panorama da armazenagem de produtos agrícolas no Brasil. *Revista do BNDES*, n.40, dezembro.

MACROBERTS, R. E. (2011). Satellite image-based maps: Scientific inference or pretty pictures? *Remote Sensing of Environment*, n.115, p.715-724.

MACHADO, T. P. S. de O.; ENSSILIN, L.; ENSSLIN, S. R. (2015). Desenvolvimento de produtos usando a abordagem MCDA-C. *Production*, v. 25, n. 3, p. 542-559.

MARANZANA, F. E. (1964). On the location of supply points to minimize transport costs. *Operations Research Quarterly*, v.15, p.261-267.

MASCARENHAS, H. A. A.; NAGAI, V.; GALLO, P. B.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; TANAKA, R. T. (1993). Sistemas de rotação de culturas de milho, algodão e soja e seu efeito sobre a produtividade. *Bragantia*, v.52, n.1, p.53-61.

MELO, M. T.; NICKEI, S.; SALDANHA-Da-GAMA, F. (2009). Facility location and supply chain management – A review. *European Journal of Operational Research*, v.196, p.401-412.

MCCANN, P. (1998). **The Economics of Industrial Location, A Logistics-Costs Approach**. New York, Springer, 232p., DOI 10.1007/978-3-662-03702-7

MIELHE, W. (1958). Link-length minimization in networks. *Operational Research*, v.6, p.232-243.

METE, H. O.; ZABINSKY, Z. B. (2010). Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. *Int. J. Production Economics*, v.120, 76-84.

MINAGAWA, K.; SUMIYOSHI, K. (1999). Studies on the optimal location of commerce & basic laws considering the distribution of population. *Int. J. Production Economics*, v.60, n.61, p.295-300.

MILLER, T. C.; FRIESZ, T. L.; TOBIN, R. L. (1996). **Equilibrium facility location on networks**. Springer, New York, 247p., DOI 10.1007/978-3-662-03280-0.

MT – Ministério dos Transportes. Projeto de Reavaliação de Estimativas e Metas do PNLT. Secretaria de Política Nacional de Transportes – SPNT/MT. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/public/arquivo/arq1352743917.pdf>>. Acesso em: 08 fev. 2020.

MOGHADDAM, K. S. (2015). Fuzzy multi-objective model for supplier selection and order allocation in reverse logistics systems under supply and demand uncertainty. *Expert Systems with Applications*, v.42, p.6237-6254.

OLIVEIRA, J.C.; TRABAQUINI, K.; EIPHANIO, J.C. N.; FORMAGGIO, A.R.; GALVÃO, L. S.; ADAMI, M. (2014). Analysis of agricultural intensification in a basin with remote sensing data. *GIScience & Remote Sensing*, n.51,v.3, p.253-268.

OH, S.; HAGHANI, A. (1997). Testing and Evaluation of a Multi-Commodity Multi-Modal Network Flow Model for Disaster Relief Management. *Journal of Advanced Transportation*, v.31, n.3, p.249-282.

ORTIZ-ASTORQUIZA, C.; CONTRERASN, I.; LAPORTE, G. (2017). Multi-level Facility Location Problems. *European Journal of Operational Research*, v.267, n.3, p.791-805.

OZGEN, D.; GULSUN, B. (2014). Combining possibilistic linear programming and fuzzy AHP for solving the multi-objective capacitated multi-facility location problem. *Information Sciences*, v.268, p.185-201.

OWEN, S. H.; DASKIN, M. S. (1998). Strategic facility location: A review. *European Journal of Operational Research*, n.111, p.423-447.

PADBERG, M.; RIJAL, M. P. (1996). Location, scheduling, design and integer programming. London, **Kluwer Academic Publishers**, 227p.

PATINO, M. T. O.; MACHADO, M. F.; NASCIMENTO, G. T. do.; DE ALCANTARA, M. R. (2013). Analysis and forecast of the storage needs of soybeans in Brazil. *Engenharia Agrícola*, n.33, v.4, p.834-843.

PACHECO, R. F.; CIRQUEIRA, L. Z. (2006). Solução simultânea de problemas logísticos de localização de depósitos e centralização de estoques. *Produção*, v.16, n.3, p.481-492.

PANICHELLI, L.; GNANSOUNOU, E. (2008). GIS-based approach for defining bioenergy facilities location: A case study in Northern Spain based on marginal delivery costs and resources competition between facilities. *Biomass and bioenergy*, v.32, p.289-300.

PEREIRA, M. A.; COELHO, L. C.; LORENA, L. A. N.; SOUZA, L. C. (2015). A hybrid method for the Probabilistic Maximal Covering Location–Allocation Problem. *Computers & Operations Research*, v.57, p.51–59.

PEREZ, J. A. M.; VEGA, J. M. M.; VERDEGAY, J. L. (2004). Fuzzy location problems on networks. *Fuzzy Sets and Systems*, n.142, p.393-405.

PYTHON – Python Software Foundation (US). (2020). Package index. Disponível em: <<https://pypi.python.org/pypi>>. Acesso em: 13 mai. 2016.

PUU, T. (2003). **Mathematical Location and Land Use Theory**. Berlin, Springer, 366p., DOI 10.1007/978-3-540-24785-2.

- QGIS Development Team. (2020). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>.
- RANDHAWA, S. U.; WEST, T. M. (1995). An integrated approach to facility location problems. *Computers Ind. Engng*, v.29, n.1, p.261-265.
- REVELLE, C. S.; EISELT, H. A. (2005). Location analysis: A synthesis and survey. *European Journal of Operational Research*, v.165, p.1–19.
- REVELLE, C.S.; SWAIN, R. (1970). Central facilities location. *Geographical Analysis*, n.2, p.30-42.
- REVELLE, C. S.; EISELT, H. A.; DASKIN, M. S. (2008). A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science. *European Journal of Operational Research*, n.184, p.817–848.
- ROHANINEJAD, M.; NAVIDI, H.; NOURI, B. V.; KAMRANRAD, R. (2017). A New Approach to Cooperative Competition in Facility Location Problems: Mathematical Formulations and an Approximation Algorithm. *Computers and Operations Research*, v.83, p.45–53.
- ROSSI, G. M. M. (2013). *Considerações adicionais sobre os modelos de hierarquia localizacional usando lógica e matemática fuzzy*. Tese de Doutorado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- ROSSUM, G. V.; BOER, J. (1991). Interactively Testing Remote Servers Using the Python Programming Language. *CWI Quarterly*, n.4, v.4, December, Amsterdam, pp 283-303.
- R Development Core Team. (2020). R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020.
- R Core Team and contributors worldwide. (2020). The R Stats Package. Version 3.4.0. Disponível em: < <https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/stats/html/00Index.html>.> Acesso em: 24 fev. 2020.
- SANDRONI, P. Novíssimo dicionário de economia. Editora Best Seller, São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://introducaoaeconomia.files.wordpress.com/2010/03/dicionario-de-economia-sandroni.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2019.
- SATANI, N.; UCHIDA, A.; DEGUCHI, A.; OHGAI, A.; SATO, S.; HAGISHIMA, S. (1998). Commercial facility location model using multiple regression analysis. *Comput., Environ. and Urban Systems*, v.22, n.3, p.219-240.
- SIFRECA - Sistema de Informações de Fretes. Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial - ESALQ/USP. Disponível em: <<http://esalqlog.esalq.usp.br/sifreca/>>. Acesso em: 10 mar. 2020.
- SCHIFFERA, M.; WALTHERA, G. (2017). The Electric Location Routing Problem with Time Windows and Partial Recharging. *European Journal of Operational Research*, v.260, n. 3, p.995-1013.
- SCHRODER, T.; LAUVEN, L.; GELDERMANN, J. (2017). Improving biorefinery planning: integration of spatial data using exact optimization nested in an evolutionary strategy. *European Journal of Operational Research*, v.264, n.3, p.1005–1019.

- SEDGHI, N.; SHAVANDI, H.; ABOUEE-MEHRIZI, H. (2017). Joint Pricing and Location Decisions in a Heterogeneous Market. *European Journal of Operational Research*, v.261, n.1, p.234–246.
- SENNE, E. L. F.; LORENA, L. A. N. (2003). Abordagens complementares para problemas de p-medianas. *Revista Produção*, v.13, n.3.
- SOUZA, R. M.; MORABITO, R.; CHIYOSHI, F. Y.; IANNONI, A. P. (2013). Análise da configuração de SAMU utilizando múltiplas alternativas de localização de ambulâncias. *Gest. Prod.*, v.20, n.2, p.287-302. *Environmental Research Letters*, v.13, n.7.
- SOTERRONI, A. C.; MOSNIER, A.; CARVALHO, A. X. Y.; CÂMARA, G.; OBERSTEINER, M.; ANDRADE, P. R.; SOUZA, R. C.; BROCK, R.; PIRKER, J., KRAXNER, F. (2018). Future environmental and agricultural impacts of Brazil's Forest Code.
- SCHOLTEN, H., J.; VELDE, R. V.; MANEN, N. V. (2009). **Geospatial Technology and the Role of Location in Science**. London, Springer, 335p., DOI 10.1007/978-90-481-2620-0.
- SULE, D. R. (2001). **Logistics of facility location and allocation**. Marcel Dekker, New York, 473p., ISBN: 0-8247-0493-2.
- SULTANA, A.; KUMAR, A. (2012). Optimal siting and size of bioenergy facilities using geographic information system. *Applied Energy*, n.94, p.192–201.
- TANSEL, B. C.; FRANCIS, R. L.; LOWE, T. J. (1983). State of the Art-Location on Networks: A Survey. Part I: Exploiting Tree Network Structure. *Management Science*, n.29, v.4, p.482-497.
- TANSEL, B. C.; FRANCIS, R. L.; LOWE, T. J. (1983). State of the Art-Location on Networks: A Survey. Part II: Exploiting Tree Network Structure. *Management Science*, n.29, v.4, p.498-511.
- TANASH, M.; CONTRERAS, I.; VIDYARTHI, N. (2017). An Exact Algorithm for the modular Hub Location Problem with Single Assignments. *Computers and Operations Research*, v.85, p.32-44.
- TABARI, M.; KABOLI, A.; ARYANEZHAD, M. B.; SHAHANAGHI, K.; SIADAT, A. (2008). A new method for location selection: A hybrid analysis. *Applied Mathematics and Computation*, v.206, p.598-606.
- TEITZ, M. B.; BART, P. (1968). Heuristic Methods for Estimating the Generalized Vertex Median of a Weighted Graph. *Operations Research*, 16: 955-961.
- TEMPELMEIER, H.; BANTEL, O. (2015). Integrated optimization of safety stock and transportation capacity. *European Journal of Operational Research*, v.247, p.101–112.
- TEODOROVIC, D.; JANIC, M. (2017). *Transportation Engineering, Theory, Practice, and Modeling*. Elsevier, Amsterdam, 882p.
- THIMOTEO, T. (2013). De grão em grão. *Revista Conjuntura Econômica –Especial*, V.67, n.6, junho.

TOHIDI, H. (2015). Mathematical modeling of optimal multi fuzzy locations of facilities based on the assumed step distance among them in a convex set. *Applied Mathematical Modelling*, in press.

USDA – United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service (FAS). World Agricultural Production. Disponível em: < <http://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production> >. Acesso em: 08 mar. 2020.

WEN, M.; KANG, R. (2011). Some optimal models for facility location–allocation problem with random fuzzy demands. *Applied Soft Computing*, n.11, p.1202-1207.

WEN, M.; IWAMURA, K. (2008). Fuzzy facility location-allocation problem under the Hurwicz criterion. *European Journal of Operational Research*, v.184, p.627-635.

WEN, M.; IWAMURA, K. (2008). Facility location–allocation problem in random fuzzy environment: Using  $(\alpha, \beta)$ -cost minimization model under the Hurewicz criterion. *European Journal of Operational Research*, v.55, p.704-713.

WIEDENMANN, S.; GELDERMANN, J. (2015). Supply planning for processors of agricultural raw materials. *European Journal of Operational Research*, v.242, p.606-619.

WORLD BANK. Global data repository. Agriculture, forestry, and fishing, value added (current US\$). Disponível em: < <https://data.worldbank.org/indicator/NV.AGR.TOTL.CD?end=2017&start=1960&view=chart> >. Acesso em: 29 de dec. 2018.

ZARANDI, M. H. F.; DAVARI, S.; SISAKHT, S. A. H. (2013). The large-scale dynamic maximal covering location problem. *Mathematical and Computer Modelling*, n.57, p.710-719.

ZARANDI, M. H. F.; DAVARI, S.; SISAKHT, S. A. H. (2011). The large-scale maximal covering location problem. *Scientia Iranica*, n.18, v.6, p.1564-1570.

ZHANG, F.; JOHNSON, D. M.; SUTHERLAND, J. W. (2011). A GIS-based method for identifying the optimal location for a facility to convert forest biomass to biofuel. *Biomass and Bioenergy*, v.35, p.3951-3961.

ZAMBON, K. L.; CARNEIRO, A. A. F. M.; SILVA, A. N. R.; NEGRI, J. C. (2005). Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoelétricas utilizando SIG. *Pesquisa Operacional*, v.25, n.2, p.183-199.

ZIONTS, S. (1979). MCDM—If Not a Roman Numeral, Then What? *Interfaces*, n.9, v.4, p.94-101.

ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. (2002). Multi-criteria classification and sorting methods: A literature review. *European Journal of Operational Research*, n.138, p.229–246.

ZHONG, S.; CHEN, Y.; ZHOU, J. (2014). Fuzzy random programming models for location-allocation problem with applications. *Computers & Industrial Engineering*, in press.

ZHOU, J.; LIU, B. (2003). New stochastic models for capacitated location-allocation problem. *Computers & Industrial Engineering*, v.45, p.111–125.

ZHOU, J.; LIU, B. (2007). Modeling capacitated location–allocation problem with fuzzy demands. *Computers & Industrial Engineering*, v.53, p.454–468.

VILLACRESES, G.; GAONA, G.; MARTÍNEZ-GÓMEZ, J.; JIJÓN, D. J. (2017). Wind farms suitability location using geographical information system (GIS), based on multi-criteria decision-making (MCDM) methods: The case of continental Ecuador. *Renewable Energy*, n.109, p.275-286.



## APÊNDICE I – METODOLOGIA DE IDENTIFICAÇÃO DE CULTIVOS

### IDENTIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DA COLHEITA E LOCALIZAÇÃO DO CULTIVO DE SOJA E MILHO

A primeira parte da aplicação da metodologia consiste na produção das informações espaciais de localização dos cultivos de soja e milho e da intensidade de colheita por município. Todo esse processo está calcado no uso de estatísticas agrícolas disponibilizadas pelo IBGE e CONAB e de imagens de satélite.

#### A1 - EVOLUÇÃO DAS CULTURAS E DENSIDADE DE COLHEITA

O processo de identificação das posições no estado do MT cultivadas com soja e milho será realizado por meio do uso de imagens adquiridas por satélites e estimativas agrícolas de distribuição da semeadura e colheita (concentração por mês) das propriedades por município para o ano de 2006 (ano da realização do último Censo Agropecuário). Esse banco de dados já elaborado apresentará uma densidade de presença de cultivo ao longo das safras e safrinhas (segundo cultivo no mesmo local no mesmo ano agrícola), e ainda servirá de estimativa de período crítico de ocorrência de recebimento de grãos das *commodities*. A metodologia proposta a ser aplicada para tanto utiliza o processo de detecção de padrões de respostas espectro-temporais dos alvos com base no uso de imagens as imagens de índice de vegetação *Enhanced Vegetation Index* (EVI) elaboradas a partir das imagens adquiridas pelo sensor MODIS a bordo da plataforma (satélite) TERRA (HUETE *et al.*, 1997; HUETE, 1999) (Figura 5.10) e é uma adaptação ao proposto por Oliveira *et al.* (2014).

A partir do exemplo da Figura A.1 podemos visualizar a concepção da metodologia proposta para a detecção das variáveis que definem a presença de cultivo de soja e milho, se está ocorrendo em safra ou safrinha, a localização espacial desta do cultivo e a distribuição temporal da ocorrência de safra e safrinha em cada município, especialmente a concentração de colheita que interfere na demanda por recebimento de grãos nas unidades de armazenamento.

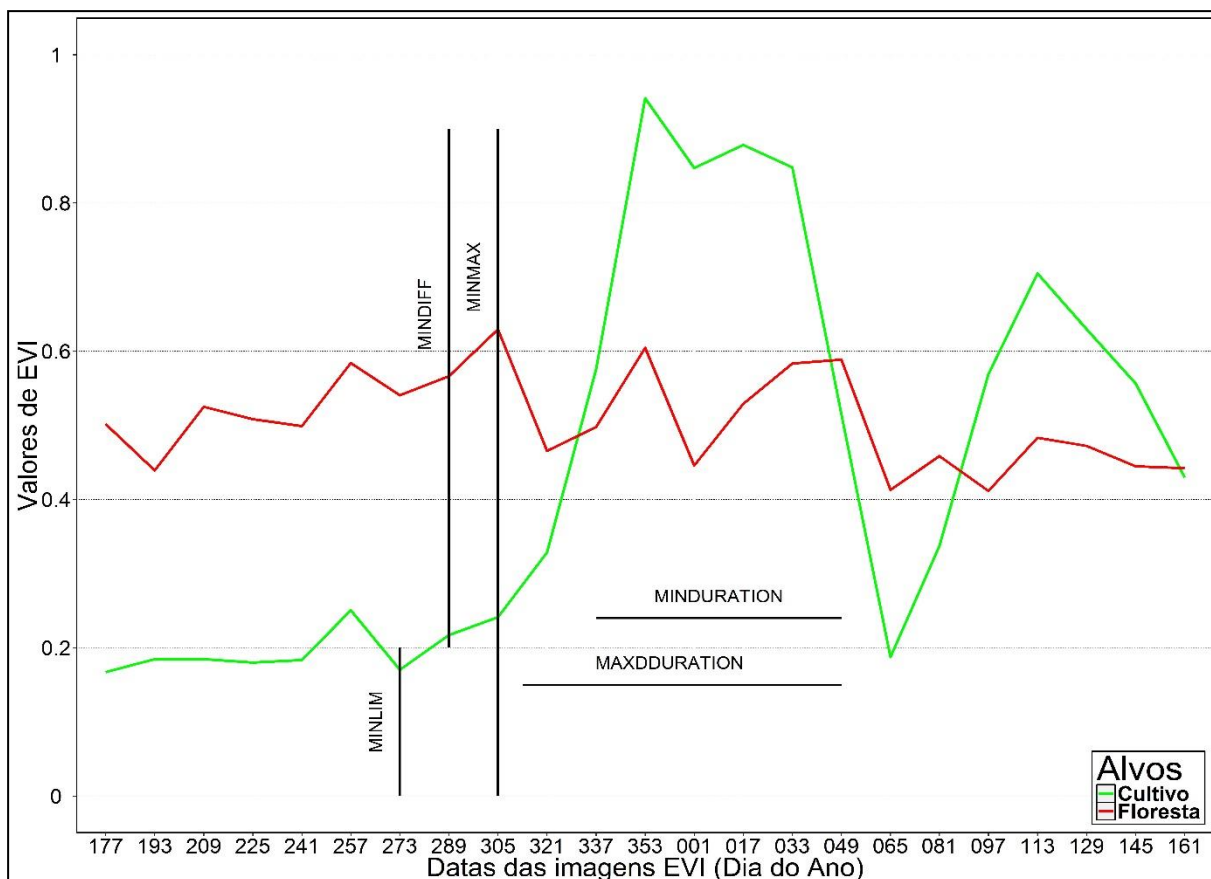


Figura A1.1 – Perfil espectro-temporal de uma área cultivada (linha em verde) e de uma área de remanescente florestal (linha em vermelho), obtido em imagens TERRA/MODIS EVI (MOD13Q1), de uma porção do Estado do Mato Grosso, Brasil. Datas seguem o calendário de dias do ano (contagem em sequência com início no dia 1º de janeiro e o último dia no dia 31 de dezembro) e se referem a composições de 16 dias a partir de imagens diárias. Fonte: Elaboração do autor.

Os parâmetros para a aplicação desta metodologia serão extraídos por município a partir dos dados distribuição das datas de plantio e colheita (mês de concentração) das propriedades por município para o ano de 2006 (ano da realização do último Censo Agropecuário) disponíveis no SIDRA IBGE. Utilizando estes dados para o ano safra 2005/2006 e as imagens MODIS EVI da mesma safra são computados os parâmetros médios por município de (Figura A1.1):

$\Delta$  vetor  $\leftarrow$  diferença entre as imagens MODIS EVI (2ª até a última data – 1ª até a penúltima data);

MINVALUE  $\leftarrow$  Mínima diferença de valores entre  $\Delta$  vetor;

MINLIM  $\leftarrow$  Máximo valor para o período anterior ao desenvolvimento da cultura (acima deste limite, o que sucede não é cultivo);

MINDIFF  $\leftarrow$  Mínima diferença entre máximo e mínimo;

*MINMAX* ← Mínimo valor para o máximo;

*MINDURATION* ← Duração mínima dos valores acima do *MINDIFF*;

*MAXDURATION* ← Duração máxima dos valores acima do *MINDIFF*;

*NUMBERCYCLE* ← Número de ciclos por ano safra a partir das definições de variáveis.

Pseudo-código para detecção dos cultivos em cada pixel para cada safra, usando as 23 datas de imagens de composições de 16 dias EVI MODIS é:

vetor do pixel ← São os valores de um pixel MODIS EVI ao longo de uma ano agrícola

$\Delta$  vetor ← vetor do pixel[2ª data até a última] – vetor do pixel[1ª data até a penúltima]

SE  $\Delta$  vetor > *MINDIFF*

*SEMIN* vetor pixel < *MINLIM*

SE *MAX* vetor pixel > *MINMAX*

SE número de datas acima do mínimo >= *MINDURATION*

SE número de datas acima do mínimo <= *MAXDURATION*

**Cultivo soja ou milho**

**Coleta variáveis do local**

O algoritmo de identificação da presença de safra e safrinha, segue a concepção do *pseudo-código* anteriormente descrito, e foi concebido sobre uma análise temporal pixel a pixel, que busca selecionar como cultivo todos os pixels que contenham diferença entre períodos de semeadura (*MINLIM* de 0,2 em uma escala de 0 a 1; na Figura A1.1 pode ser identificado nas datas 273-305 para safra e 065 para safrinha) e o período de máximo vigor vegetativo *MINMAX*; na Figura 6.10 pode ser identificado nas datas 337-033 para a safra e 097-145 para a safrinha).

O processo de obtenção destes valores para as variáveis é obtido a partir de um processo de aproximação dos resultados do método proposto com os percentuais de distribuição de semeadura e colheita obtidos junto ao SIDRA IBGE. De posse desta identificação espaço-temporal da ocorrência de safra e safrinha será possível identificar na parte do fim de ciclo (parte de redução dos valores do período de *MAX*) pode ser relacionada com a disposição das áreas de cultivo para a colheita, esta informação de permitirá compor uma estimativa de densidade de disponibilidade de grãos à armazenagem e exportação para a safra 2017/2018.

Esta informação é fundamental para que seja relacionada com o volume exportado para que seja produzida a demanda real por armazenagem.

## **A2 - MAPA DATQUAR PARA SOJA E MILHO**

A estrutura proposta para a geração dos mapas de cultivo baseados por meio de imagens de satélite será desenvolvida a partir de uma adaptação da metodologia definida por Eberhardt *et al.* (2015) definida como Detecção de Áreas Agrícolas em Tempo Quase Real (DATQuaR) e que pode ser resumida na Figura A1.1. Os autores definiram o conjunto de processos necessários para a produção de mapas de cultivo em processo chamado “*em tempo quase real*”, inovando através da produção de mapas durante a safra.

A metodologia de Eberhardt *et al.* (2015) foi modificada para prover mapas de cultivo que garantam a identificação da presença de soja e milho na safra e na safrinha. Para tanto está implementada em três etapas: a) construção de um plano amostral para uma amostra composta por 10.000 pixels de imagens Landsat/OLI, com a distribuição do sorteio elaborada a partir de proporções de ocorrência de soja e milho por município determinado pelo IBGE para a safra 2014/2015 (COCHAN, 1977; LUIZ *et al.*, 2012); b) geração de uma mapa de referência por meio de interpretação visual dos 10.000 pixels Landsat/OLI aleatorizados seguindo o proposto por Eberhardt *et al.* (2015); e, c) aplicação da metodologia DATQuaR modificada utilizando imagens TERRA/MODIS para a geração de dois mapas de soja e milho, sendo um para a safra e um para safrinha.

As imagens Landsat/OLI possuem características adequadas para a produção de mapas (em função de suas características de resolução espacial e radiométricas), porém em função das características de aquisição de imagens (largura da faixa imageada e frequência de imageamento) estas apresentam limitações para a geração de mapas de cultivos em grandes regiões por conta da ocorrência de nuvens nas condições de clima subtropical e tropical como já foi avaliado por (EBERHARDT *et al.*, 2014; EBERHARDT, 2015; EBERHARDT *et al.* 2016).

Assim, é necessária a adoção de técnicas estatísticas de amostragem para usufruir das qualidades das imagens Landsat/OLI. O plano amostral proposto segue as definições propostas por Cochran (1977) que foram desenvolvidas e aplicadas a agricultura por Luiz *et al.* (2012) e Eberhardt *et al.* (2015), nas quais o objetivo da alocação da amostra busca a redução do

coeficiente de variação do resultado da amostragem com a aplicação de uma estratificação baseada em proporções de ocorrência da variável nos estratos em relação a população.

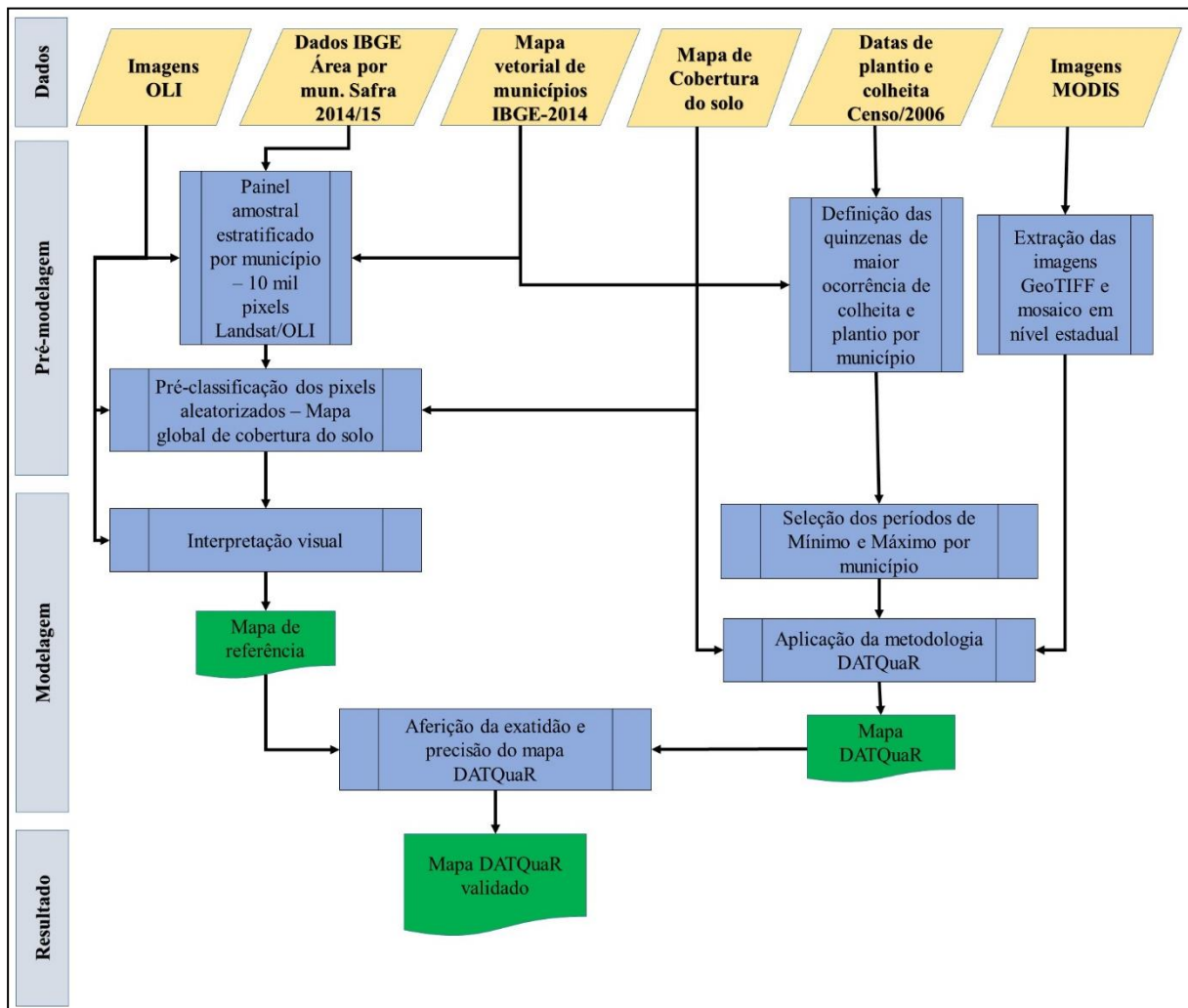


Figura A2.1 - Fluxograma da metodologia Detecção de Áreas agrícolas em Tempo Quase Real (DATQuaR) para a geração dos mapas de soja e milho. As porções em amarelo apresentam os dados de entrada, as porções em azul representam os mecanismos de modelagem. As porções em verde representam os resultados dos processos utilizados. Fonte: Elaboração do autor.

Logo, para o caso de distribuição da amostra para a formação de uma referência classificada de soja e milho em imagens Landsat/OLI os estratos serão todos os municípios do Estado do MT que o IBGE indica em sua Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) como produtores de soja e milho e a proporção será dada entre área cultivada de soja e milho em cada município e a área total no Estado do MT. De tal forma, serão alocados em maior número pixels nos municípios que detêm maior área cultivada de soja e milho (que naturalmente são mais importantes para a geração de uma referência fidedigna em termos de ocorrência espacial). De tal modo, é aumentada a possibilidade de que no momento da geração dos mapas de cultivos, as regiões com a maior presença de soja e milho tenham uma avaliação mais intensa (por conta do maior

número de pixels sorteados) aumentando a qualidade da avaliação dos mapas de cultivos a serem produzidos (Figura A2.1 garantindo um método de avaliação de qualidade ao mapa DATQuaR; CONGALTON, 1998).

A partir dos pixels Landsat/OLI (LOVELAND & DWYER, 2012) aleatorizados sobre os municípios conforme o determinado pelo plano amostral, os mesmos serão classificados por meio de interpretação visual das imagens Landsat/OLI utilizando o procedimento desenvolvido e testado por Eberhardt (2015). Previamente os pixels Landsat/OLI sorteado serão classificados utilizando o mapa de cobertura florestal produzido por Hansen *et al.* (2013). Os autores produziram este mapa a partir de imagens Landsat analisando espectro-temporalmente os dados e determinando o percentual de ocorrência de cobertura florestal por pixel.

Então, todos os pixels com valores abaixo de 20% de cobertura floresta serão considerados como “não-floresta”. Os pixels remanescentes serão novamente classificados utilizando as máscaras de restrição (de áreas indígenas, áreas de proteção nacionais, estaduais e outras restrições), todas os pixels classificados até aqui serão rotulados como outros. Somente, os pixels que não receberem o atributo de classe após as fases explicitadas anteriormente, serão classificados por meio de interpretação visual baseado na resposta espectro-temporal dos alvos presentes no talhão no qual cada um dos pixels sorteados pertencem, ademais, serão consideradas variáveis de contexto (os talhões agrícolas nas proximidades por exemplo, dados que a agricultura tende a ocorrer em clusters). Para estas as classes adotadas para os pixels sorteados serão duas: a) soja e milho, e b) outros (Figura A2.2).

Como exemplo, a Figura A2.2 apresenta uma composição colorida falsa cor com a banda 5 do sensor OLI (que adquire imagens na porção do infravermelho próximo do espectro eletromagnético) associado ao filtro do vermelho, a banda 6 do sensor OLI (que adquire imagens na porção do infravermelho médio do espectro eletromagnético) associada ao filtro do verde, e por fim, a banda 4 do sensor OLI (que adquire imagens na região do vermelho do espectro eletromagnético) associada o filtro do azul do software de processamento de imagens, assim definindo a composição Rb5-Gb6-Bb4. Nesta composição a vegetação com maior presença de biomassa e pigmentos fotossintetizantes tende a apresentar matiz de vermelho, no caso da Figura A1.3, a porção identificada por **a** apresenta a resposta espectral característica de soja em pleno desenvolvimento vegetativo, **b** características de presença de milho, e **c** de remanescente florestal. No caso dos três pontos evidenciados na Figura A2.2, **a** e **b** seriam classificados como soja e milho e **c** como outros.

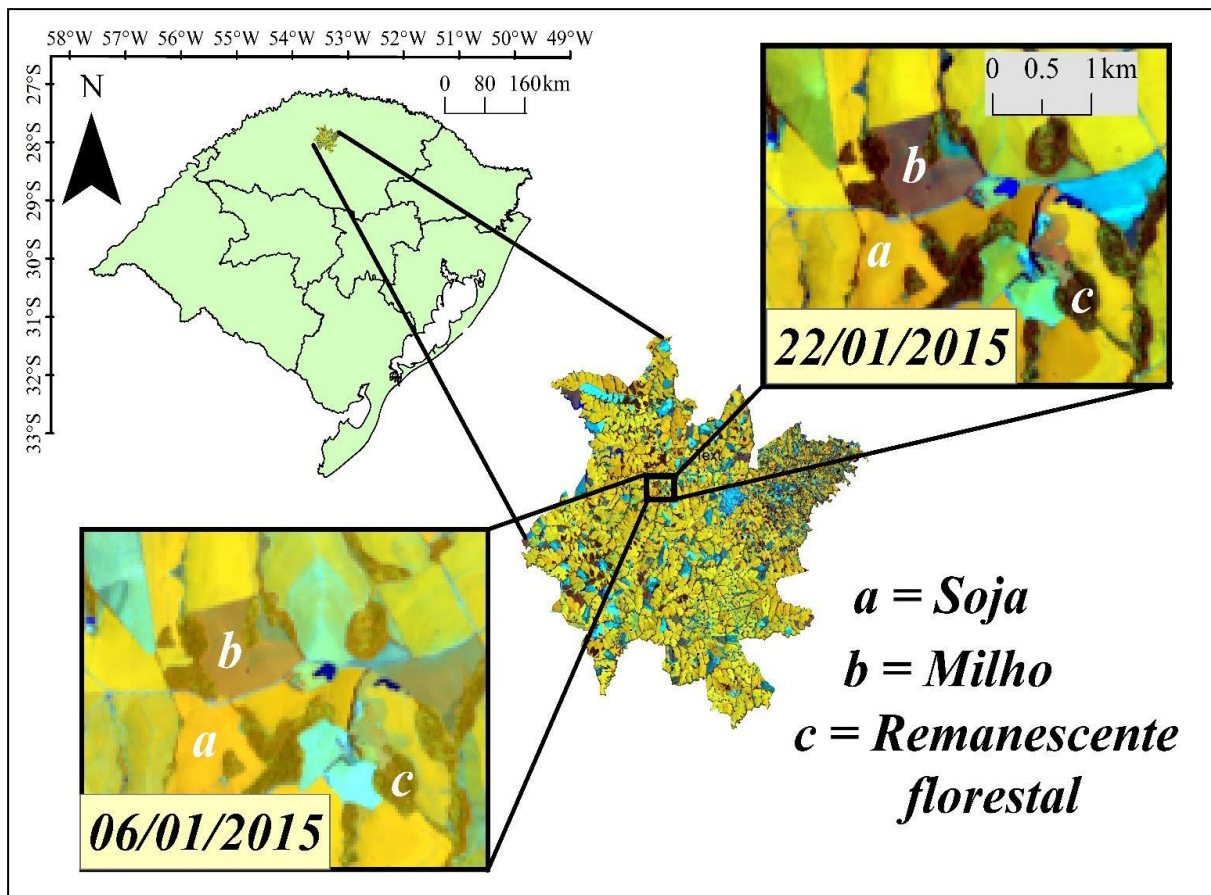


Figura A2.2 – Exemplo da resposta espectral de talhões de: soja (a), milho (b) e remanescente florestal (c) em imagens Landsat/OLI no município de Palmeira das Missões (um dos municípios com maior área cultivada de milho e soja do Rio Grande do Sul) RS, Brasil. Elaborado a partir de um trabalho de campo realizado em fevereiro de 2015 pelo autor. Fonte: Elaboração do autor.

Utilizando os dados de ocorrência e distribuição da safra e safrinha serão definidos os padrões de evolução dos valores de EVI e detectado o momento de ocorrência dos períodos de MIN e MAX para a formação posterior dos mapas DATQuaR (EBERHARDT *et al.*, 2015). Esta metodologia utilizará três diferentes fontes de informação para a geração dos mapas, sendo estas: a) estimativas de área cultivada de soja e milho por município na safra 2014/2015 disponibilizadas pelo IBGE no SIDRA; b) distribuição das datas de plantio e colheita (mês de concentração) por município para a safra 2017/2018 produzido a partir dos perfis temporais EVI; e, c) as imagens de EVI MODIS/TERRA.

Assim, as imagens EVI serão agregadas seguindo o proposto pela metodologia DATQuaR, produzindo duas imagens que correspondem a agregação temporal das imagens EVI. Sendo a primeira com os valores mínimos ocorridos por pixel dentro do período de preparo, pré-semeadura e primeiros estádios vegetativos de soja e milho. As datas de mínimo valor para cada município serão determinadas a partir do identificado pela metodologia de detecção de cultivo

espectro-temporal. A quinzena de maior ocorrência de máximo incremento de EVI anterior ao valor máximo será definida como a quinzena central de composição do período de Mínimo EVI. De modo semelhante, será gerada uma imagem agregada de valores máximos para cada pixel com as imagens EVI que forem coincidentes com o período de máximo vigor vegetativo (período este que ocorre anteriormente ao momento de colheita), para determinar tal período será identificado a partir dos dados identificado pela metodologia de detecção de cultivo espectro-temporal por município. Assim, será adotada como início a terceira quinzena anterior aquela de ocorrência do MAX.

De tal modo a composição das imagens de Mínimo e Máximo EVI serão ajustadas por município, sendo escolhida a duração de cada um dos períodos que produza o maior valor de mediana para os valores da imagem DATQuaR. O que é esperado neste caso, é que quanto maior o valor da mediana da imagem DATQuaR, mais ajustados as fases de desenvolvimento da soja e milho estarão períodos e conseqüentemente o mapa DATQuaR tenderá a deter uma exatidão maior (EBERHARDT, 2015; EBERHARDT *et al.*, 2015).

Em um teste preliminar, foi selecionada uma porção do MT para demonstrar qual seria a melhor combinação de imagens EVI TERRA/MODIS na metodologia DATQuaR (A2.3). Nesta comparação foi identificado que a imagem número 8 que foi composta pelos mínimos valores obtidos a partir das imagens do dia Juliano 321/2017 e 001/2018, e para o valor máximo entre o dia 001/2018 e 049/2018. Pode-se afirmar que esta seria a melhor composição para a metodologia DATQuaR no caso do município em questão no MT.

Dado que as imagens DATQuaR expressam de maneira correlacionada os incrementos da vegetação em termos de presença de biomassa fotossintetizante ativa, quanto maior o valor do pixel da imagem DATQuaR maior a presença de biomassa no mesmo. Logo, os pixels serão classificados com base na técnica de fatiamento, na qual são escolhidos os pixels com valor acima do limiar, este limiar será testado iterativamente comparando a área identificada como soja e milho (porções que apresentam pixels com valor acima do limiar) e a área indicada pela PAM do IBGE para a safra 2017/18 por município. Estes mapas por município serão mosaicadas para compor o mapa do Estado do MT de localização de soja e milho que servirá de ponto de origem para a função objetivo p-mediana nas etapas seguintes.



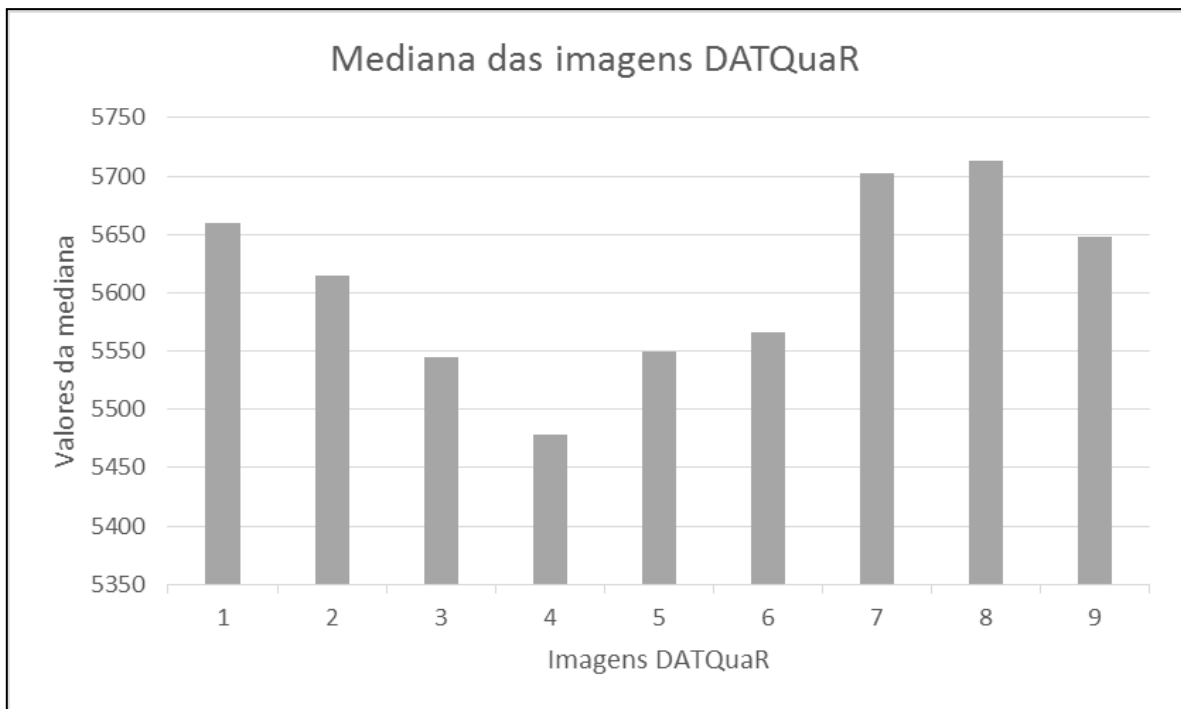


Figura A2.3 – Valores da mediana das imagens DATQuaR elaboradas com imagens TERRA/MODIS EVI, de uma porção do Estado do Mato Grosso, Brasil. Cada coluna representa cada uma das diferentes simulações, onde: simulação 1, Min-209-257, Max-257-305; simulação 2, Min-225-273, Max-273-321; simulação 3, Min-241-289, Max-289-337; simulação 4, Min-257-305, Max-305-353; simulação 5, Min-273-321, Max-321-001; simulação 6, Min-289-337, Max-337-017; simulação 7, Min-305-353, Max-353-033; simulação 8, Min-321-001, Max-001-049; simulação 9, Min-337-017, Max-017-065. Fonte: Elaboração do autor.

Por último este mapa DATQuaR de soja e milho, será comparado ao conjunto de pixels sorteados aleatoriamente de Landsat/OLI classificados e definidos como referência para validação. A partir desta comparação será produzido um valor de concordância global entre o mapa DATQuaR e o mapa de pixels Landsat/OLI (que por definição será assumido como referência e de elevada confiabilidade)