

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais

Marlon Fernandes de Souza

**Otimização locacional de novas unidades armazenadoras de grãos em
Minas Gerais**

Belo Horizonte

2019

Marlon Fernandes de Souza

OTIMIZAÇÃO LOCACIONAL DE NOVAS UNIDADES
ARMAZENADORAS DE GRÃOS EM MINAS GERAIS.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo A. de Albuquerque Nóbrega.

Belo Horizonte
Instituto de Geociências da UFMG
2019

S729o Souza, Marlon Fernandes de.
2019 Otimização locacional de novas unidades armazenadoras de grãos em Minas Gerais [manuscrito] / Marlon Fernandes de Souza. – 2019.

xiv,87 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2019.

Bibliografia: f. 57-66.

Inclui apêndices e anexos.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Cereais – Armazenamento – Teses. 3. Sistemas de informação geográfica – Teses. 4. Minas Gerais – Teses. I. Nóbrega, Rodrigo Affonso de Albuquerque. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia. III. Título.

CDU: 911.2:519.6(815.1)



FOLHA DE APROVAÇÃO

Otimização locacional de novas unidades armazenadoras de grãos em Minas Gerais

MARLON FERNANDES DE SOUZA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, área de concentração ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS.

Aprovada em 22 de fevereiro de 2019, pela banca constituída pelos membros:


Prof. Rodrigo Albuquerque de Albuquerque Nóbrega - Orientador

UFMG


Prof. Plínio da Costa Temba

UFMG


Prof. Renato Silva Lima

Universidade Federal de Itajubá


Prof. Domingos Sávio Magalhães Valente

UFV

Belo Horizonte, 22 de fevereiro de 2019.

“Enjoy the little things in life, because one day you’ll look back and realize they were the big things.”

Kurt Vonnegut

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa, companheira, admiradora e incentivadora, Thaiana, pela paciência, apoio, auxílio e compreensão.

Ao meu irmão Marcel pela ajuda, revisões e o apoio de sempre.

Aos meus pais, Neide e Benedito (Netinho), e à toda minha família pelo incentivo, em especial à tia Gracinha pela ajuda no processo de inscrição e matrícula no mestrado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega, pela confiança, ensinamentos e convivência fraterna.

A todos os meus colegas de mestrado, particularmente ao Trevor, Júlio, Nunes, Marina, Andrés, Max, Rubem, Erika, Carol, Nelson, Luiz e Castigo, pela troca de conhecimento e convivência.

Agradeço aos professores Dr. Plínio da Costa Temba, Dr. Renato da Silva Lima e Dr. Domingos Sárvio Magalhães Valente pela participação na minha qualificação, pelos comentários, ensinamentos e sugestões.

Ao Professor Dr. Bráulio Magalhães Fonseca, do Departamento de Geografia da UFMG, pelos ensinamentos e pelo valioso auxílio nas análises de incerteza e sensibilidade. À Prof^a Dra. Leise Kelli de Oliveira, do Departamento de Engenharia de Transporte e Geotecnia da UFMG, pelos ensinamentos e revisões ao longo do mestrado.

Agradecimentos especiais ao Guilherme Bastos, pela orientação, mentoria e contribuições na construção da ideia deste trabalho durante o Programa de Trainee da Multigrain. Agradeço também ao Rafael Varani, Fábio Maeda e aos colegas do departamento de Inteligência de Mercado da Multigrain, Marcelo Maciel, Chau Huene e Isadora Herrmann pelas contribuições.

Agradeço também à CAPES e ao programa de pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais pela concessão da bolsa de mestrado.

E finalmente aos professores e funcionários da UFMG que de alguma forma contribuíram nessa caminhada.

RESUMO

Apontado como um dos principais gargalos de infraestrutura brasileira, a armazenagem de grãos precisa continuar se desenvolvendo para suportar o avanço do agronegócio brasileiro. O déficit na capacidade de armazenagem e a má localização da rede de estruturas armazenadoras são dois dos principais problemas. A definição da localização de instalações de armazenamento de grãos é uma decisão pouco frequente, mas que merece especial atenção considerando o tamanho do investimento e sua importância em um sistema logístico. A literatura mostra crescentes avanços acerca do tema. Técnicas de análise multicritério espacial permitem o emprego de inteligência geográfica para apoiar a tomada de decisão. A solução de modelos matemáticos complexos se tornou possível devido aos avanços da capacidade de processamento computacional e das técnicas de simulação. O objetivo deste trabalho foi fornecer ferramentas de suporte à decisão na escolha da localização ideal de novas unidades armazenadoras de grãos no estado de Minas Gerais. Para isso a dissertação foi estruturada em quatro capítulos: O primeiro apresenta uma contextualização sobre o tema, o segundo apresenta uma análise da distribuição espacial da oferta de armazenagem pelo estado, o terceiro mostra as etapas de construção de um mapa de adequação para localização de novas unidades armazenadoras através de um modelo espacialmente explícito, e no quarto e último capítulo um banco de dados espaciais, com base em uma rede viária topológica, foi desenvolvido para suportar um modelo de localização-alocação de unidades armazenadoras. Os modelos foram aplicados em Minas Gerais devido à sua importância tanto na agricultura, quanto na logística do agronegócio no Brasil. A pesquisa tem um caráter exploratório-explicativo e a metodologia é de natureza aplicada. Os resultados mostram que dos 853 municípios estudados, 785 apresentam algum nível de déficit de armazenagem, entretanto não foram observados grandes núcleos de concentração de déficit. Na análise de incerteza do mapa de adequação, a mesorregião Sul/Sudoeste de Minas apresentou o maior número de municípios (86) com áreas robustas, de elevada adequação e baixa incerteza, mas em pequenas áreas dispersas pela região. Já a mesorregião Noroeste de Minas apresentou a maior extensão de áreas contíguas. O número de municípios no Noroeste é pequeno devido às grandes extensões territoriais municipais, entretanto é a mesorregião com maior adequação para investimentos em armazenagem no estado.

Palavras-chave: SIG; agronegócio; oferta de armazenagem; GWR; logística de grãos; problema de localização-alocação; mapa de adequação; modelo espacialmente explícito.

ABSTRACT

Considered as one of the main bottlenecks in Brazilian infrastructure, the grain storage must keep developing itself to support the advance of Brazilian agribusiness. Deficit in storage capacity and mispositioning of the storage network are two of the main problems. The definition of the location of grain storage facilities is an infrequent decision, but demand special attention considering the size of the investment and its importance in a logistics system. The literature shows increasing advances in the subject. Spatial Multicriteria Analysis (SMCA) allows the use of geographic intelligence to support decision making. The solution of complex mathematical models has become possible due to advances in computational processing capacity and simulation techniques. The objective of this work was to provide decision support tools to improve the location and allocation of new grain storage units in the state of Minas Gerais, Brazil. In order to do this, the dissertation was structured in four chapters: The first presents a contextualization on the theme, the second presents an analysis of the spatial distribution of the storage supply across the state, the third shows the steps of a suitability map construction for locating new storage units through a spatially explicit model, in the fourth and last chapter a spatial database, based on a topological road network, was developed to support a location-allocation model for storage facilities. The models were applied in Minas Gerais due to its importance both in agriculture and in the agribusiness logistics in Brazil. The research has an exploratory-explanatory nature and the methodology is applied. The results show that from the 853 investigated municipalities, 785 presented some level of storage deficit, however, large kernels of deficit were not observed. In the uncertainty analysis of the suitability map, the Southern/Southwestern Minas Gerais mesoregion presented the largest number of municipalities (86) with robust areas, of high suitability and low uncertainty, but in small areas scattered across the region. On the other hand, the Northwestern Minas Gerais mesoregion presented the largest extension of contiguous areas. The number of municipalities in the Northwest is small due to the large municipal territorial extensions, however it is the most suitable region for investments in storage in the state.

Keywords: GIS, agribusiness, storage supply, GWR, grain logistics, location-allocation problem, suitability map, spatially explicit model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Classificação das unidades armazenadoras quanto a sua localização.....	4
Figura 2. Variação de preços da soja em Minas Gerais, no Brasil e na bolsa de Chicago para as safras 15/16 e 16/17.....	8
Figura 3. Representação da Árvore de Valor de Decisão.....	10
Figura 4. Distribuição da produção de grãos e também a localização das unidades armazenadoras de Minas Gerais cadastradas no SICARM/CONAB.....	15
Figura 5. I de Moran local bivariado e <i>scatterplot</i> entre variáveis para o índice global.....	18
Figura 6. R ² local da GWR da capacidade estática em função da produção.....	20
Figura 7. Resíduos padronizados da GWR da capacidade estática pela produção (A) e distribuição espacial da oferta de armazenagem em Minas Gerais (B).....	22
Figura 8. Variação da quantidade produzida e da capacidade estática de armazenamento de grãos em Minas Gerais de 1980 a 2017.....	28
Figura 9. Localização das principais rodovias e das unidades armazenadoras de Minas Gerais cadastradas no SICARM/CONAB.....	29
Figura 10. Fluxograma dos procedimentos metodológicos desenvolvidos para construção da SIACA.....	30
Figura 11. Representação das camadas que interferem na localização de novas unidades armazenadoras e que combinadas irão apontar o local mais adequado para se investir em armazenagem.....	33
Figura 12. Nuvem de palavras com os principais critérios que afetam a localização de armazéns.....	37
Figura 13. Hierarquia dos critérios selecionados e seus respectivos pesos.....	38
Figura 14. Áreas aptas para o cultivo de soja e restritas para exploração e instalações comerciais.....	39
Figura 15. Critérios normalizados que influenciam a localização de unidades armazenadoras, separados em atratores (ACCESS, DP e OFER) e repelentes (COMP, IGI e SA).....	39
Figura 16. Superfície integrada de adequação para construção de armazéns.....	40

Figura 17. Áreas robustas e candidatas para instalação de um armazém graneleiro.....	42
Figura 18. Localização da área de estudo para aplicação da modelagem em rede, escolhida com base na SIACA.	47
Figura 19. Fluxograma dos procedimentos metodológicos desenvolvidos para o modelo em rede.	48
Figura 20. Localização dos armazéns coletores escolhidos e suas respectivas áreas de abrangência.	52
Figura 21. Densidade de <i>kernel</i> da oferta de armazenagem, indicando (em vermelho) as áreas com concentração de déficit.	70
Figura 22. Áreas deficitárias em armazenamento de Minas Gerais.	74
Figura 23. Concentração de capacidade estática de armazenagem.	75
Figura 24. Comparativo entre as áreas de produção de soja, milho, feijão e trigo, em 2013 e previstas para 2030.	76
Figura 25. Alteração da área de cultivo das principais culturas anuais entre 2013 e 2030.	76
Figura 26. Rodovias do PNLT 2010 com <i>buffer</i> de distanciamento do eixo da rodovia.	77
Figura 27. Localização das unidades de processamento de soja com seu respectivo raio de abrangência.	78
Figura 28. Matriz AHP e autovetor normalizado.	79
Figura 29. Tela do resultado sumarizado da planilha AHP.	79
Figura 30. Pesos atribuídos para cada critério com seus respectivos desvios.	80
Figura 31. Áreas robustas, candidatas e inadequadas para instalação de um armazém graneleiro.	81
Figura 32. Classes de função das rodovias em Minas Gerais utilizadas na construção da rede topológica.	85
Figura 33. Rede topológica viária construída.	86
Figura 34. Detalhamento da demanda atendida pela unidade armazenadora B.	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo da estatística I de Moran global para a capacidade estática de armazenamento.....	19
Tabela 2. Resumo da estatística da regressão GWR.	20
Tabela 3. Aspectos das regiões de adequação robustas (1) e candidatas (2).....	36
Tabela 4. Índices de sensibilidade de primeira ordem (S) e do efeito total (ST) para todos os critérios que compõe a SIACA.....	41
Tabela 5. Classificação dos municípios com maior adequação para construção de armazéns.....	43
Tabela 6. Giro estimado de acordo com o tipo de propriedade e atividade do estabelecimento.	68
Tabela 7. Pesos atribuídos considerando a distância até as instalações.	71
Tabela 8. Reclassificação dos usos do solo previstos para 2030 pelo OTIMIZAGRO.....	72
Tabela 9. Pesos atribuídos para a acessibilidade das áreas de acordo com a classe da rodovia.	73
Tabela 10. Aspectos das regiões de adequação em classes mais detalhadas.....	81
Tabela 11. Número de municípios candidatos e robustos por meso e microrregião do estado de Minas Gérias.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAA	Avaliação de Adequação de Áreas
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i> (Processo de Análise Hierárquica)
AI	Análise de Incerteza
AICc	Crítério de Informação de Akaike corrigido
AMCE	Análise Multicritério Espacial
AS	Análise de Sensibilidade
CNUA	Cadastro Nacional de Unidades Armazenadoras
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CSR	Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG
DEER	Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem
Desv. P.	Desvio padrão
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i> (Organização de Alimentos e Agricultura)
GWR	<i>Geographically Weighted Regression</i> (Regressão Geograficamente Ponderada)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
iUSA	<i>Integrated Uncertainty and Sensitivity Analysis</i> (Análises de Incerteza e Sensibilidade Integradas)
OAT	<i>One- Factor-At-A-Time</i> (Um fator por vez)
OD	Origem-Destino
OECD	<i>Organisation for Economic Cooperation and Development</i> (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico)
OLS	<i>Ordinary Least Squares</i> (Mínimos Quadrados Ordinários)

PAM.....Pesquisa Agrícola Municipal

PAP.....Plano Agrícola e Pecuário

PIB.....Produto Interno Bruto

PRONAZEM.....Programa Nacional de Armazenagem

S.....Índice de sensibilidade de primeira ordem

SAD.....Sistema de Apoio à Decisão

SIACA.....Superfície Integrada de Adequação para Construção de Armazéns

SICARM.....Sistema de Cadastro Nacional de Unidades Armazenadoras

SIG.....Sistemas de Informação Geográfica

SMC.....Simulação de Monte Carlo

ST.....Índice de sensibilidade do efeito total

UCs.....Unidades de Conservação

VBP.....Valor Bruto da Produção

WLC.....*Weighted Linear Combination* (Combinação Linear Ponderada)

WTO.....*World Trade Organization* (Organização Mundial do Comércio)

LISTA DE MATERIAL SUPLEMENTAR

APÊNDICE	67
AP2. Apêndice do Capítulo 2	67
AP2.1. Cálculo da Oferta de Armazenagem.....	67
AP3. Apêndice do Capítulo 3	71
AP3.1. Cálculo das variáveis que compõe a SIACA.....	71
AP3.2. Matriz AHP	78
AP3.3. Detalhamento Análise de Incerteza	80
AP3.4. Aprofundamento na Análise de Sensibilidade	82
AP3.5. Ranqueamento e identificação das áreas robustas e candidatas	83
AP4. Apêndice do Capítulo 4	85
AP4.1. Detalhamento da modelagem em rede	85
ANEXOS	87
AN1. <i>Script</i> iUSA v1	87
AN2. Planilha AHPcalc	87

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	X
LISTA DE MATERIAL SUPLEMENTAR.....	XII
SUMÁRIO.....	XIII
CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
CAPÍTULO 1: Contextualização	3
1.1 Armazenamento de grãos: Classificação e definições	3
1.2 A relevância do armazenamento e distribuição de alimentos do ponto de vista dos desafios globais.....	4
1.3 Síntese histórica sobre armazenagem	5
1.4 Importância do armazém do ponto de vista financeiro.....	7
1.5 Decisão de investimento	8
1.6 Modelos de Localização de Instalações	11
1.7 Modelos de localização na agricultura.....	12
CAPÍTULO 2: Análise espacial da relação entre produção e armazenagem de grãos em Minas Gerais	14
2.1 Caracterização da oferta de armazenagem em Minas Gerais	14
2.2 Materiais e Métodos.....	15
2.3 Resultados e Discussão	18
2.4 Considerações do Capítulo 2	23
CAPÍTULO 3: Análise multicritério espacial para mapeamento de áreas adequadas para instalação de armazéns.....	25
3.1 Caracterização do problema de identificação das áreas adequadas para investimento em unidades armazenadoras de grãos.....	25
3.2 Área de estudos	28
3.3 Metodologia	29

3.3.1	Seleção dos fatores e determinação dos respectivos pesos.....	30
3.3.2	Mapeamento das áreas restritas e delimitação da área de análise dos resultados..	31
3.3.3	Obtenção e pré-tratamento dos dados.....	31
3.3.4	Normalização das variáveis e construção do mapa de adequação.....	33
3.3.5	Análise de sensibilidade	35
3.3.6	Análise de incerteza.....	35
3.3.7	Ordenamento, avaliação e classificação dos melhores locais.....	36
3.4	Resultados e discussão.....	37
3.5	Considerações do Capítulo 3	43
CAPÍTULO 4: Modelagem em rede		45
4.1	Otimização locacional de armazéns graneleiros em um sistema logístico	45
4.2	Área de Estudos	46
4.3	Materiais e métodos	47
4.4	Resultados e Discussões	50
4.5	Considerações do Capítulo 4	53
CONCLUSÕES		54
CONSIDERAÇÕES FINAIS		56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		57
MATERIAL SUPLEMENTAR		67
APÊNDICE		67
ANEXOS		87

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O principal setor econômico do Brasil é o agronegócio. Historicamente, o país tornou-se especialista na produção de produtos agrícolas, principalmente daqueles classificados como *commodity* (SANTOS; SPROESSER; BATALHA, 2018). Com o quinto maior Valor Bruto da Produção (VBP) agrícola (MAPA, 2017a) e produção mais diversificada do país em 2017 (IBGE, 2017a), o estado de Minas Gerais tem, no atual cenário, um papel de destaque neste setor.

A armazenagem é um dos mais importantes facilitadores para uma cadeia de suprimentos global eficaz (SINGH; CHAUDHARY; SAXENA, 2018). No Brasil, a expansão da fronteira agrícola no Cerrado, com distâncias cada vez maiores entre as áreas de produção e os portos de exportação, tem demandado uma logística eficiente para o transporte dos grãos. O acesso ao sistema de armazenamento tornou-se cada vez mais necessário devido ao aumento das distâncias e à confiabilidade variável dos sistemas de transporte existentes (FREDERICO, 2011).

A função do armazém vai desde a conservação da qualidade e controle de perdas até o auxílio às políticas de segurança alimentar, passando pelo suporte à comercialização, estoques reguladores, logística de produção e de transporte. A armazenagem de grãos equaliza oferta e demanda, possibilitando que uma demanda contínua de produtos seja suprida por uma oferta sazonal e sujeita a oscilações, definida pelas safras e entressafras. (BIAGI; BERTOL; CARNEIRO, 2002; FREDERICO, 2011).

Ressaltando a importância de qualidade, segurança, sustentabilidade e eficiência logística ao longo de toda a cadeia de abastecimento de alimentos (MANZINI; ACCORSI, 2013). Accorsi, Manzini e Maranesi (2014) sugeriram um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para o projeto, gerenciamento e controle de sistemas de armazenamento, mas é preciso frisar que em um estágio inicial de um SAD a seleção adequada do local do armazém é crucial para melhorar o desempenho de toda a cadeia (SINGH; CHAUDHARY; SAXENA, 2018). Dessa forma, o objetivo deste estudo é criar modelos que servirão como ferramentas de suporte na escolha da localização ideal de novas unidades armazenadoras.

Esta dissertação consiste em um trabalho de modelagem e simulação estruturada em quatro capítulos, e desenvolvida no estado de Minas Gerais. Com exceção do primeiro, que é uma contextualização sobre o tema, os demais correspondem a modelos aplicados que o autor

pretende que se tornem artigos científicos. Sendo, cada um destes capítulos, iniciado por um subcapítulo introdutório e finalizado por um subcapítulo de considerações.

A questão de pesquisa que norteou essa dissertação foi a avaliação da oferta de armazenagem existente em Minas Gerais, com vistas para a identificação de oportunidades de construção de armazém com o maior retorno do investimento de forma responsável e sustentável. A pesquisa tem um caráter exploratório-explicativo. A metodologia adotada classifica-se como de natureza aplicada, fornecendo contribuições para aplicação prática do problema de localização-alocação de unidades armazenadoras, tanto para o setor privado quanto para o setor público (GIL, 2002).

O segundo capítulo, denominado “Análise espacial da relação entre produção e armazenagem de grãos em Minas Gerais” apresenta uma das justificativas para o trabalho, ao analisar a situação da armazenagem no estado, e expor o problema da carência de instalações de armazenagem em Minas Gerais. O déficit de instalações e a má distribuição da rede armazenadora já foi apontado por diversos autores em várias regiões do Brasil (ALCÂNTARA, 2006; AMARAL, 2005; CONAB, 2017a; MAPA, 2017b; MORAES, 2014; NOGUEIRA JUNIOR; TSUNECHIRO, 2005; PATINO et al., 2013). Baptista et al. (2013) já haviam indicado Minas Gerais como um dos estados aonde a capacidade estática parece não ser suficiente para atender a produção agrícola, mas neste capítulo a análise é apresentada com maior riqueza de detalhes e em uma perspectiva espacial. O terceiro capítulo apresenta uma Análise Multicritério Espacial (AMCE), que deu origem a um mapa de adequação para localização de novas unidades armazenadoras. Incorporando análises de sensibilidade e incerteza para identificação de áreas robustas para investimento em instalações de armazenamento. O quarto e último capítulo traz um modelo de localização-alocação de três unidades armazenadoras coletoras de grãos em uma rede logística topológica nas regiões mais robustas do terceiro capítulo.

CAPÍTULO 1: Contextualização

Este capítulo traz alguns tópicos sobre armazenamento, logística e cadeia de suprimentos agrícolas para apresentar o contexto no qual o trabalho foi desenvolvido, e consequentemente, facilitar a compreensão do leitor sobre a importância da localização de uma nova unidade armazenadora de grãos. O capítulo apresenta também um pouco sobre a modelagem de localização, com enfoque especial na localização de instalações agrícolas. Os seguintes temas são abordados:

- Definições e classificação dos sistemas de armazenamento;
- Relevância do armazenamento e distribuição de alimentos do ponto de vista dos desafios globais;
- Histórico da armazenagem;
- Importância do armazém do ponto de vista financeiro;
- Considerações em relação à decisão de investimento em armazenagem;
- Modelagem de localização;
- Características de modelos de localização na agricultura.

1.1 Armazenamento de grãos: Classificação e definições

Os métodos de armazenamento de grãos podem ser agrupados em sistemas. Os principais sistemas usados no Brasil são: convencional, a granel, hermético e emergencial (ELIAS; OLIVEIRA; VANIER, 2017).

Segundo Elias, Oliveira e Vanier (2017) o sistema convencional é o mais diversificado, tendo desde unidades bastante rústicas, como os paióis, galpões e celeiros, até unidades maiores e mais tecnológicas, como os armazéns convencionais. Já nas unidades de armazenamento a granel, estão os silos, os armazéns graneleiros e os armazéns granelizados, em geral projetados para grandes volumes e dotados de sistemas de termometria e aeração. Há também unidades a granel mais simplificadas, para pequenas quantidades, como as caixas e tulhas. No sistema hermético, além dos recipientes para pequenos volumes, como tonéis e bombonas, destaca-se a crescente utilização de silos bolsa, ou silos *bag* (BONATO, 2014; FARONI et al., 2009). E por fim, nos sistemas emergenciais, os modelos mais utilizados são as piscinas de sacaria, as unidades infláveis e estruturais (como o *bunker*), além de outras estruturas adaptadas.

Segundo Puzzi (1977) e Weber (2001), as unidades armazenadoras podem ser classificadas quanto a sua localização. A classificação é descrita abaixo e ilustrada na Figura 1.

- Fazenda/Produtor: Localizadas dentro da propriedade rural, servem geralmente a um único proprietário, sendo em geral de pequeno ou médio porte.
- Coletoras: Unidades que se encontram a uma distância média das propriedades rurais e servem a vários produtores.
- Subterminais: Estas unidades localizam-se em pontos estratégicos do sistema logístico, normalmente nos pontos de transbordo, racionalizando os fluxos de mercadoria para minimizar os custos com movimentação.
- Terminais: Localizam-se em centros consumidores e portos, apresentando como principal característica a alta rotatividade de produto.

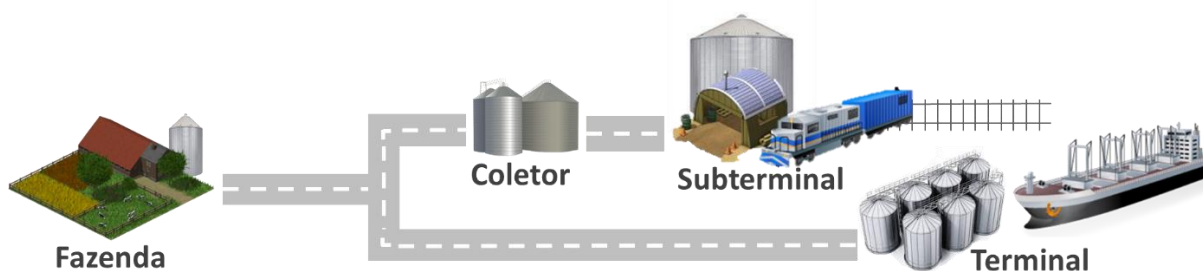


Figura 1. Classificação das unidades armazenadoras quanto a sua localização.

1.2 A relevância do armazenamento e distribuição de alimentos do ponto de vista dos desafios globais

A segurança alimentar da população e a sustentabilidade da cadeia de alimentos são dois grandes desafios da atualidade e que devem se tornar ainda mais importantes em um futuro próximo, devido às expectativas de crescimento da população mundial, aumento da população urbana, mudanças climáticas, escassez de recursos naturais, dentre outras mudanças sociais e ambientais que devem impactar as cadeias de distribuição de alimentos. Trabalhos como os de Foley *et al.* (2011); Mc Carthy *et al.* (2018); Prosekov e Ivanova (2018) destacam a importância da cadeia logística no transporte e distribuição de alimentos. Quando se pensa em segurança alimentar e sustentabilidade; transporte, armazenagem e distribuição de alimentos obrigatoriamente devem ser considerados, pois atualmente a grande maioria das cadeias de fornecimento de alimentos se estende globalmente (MC CARTHY *et al.*, 2018).

A comunidade de pesquisa em transportes tem caminhado para uma logística sustentável, buscando a minimização não apenas de custos, mas também dos efeitos mais amplos das externalidades negativas, como congestionamento, poluição e outros danos causados ao ecossistema pelo transporte (AMBROSINO; SCIOMACHEN, 2014). Para reduzir com sucesso o desperdício de alimentos e aumentar a eficiência de recursos continuamente em toda a cadeia da “fazenda ao garfo”, é preciso adotar uma visão estratégica através da combinação de perspectivas locais e globais, sendo a chave para alcançar uma solução global reside na capacidade de mesclar com sucesso e holisticamente soluções locais (ACCORSI; MANZINI; MARANESI, 2014; MC CARTHY et al., 2018).

Do ponto de vista de *trading* e comércio exterior, é difícil para um fabricante exportar a um preço competitivo ou importar a um custo competitivo se o setor de transporte e logística for volátil e/ou disfuncional (SHEPHERD, 2013). Pesquisa da OECD/WTO de 2013 relatou que uma melhoria de 10% na qualidade de infraestrutura relacionada a transportes e comércio pode aumentar as exportações agrícolas dos países em desenvolvimento em até 30% (SHEPHERD, 2013).

Cadeias eficientes de fornecimento de alimentos têm o potencial de reduzir o desperdício de alimentos, bem como o custo para o consumidor, dado que o custo do desperdício de alimentos na cadeia aumenta em direção ao consumidor final (MC CARTHY et al., 2018).

A unidade armazenadora possibilita, além das suas funções intrínsecas, a gestão da cadeia logística, com a disponibilização do produto no tempo e quantidade adequados, estabilizando a cadência de transporte (WRIGHT, 2012). Mais que isso, os serviços de logística e armazenagem também afetam a capacidade de um país responder a choques nos preços de mercado (MC CARTHY et al., 2018; WRIGHT, 2012).

1.3 Síntese histórica sobre armazenagem

Há muito tempo o homem tem armazenado alimentos e mantido animais para cobrir situações de emergência, fome e seca (ACKERMAN, 1990; TOMPKINS; SMITH, 1998). À medida que os exploradores europeus criaram novas rotas comerciais em todo o mundo a importância dos armazéns deixou de ser somente para atender emergências e passou a ser também comercial, servindo para o armazenamento de produtos e *commodities* que eram trazidos de lugares distantes (DEDHIA, 2016). Os portos eram os principais locais dos armazéns, uma vez que a maioria das mercadorias era transportada por navios. O primeiro

armazém comercial conhecido foi construído em Veneza, uma das principais rotas comerciais da antiguidade (TOMPKINS; SMITH, 1998). Hoje, a armazenagem envolve muito mais do que a estocagem de produtos alimentícios, o armazenamento tornou-se mais amplo, diversificado e complexo (ACKERMAN, 1990).

No Brasil, desde o seu surgimento até o início da década de 70, a rede armazenadora concentrou-se no litoral e só avançou para o interior em condições muito especiais, conforme a cultura. Sua modalidade, em termos de manuseio dos produtos, voltou-se predominantemente para a guarda e conservação em sacaria (SILVA; CAMPOS; SILVEIRA, 2008). A partir dos anos 70, o sistema de armazenagem a granel foi adotado e a rede começou a avançar para o interior, com a infraestrutura evoluindo de sistemas terminais e intermediários para coletores e produtores. Esse formato de crescimento da rede armazenadora resultou em atividade tipicamente urbana (SILVA, 1995), e com baixo percentual de armazenagem na fazenda quando comparado a outros grandes celeiros agrícolas (NOGUEIRA JUNIOR; TSUNECHIRO, 2011; ROCHA et al., 2014). Minas Gerais apresenta percentual de armazéns localizados nas fazendas superior à média nacional, 21% da capacidade estática total, um bom percentual, mas ainda inferior ao percentual encontrado em países como EUA, Canadá e Argentina (AMARAL, 2005).

Também na década de 70, o Governo Federal iniciou uma política de controle inflacionário através da criação de estoques públicos de gêneros alimentícios. Tal ação tinha como objetivo minimizar o impacto que a sazonalidade da produção agrícola tinha sobre a economia nacional. Esta medida fez com que a maioria dos grandes armazéns fossem controlados pelo Estado. Contudo, desde a década de 90, após o controle inflacionário, a administração de grande parte da infraestrutura de armazenagem passou à iniciativa privada, modificando o perfil proprietário dos armazéns nacionais (GALLARDO et al., 2010).

Segundo Caixeta-Filho (2006), a rede armazenadora brasileira é deficitária e mal localizada. A situação da armazenagem é de tamanha relevância que o Plano Agrícola e Pecuário (PAP) 2017/2018, publicado pelo governo federal brasileiro, definiu a expansão da capacidade estática de armazenamento e inovação tecnológica como prioridades. Direcionando recursos estatais e estabelecendo a menor taxa de juros dentre todas as áreas atendidas com financiamento pelo plano (MAPA, 2017b).

Neste contexto, é importante ressaltar que o posicionamento adequado das novas instalações de armazenamento é tão importante quanto o investimento na construção das mesmas (BARBOZA; VIEIRA, 2014; NASCIMENTO et al., 2009). Considerando que o

investimento exigido para localização ou realocação de instalações geralmente é grande, espera-se que as mesmas permaneçam operáveis por um longo período de tempo (OWEN; DASKIN, 1998).

1.4 Importância do armazém do ponto de vista financeiro

A alta volatilidade de preços de *commodities* agrícolas se deve a fatores relativos ao clima, deterioração dos produtos, armazenamento, entressafras, estratégias de proteção, barreiras alfandegárias em mercados internacionais e a própria evolução tecnológica (RIBEIRO; SOSNOSKI; OLIVEIRA, 2010).

Apesar dos investimentos realizados e dos vários projetos ferroviários e hidroviários, ainda hoje, o transporte de cargas agrícolas no país é dependente do modal rodoviário. Caixeta-filho (2001) afirma que a safra da soja é, sem dúvida, a que mais desestabiliza o mercado de fretes, isto é, com a utilização intensa dos serviços de transporte, os veículos disponíveis se tornam escassos, elevando os valores de frete significativamente. Em vista disso o investimento em formas de estocar a produção para transporte em um momento mais favorável se faz vantajosa (MARTINS et al., 2005).

Rocha et al. (2012) mostraram que o alongamento do tempo de escoamento da produção através da utilização da armazenagem, no caso da soja, permite que os produtores comercializem o seu produto em períodos que os preços dos produtos estão mais altos, devido à menor oferta de produto no mercado e/ou menores custos de transporte, por conta da menor demanda por esse serviço.

Na Figura 2 é apresentada a variação de preços da soja em Minas Gerais, no Brasil e na bolsa de Chicago para as safras 15/16 e 16/17, onde é possível observar a elevação do preço local na entressafra mineira (jul-ago-set) que possibilita ganhos com o alongamento do escoamento. A armazenagem, portanto, pode ser vista como uma estratégia econômica, possibilitando o aumento da receita líquida (ROCHA et al., 2012).

O carregamento da safra pode ser acompanhado de operações de cobertura de riscos (*hedge*). O *hedge* de custo de carregamento (*carrying charge hedging*) é uma ferramenta financeira utilizada em conexão com a manutenção de um estoque de um determinado ativo, enquanto a manutenção deste estoque não é coberta por uma venda futura. As operações de *cash and carry* são uma variante deste tipo de *hedge*, embora possam ser classificadas como sendo de arbitragem, à medida que a compra à vista e sua cobertura são realizadas no mesmo período, com o objetivo de garantir um diferencial vantajoso (FARHI, 1999).

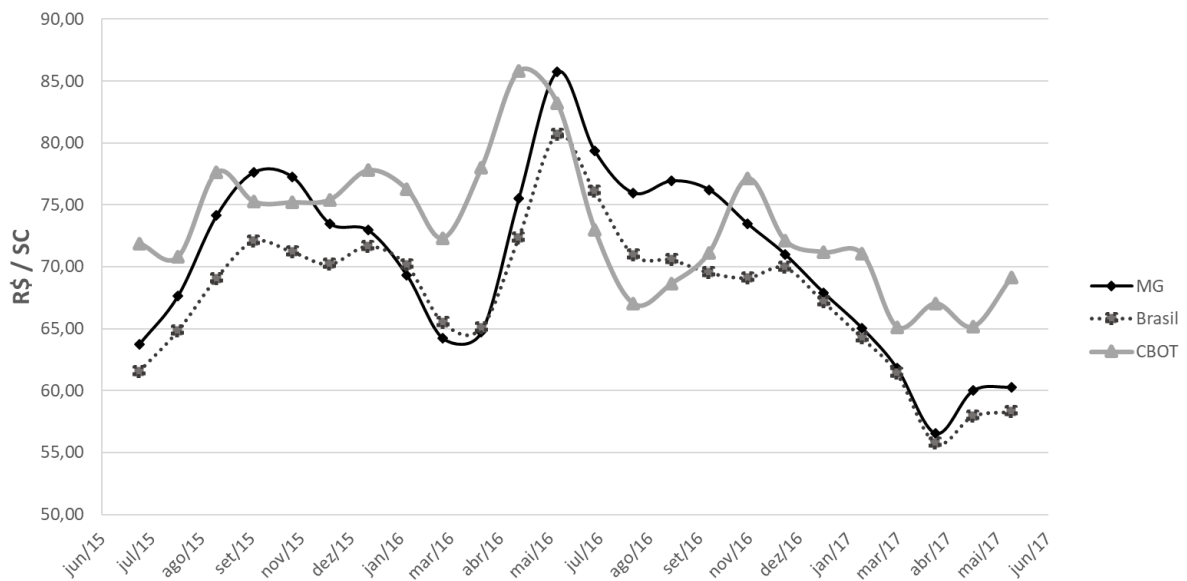


Figura 2. Variação de preços da soja em Minas Gerais, no Brasil e na bolsa de Chicago para as safras 15/16 e 16/17.

A operação de *Cash & Carry* se refere à compra de um produto no mercado físico acompanhada de venda simultânea no mercado futuro. A sua rentabilidade depende do preço de venda no mercado futuro e do preço pago no mercado físico, adicionado de custos operacionais, frete, armazenagem e mais a remuneração do capital. Quando se fixa o preço de venda no mercado futuro, a operação é uma estratégia de renda fixa, sem risco de mercado (PEROBELLI, 2006).

1.5 Decisão de investimento

A gestão de custos e o ambiente de decisão são ainda mais complexo quando se tratam de cadeias de suprimentos agrícolas. Longe de uma perspectiva estável, contínua e programada, a cadeia deve gerenciar incertezas e sazonalidades, como os períodos de safra e entressafra e perdas ocasionadas pela deterioração ou vencimento da vida útil do produto. Devendo estar preparada para mudanças e imprevistos. O armazém exerce um papel chave neste contexto, funcionando como um tampão, comportando excedentes e alongando o escoamento da safra. O que faz da unidade armazenadora estrategicamente localizada uma importante vantagem competitiva.

Além do mais, a produção é pulverizada espacialmente e em número de unidades de produção (DE MOL; VAN BEEK, 1991; HARRISON; WILLS, 1983; MARTINS et al., 2005).

Nesse contexto, ferramentas de suporte que dão mais segurança para a tomada de decisão são fundamentais.

A escolha do local ideal é uma decisão pouco frequente, mas que demanda especial atenção, pois a instalação é onerosa, envolve um escopo de planejamento de longo prazo, e, uma vez localizado e construído, o investimento efetuado não é recuperável sem perdas econômicas significativas (BALLOU, 1968, 2006; OWEN; DASKIN, 1998).

No dia-a-dia do agronegócio, decisões têm que ser tomadas em várias áreas – investimento, produção, comercialização, finanças e consumo – com base em conhecimentos técnico-administrativos mais atualizados. Essas decisões podem ter um efeito prolongado e implicações não apenas no período em que são feitas, mas também sobre decisões futuras que poderão ficar condicionadas a compromissos já assumidos.

O governo brasileiro, desde a criação do PRONAZEM em 1974, tem lançado programas de financiamento, buscando incentivar o aumento da capacidade estática da rede de armazenagem nacional, porém há tempos observa-se a baixa adesão de produtores e empresas aos programas, e nas últimas décadas o aumento do déficit de armazenagem (AMARAL, 2005; ROCHA et al., 2014; SILVA; CAMPOS; SILVEIRA, 2008).

A baixa adesão ocorre, em grande parte, devido ao enredamento e à multiplicidades de fatores envolvendo a decisão de aderir ou não aos programas de investimento. À medida que aumentam a complexidade e a incerteza, maior a dificuldade que os tomadores de decisão têm para identificar a alternativa que lhes garanta maior vantagem (BARBOZA; VIEIRA, 2012), e a gama de variáveis que impactam o setor agrícola deixa o ambiente decisório bastante incerto. O preço no mercado internacional, variações cambiais, sazonalidade de produção, alterações climáticas, balanço de oferta e demanda pelo produto e impedências no transporte são alguns exemplos dos fatores interferentes no setor (ROCHA et al., 2014). Soma-se a isso o elevado valor do investimento, questões burocráticas e regras dos programas (ROCHA et al., 2014).

Com relação aos produtores rurais, em especial os pequenos e médios, essa definição se faz ainda mais complexa. Frequentemente falta conhecimento e informação. Vários pequenos produtores não têm ciência do ganho que podem alcançar armazenando os grãos. Por vezes desconhecem os programas de fomento e financiamento do governo, ou mesmo tendo a informação não encontram formas de acessá-los, seja pela falta de aparelhamento para criação de uma cooperativa, ou devido às burocracias mencionadas anteriormente.

Dessa forma, ao se depararem com uma situação de escassez de recursos para investimento na atividade, geralmente os produtores optam por aplicarem seus recursos na etapa

de produção, deixando de lado o investimento na infraestrutura e operações de pós-colheita. Esse procedimento cria um círculo vicioso, por não terem adequadas estruturas de limpeza/seleção, secagem e armazenamento, os agricultores acabam vendendo sua produção na safra, quando a oferta de produtos é grande e os preços são menores, o que causa diminuição das receitas (CAIXETA-FILHO, 2006; MARTINS et al., 2005). Também, porque sem realizar as operações de pré-processamento, tais como limpeza, secagem e seleção, o produto perde valor agregado, recebendo descontos na comercialização. E novamente, por não terem receitas suficientes, não investem em estruturas de pós-colheita na propriedade rural. Com isso, grande parte do que poderia ser o lucro da atividade acaba indo para os intermediários, que então dominam o mercado, ditando os preços de compra dos produtores e de venda aos consumidores. Nessa ciranda, perde o produtor e perde o consumidor, ou seja, perde a sociedade (AMARAL, 2005; ELIAS; OLIVEIRA; VANIER, 2017).

Ainda nessa temática da decisão, (BARBOZA; VIEIRA, 2012) apresentam uma Árvore de Valor da Decisão, na qual estão relacionados os atributos que influenciam na decisão de investir ou não na armazenagem (Figura 3).

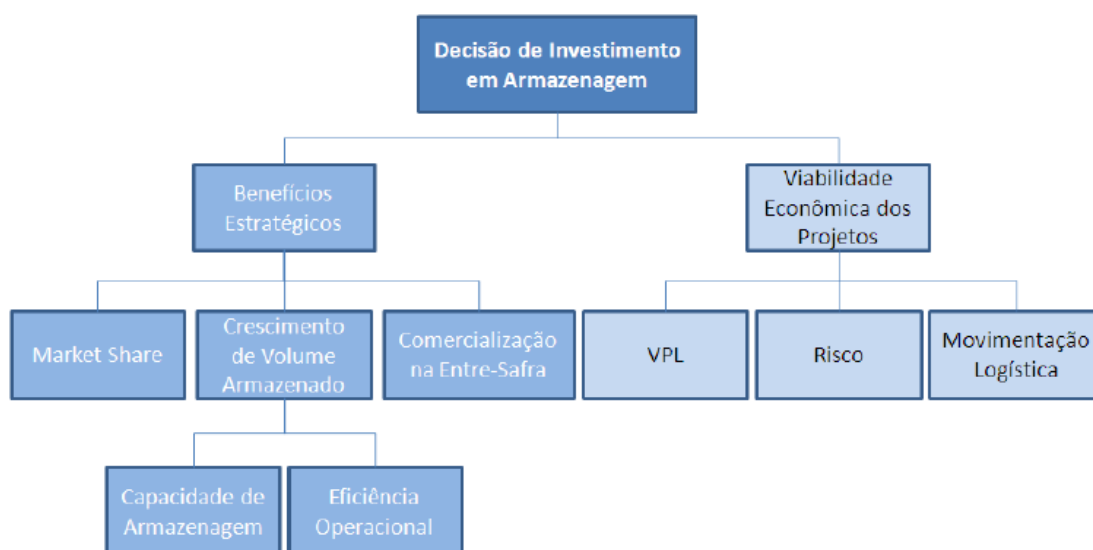


Figura 3. Representação da Árvore de Valor de Decisão.

Fonte: Barboza e Vieira (2012)

Além destes e outros atributos, o grau de integração vertical na cadeia produtiva também é sugerido como fator de influência na decisão de investimento em armazenagem (BNDES, 2013).

1.6 Modelos de Localização de Instalações

A ciência da localização tem sido reconhecida por fornecer valioso suporte aos processos de planejamento, e tem sido utilizada em diversos contextos do setor público e privado (CHURCH; MURRAY, 2008). Essa ciência abrange tanto a análise, quanto a modelagem de dados espaciais, e consiste em determinar o local adequado para posicionar estrategicamente algum empreendimento. O tema vem sendo extensivamente pesquisado, sendo que a teoria da localização data do início do século XVIII, porém poucas aplicações foram desenvolvidas até meados de 1960, momento em que a questão ganha interesse e uma ampla gama de trabalhos começou a ser desenvolvida e publicada (OWEN; DASKIN, 1998). Desde então, o problema de localização de instalações tem sido amplamente tratado na literatura (DREZNER; HAMACHER, 2002; FARAHANI et al., 2014; MAPA; LIMA, 2012; MURRAY, 2010; OWEN; DASKIN, 1998).

Na literatura este problema é denominado de diferentes formas, como alocação de *hub* logístico, localização de facilidade, problema de localização-alocação, problema de localização, determinação de local ótimo, otimização da localização de instalação, avaliação de adequação de áreas, análise multicritério espacial, dentre outras nomenclaturas, dependendo da área, da finalidade e das técnicas empregadas.

Segundo Murray (2010), grandes avanços na capacidade de análise de localização ocorreram com o desenvolvimento de modelos matemáticos e técnicas de otimização. Contribuíram para isso profissionais de vários campos, tendo diferentes perspectivas e pontos de vista sobre problemas espaciais. Além disso, os *softwares* se tornaram mais acessíveis em termos de custo e usabilidade (LIMA, 2003; MURRAY, 2010; VALLIM FILHO, 2004). Surgiram técnicas de solução heurística, que identificam soluções de alta qualidade com pouco tempo de processamento (VALLIM FILHO, 2004). Houve evolução no detalhamento dos modelos e na aproximação da realidade (MURRAY, 2010). E finalmente, boa parte do avanço na modelagem pode ser direta ou indiretamente ligada à maturação dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e à acumulação de conhecimento e dados espacialmente referenciados (LIMA, 2003; MURRAY, 2010).

Revisões notáveis sobre modelos de localização, encontradas em (FARAHANI et al., 2014; MURRAY, 2010; OWEN; DASKIN, 1998; REVELLE; EISELT, 2005; REVELLE; EISELT; DASKIN, 2008) não fornecem uma classificação resumida e acordada sobre os esforços da ciência de localização, pois o campo é amplo, complexo e em evolução; e por isso cada revisão apresenta uma classificação diferente, juntamente com o que foi alcançado até a

data. Sem dúvida isso é um sinal esperado, dado que os modelos de localização são tentativas de resolução de questões práticas de planejamento. As classificações mais recorrentes na bibliografia se baseiam nos seguintes parâmetros:

- abordagem (ranqueamento *versus* otimização);
- número de critérios de avaliação (objetivos simples *versus* múltiplos);
- incerteza (determinístico *versus* estocástico);
- tempo (dinâmico *versus* passo único);
- competição (competitivo *versus* não-competitivo);
- espaço (discreto *versus* contínuo *versus* rede);
- número de objetos/locais (único *versus* múltiplas instalações);
- tipo de solução (exata *versus* heurística).

As tendências indicam que pesquisas futuras devem focar na quantificação e formulação de problemas multi-objetivos (SHEU; LIN, 2012). Já que devido à evolução das tecnologias, aumento da consciência ambiental e o avanço da competitividade logística, aumenta-se a quantidade de critérios considerados. Ao contrário da maioria das pesquisas desenvolvidas até a última década, nas quais, via de regra, a função otimizante tem um único objetivo.

As meta-heurísticas parecem ser atualmente a solução dominante para resolução dos complexos problemas do mundo real (BECCENERI, 2008; FARAHANI et al., 2014). O aumento da complexidade e do tamanho dos problemas de localização das instalações de hoje pode ser a principal força por trás dessa tendência (FARAHANI et al., 2014).

1.7 Modelos de localização na agricultura

Problemas de localização na agricultura apresentam várias características que resultam em níveis crescentes de complexidade e realismo (FREDERICO, 2011; LUCAS; CHHAJED, 2004). Desde o seu surgimento a teoria da localização encontrou demanda por soluções de problemas na agricultura. As características exibidas por problemas de localização agrícola os tornam desafiadores e fornecem um contexto para o desenvolvimento da teoria (LUCAS; CHHAJED, 2004).

A maioria dos problemas de localização na agricultura é de grande escala e escopo. Em primeiro lugar, na maioria dos países, a produção de commodities agrícolas é dispersa e envolve muitos produtores (AN; OUYANG, 2016; CHUN; KIM; KIM, 2012; DE MOL; VAN BEEK, 1991; MARTINS et al., 2005). Em segundo lugar, os problemas de localização na agricultura

são amplos no escopo. Em vez de focar em uma empresa específica ou em uma etapa específica do processo, a maioria dos estudos investiga toda a cadeia e incorpora várias etapas do processo, como produção, armazenamento, processamento e distribuição (FREDERICO, 2011; PATINO et al., 2013; SANTOS; SPROESSER; BATALHA, 2018). Em terceiro, muitos estudos consideram múltiplas *commodities* (CHUN; KIM; KIM, 2012; GUIMARÃES et al., 2017; SANTOS; SPROESSER; BATALHA, 2018).

Devido ao grande tamanho, os problemas de localização na agricultura são de difícil solução, demandando técnicas avançadas e estrutura computacional de ponta. Assim, o desenvolvimento de procedimentos eficientes de solução é crucial, e técnicas heurísticas sofisticadas são frequentemente empregadas (LUCAS; CHHAJED, 2004). Uma alternativa é reduzir o número de variáveis por meio da agregação de dados (DE MOL; VAN BEEK, 1991; GELDERS; PINTELON; VAN WASSENHOVE, 1987). No entanto, se essa agregação supera a limitação computacional, também reduz a precisão do modelo. O desafio enfrentado pelos pesquisadores é encontrar maneiras efetivas de agregar os dados e desenvolver técnicas para minimizar o viés de agregação (FRANCIS; LOWE; TAMIR, 2000). Outra abordagem é decompor, sempre que possível, o problema original de grande porte em subproblemas menores e independentes (GUIMARÃES et al., 2017).

Embora a maioria dos modelos enfatize esses fatores econômicos tangíveis e quantificáveis, modelos de localização na agricultura caracterizam-se por objetivos múltiplos e muitas vezes conflitantes (LUCAS; CHHAJED, 2004).

Outra característica principal do setor agrícola é a presença de variabilidade. A produção de *commodities* agrícolas está sujeita a variações sazonal e geográfica (GUIMARÃES et al., 2017; LUCAS; CHHAJED, 2004).

Enquanto a maioria dos modelos de localização são modelos de período único baseados em uma abordagem estática-determinística, na agricultura, o tempo é um fator importante (LUCAS; CHHAJED, 2004). Incorporar a dimensão temporal permite considerar, além da sazonalidade da produção e dos preços, a perecibilidade, uma característica frequentemente associada às *commodities* agrícolas (NAMBIAR; GELDERS; VAN WASSENHOVE, 1989).

CAPÍTULO 2: Análise espacial da relação entre produção e armazenagem de grãos em Minas Gerais

2.1 Caracterização da oferta de armazenagem em Minas Gerais

A produção agrícola é indubitavelmente importante para a economia brasileira, representando 15,0 % do PIB em 2017 (CEPEA, 2018). Minas Gerais responde por uma importante fatia dessa produção, com o quinto maior valor bruto da produção (VBP) agrícola do país, avaliado em R\$ 40,7 bilhões (MAPA, 2017a). No entanto, limitações de infraestrutura reduzem a competitividade do agronegócio brasileiro (NASCIMENTO et al., 2009; PATINO et al., 2013; SILVA NETO; ARRUDA; BASTOS, 2016).

Assim como muitas regiões do Brasil, Minas Gerais apresentou crescimento significativo da produção de grãos ao longo dos últimos anos. Contudo, a armazenagem, que já parte de uma situação de capacidade estática inferior à produção, não apresentou o mesmo aumento (MARTINS et al., 2005; SILVA NETO; ARRUDA; BASTOS, 2016). Nos últimos 20 anos, a taxa média de crescimento da capacidade estática em Minas foi de 3,7%, enquanto a produção de grãos cresceu 4,7%. Baptista *et al.* (2013) apontam Minas Gerais como umas das unidades da federação aonde a rede de armazenagem não parece ser suficiente para a produção agrícola.

A logística de sistemas agrícolas está frequentemente sujeita a restrições de capacidade (AMARAL; ALMEIDA; MORABITO, 2012; NOGUEIRA JUNIOR; TSUNECHIRO, 2005), incerteza e sazonalidade (BARBOZA; VIEIRA, 2014; MARTINS et al., 2005), demandando rotas alternativas e estruturas de armazenamento para superar essas adversidades.

O objetivo deste capítulo é analisar a situação da armazenagem no estado de Minas Gerais, por conseguinte identificar as áreas que apresentam os maiores déficits de armazenagem e que, portanto, demandam mais investimentos. Para tanto partiu-se da hipótese que existe correlação entre produção e armazenamento de grãos, e por meio de um modelo da regressão espacial local, identificou-se as áreas que apresentam os maiores desvios da capacidade estática esperada em função do volume de produção, ou seja, que apresentam os maiores déficits ou excedentes de capacidade de armazenamento. Buscou-se, ainda, explorar os relacionamentos espaciais para ajudar a explicar os fatores por trás dos padrões espaciais observados.

A Regressão Geograficamente Ponderada (em inglês *Geographically Weighted Regression – GWR*) é aplicada para analisar padrões espaciais em diversas áreas como aspectos sociais da recreação ao ar livre (LEE et al., 2017), ecologia (SHEEHAN; STRAGER; WELSH,

2013), transportes (CARDOZO; GARCÍA-PALOMARES; GUTIÉRREZ, 2012; YANG et al., 2017), uso da terra e mercado imobiliário (HARRIS; DONG; ZHANG, 2013; LIANG et al., 2018; WANG; CHEN, 2017), entre outras. De fato, uso de GWR como um preditor tem atraído muita atenção (HARRIS; BRUNSDON; FOTHERINGHAM, 2011).

Nesse capítulo, a GWR é utilizada para além de prever a demanda por armazenagem e analisar os padrões espaciais. A regressão também foi aplicada para identificar as áreas que apresentam desvios, sejam eles positivos ou negativos, na capacidade de armazenamento demandada.

2.2 Materiais e Métodos

A localização da área de estudos, a distribuição da produção de grãos e também a localização das unidades armazenadoras são apresentados na Figura 4. O modelo foi aplicado no estado de Minas Gerais, cujas unidades espaciais de análise foram os limites municipais. A produção foi dividida em seis classes pelo método de quebras naturais Jenks. Na legenda, entre parênteses são apresentados o número de municípios em cada classe. A partir da observação da Figura 4 pode-se inferir a razão da hipótese levantada, de dependência espacial entre a capacidade estática de armazenamento e a produção de grãos.

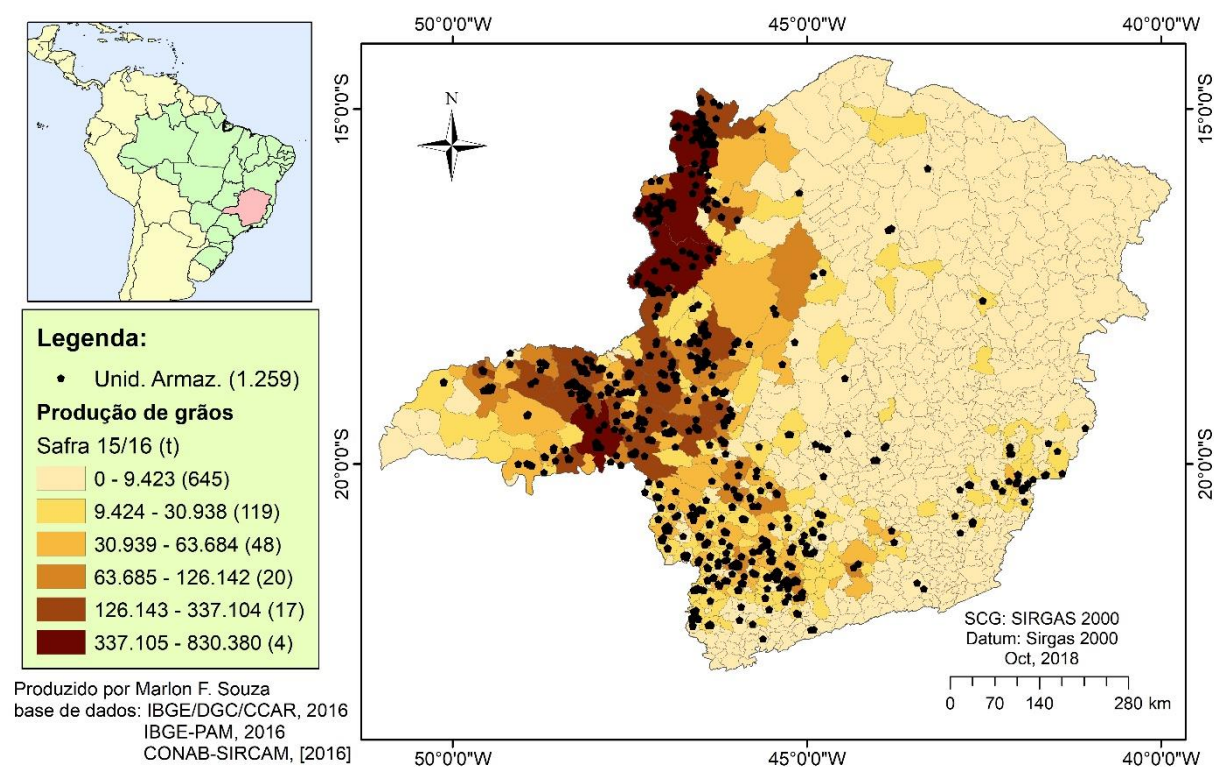


Figura 4. Distribuição da produção de grãos e também a localização das unidades armazenadoras de Minas Gerais cadastradas no SICARM/CONAB.

O estado se destaca pela diversificação e tradição da produção agrícola (IBGE, 2017a), com grande variedade de grãos produzidos e armazenados, como por exemplo, café, milho, sorgo, feijão e soja. Por isso os sistemas de armazenamento predominantes são convencionais, em especial armazéns gerais usando sacaria, que permitem armazenar diferentes grãos simultaneamente. O estado possui 3,1 milhões de capacidade estática do tipo convencional, utilizada basicamente para armazenamento de café (CONAB, 2017b).

A base cartográfica consiste da carta topográfica na escala operacional de 1:250.000 da malha de municípios do estado de Minas Gerais, de acordo com a estrutura político-administrativa vigente em 01/07/2015. Os dados utilizados são da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) de 2016, realizada pelo IBGE, referente à produção agrícola do ano safra 15/16. Foram considerados os dados de produção em toneladas de Amendoim (em casca); Arroz (em casca); Aveia (em grão); Centeio (em grão); Cevada (em grão); Feijão (em grão); Girassol (em grão); Mamona (baga); Milho (em grão); Soja (em grão); Sorgo (em grão); Trigo (em grão); Triticale (em grão) e Café. Os dados de armazenagem foram obtidos no Sistema de Cadastro Nacional de Unidades Armazenadoras (SICARM) da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2016) no nível da unidade armazenadora (1.259 no total) e foram agregados (capacidade estática e número de armazéns) ao nível de município.

O sistema de coordenadas foi previamente alterado para um sistema cônico equidistante, cuja característica de preservação das distâncias previne eventuais problemas de operação em ferramentas de geoprocessamento como o cálculo da regressão espacial e da densidade de armazenagem (MITCHEL, 2005; SNYDER, 1987). Adotou-se o *South America Equidistant Conic*. Os softwares empregados foram ArcGIS 10.4, GeoDa 1.10.0.8 e Microsoft Excel 2016.

Preliminarmente, para verificar a hipótese que a capacidade estática é determinada pela produção de grãos foram feitos testes de correlação, Pearson e Spearman, entre as variáveis. Além disso, um pseudo-teste de correlação espacial foi realizado, assim como em Valente et al. (2014) e Zhang et al. (2018) utilizando o software livre GeoDA (ANSELIN; SYABRI; KHO, 2006), devido a identificação de dependência espacial dos dados de armazenagem (ZHANG et al., 2018). Primeiro foi calculado o índice de Moran bivariado global para analisar a correlação geral. Seguido pelo I de Moran bivariado local, realizado com base no peso de contiguidade da rainha com vizinhança de primeira ordem e visualizado na forma de mapas de *cluster*. O nível de pseudo-significância do I de Moran bivariado local foi testado usando a abordagem de randomização condicional (999 permutações) baseada no método de Monte Carlo (ANSELIN; SYABRI; KHO, 2006). O mapa de agrupamento foi dividido em quatro classes: agrupamento

alto-alto e baixo-baixo (correlações espaciais positivas) e alto-baixo e baixo-alto (correlações espaciais negativas) (ANSELIN; SYABRI; KHO, 2006).

Na análise espacial exploratória, foi feita a caracterização da dependência espacial, que mostra como os valores estão correlacionados no espaço. Para verificar a existência de autocorrelação espacial da variável capacidade estática de armazenagem foi realizado o I de Moran univariado, conforme apresentado por Anselin, Syabri e Kho (2006), utilizando valores de distância euclidiana, relação espacial fundamentada no inverso da distância e limiar de pesquisa de vizinhança determinado individualmente para que cada ponto tenha pelo menos um vizinho. Para completar a análise exploratória dos dados e identificação de parâmetros foi feita a regressão global dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), em inglês *Ordinary Least Squares* (OLS), para identificar o comportamento global dos dados, já que a análise de regressão realizada na sequência (GWR) é local. O modelo foi ajustado aos dados de produção (única variável explicativa do modelo) agregados a nível de município.

O modelo de regressão local aplicado foi a GWR, proposta por Brunson, Fotheringham e Charlton (1996). O GWR é utilizado para modelar processos heterogêneos não estacionários espacialmente. Foram definidas, como variável dependente a capacidade estática de armazenamento e como variável explicativa a produção. O tipo de *Kernel* foi definido como fixo. O método de largura de banda foi AICc (Critério de Informação de Akaike corrigido). Não foram utilizados pesos e todas as outras configurações de ambiente foram mantidas como *default*. Os resultados da GWR foram analisados pela Soma dos Quadrados dos Resíduos, e pelo coeficiente de determinação (R^2) global e local. Especial atenção foi dada a análise dos resíduos padronizados para identificar os municípios com excedente e déficit de armazenagem, em relação a capacidade estática prevista pela regressão em função da produção de grãos local.

O uso de modelos de regressão espacial que incorporam a questão da dependência espacial dos dados é fundamental e proeminente, pois permite a consideração da problemática da autocorrelação espacial existente neste tipo de estudo (CHUN; KIM; KIM, 2012; FISCHER; GRIFFITH, 2008; KERKMAN; MARTENS; MEURS, 2018).

Para avaliar e validar a metodologia proposta, as áreas de déficit ou excedente de armazenagem foram comparadas com aquelas obtidas através do cálculo da oferta de armazenagem. Metodologia proposta por Souza, Nóbrega e Guimarães (2018), que consiste em um balanço, calculado por município, entre quantidade produzida e capacidade dinâmica de armazenamento, seguido de uma análise de *kernel* da oferta encontrada. Para mais informações ver o MATERIAL SUPLEMENTAR.

2.3 Resultados e Discussão

A capacidade estática de armazenamento dos municípios mineiros vai de inexistente, em várias localidades, até 1.501.812 toneladas em Uberlândia. Líder com folga neste quesito, Uberlândia tem 3,1 vezes mais capacidade estática que o segundo município com maior capacidade de armazenamento (Araguari). Uberlândia é também o município com maior quantidade de unidades armazenadoras (73 no total), seguido por Buritis (54) e Unaí (44). Já a produção de cereais, leguminosas, oleaginosas e café varia de zero em 14 municípios (12 destes localizados na Região Metropolitana de Belo Horizonte) até 830.380 toneladas em Unaí.

A correlação entre capacidade estática e produção apresentava-se como positiva e linear, conforme indicado pelo coeficiente de correlação de Pearson de 0,606 e pelo coeficiente de Spearman 0,578. Entretanto, devido à existência de dependência espacial dos dados (apresentada a seguir) um pseudo-teste de correlação, I de Moran bivariado, foi aplicado. Os resultados do índice (local e global) são apresentados na Figura 5. À esquerda o mapa de significância do teste (acima) e o mapa de agrupamento (abaixo) do teste local, e à direita o *scatterplot* do pseudo-teste global. O I de Moran global bivariado da capacidade estática defasada em função da produção é de 0,2979.

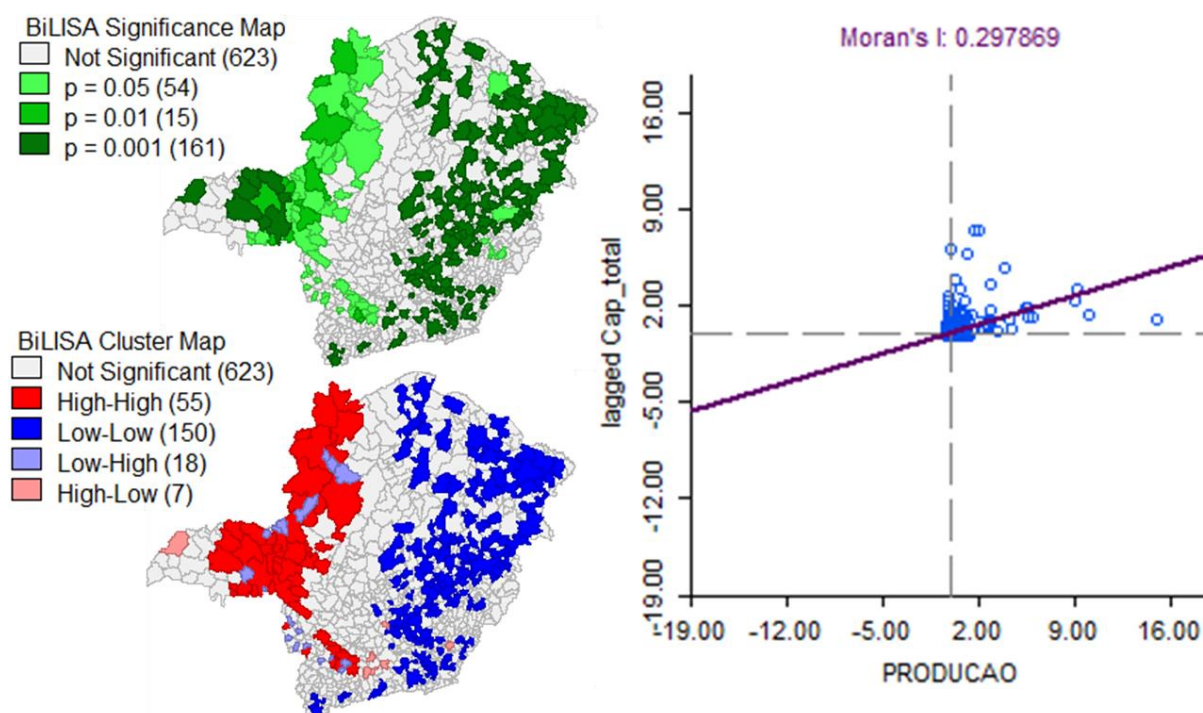


Figura 5. I de Moran local bivariado e *scatterplot* entre variáveis para o índice global.

Tanto na unidade espacial pontual, indicando a localização de cada unidade armazenadora, quanto agregados por município, os dados de capacidade estática de armazenamento apresentaram autocorrelação espacial, com um padrão de agrupamento espacial (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da estatística I de Moran global para a capacidade estática de armazenamento.

Indicador \ Nível dos dados	Pontual	Agregado a nível de município
Índice de Moran	0,122324	0,041101
Índice esperado	-0,000795	-0,001174
Variância	0,002754	0,000065
z-score	2,346037	5,228092
Valor-p	0,018974	0,000000
Dist. limite de pesquisa de vizinhança (km)	107,196	66,553

Na regressão OLS, o R^2 foi de 0,367 e o R^2 ajustado 0,366, um ajuste relativamente baixo. O AICc para o modelo foi 20.956,92. A Estatística Joint Wald, que compara a estimativa de máxima verossimilhança entre os parâmetros do modelo e a estimativa do erro padrão, indicou significância global do modelo. O teste Konker (Breusch–Pagan) foi 45,849 ($> \chi^2$), indicando que a relação modelada não é consistente, devido a não-estacionariedade ou heterocedasticidade, o que pode ser um indício que o modelo de regressão adequado para o conjunto de dados é local. Ou seja, corroborando a utilização da GWR. O teste Jarque-Bera, teste de frequência e normalidade que utiliza como parâmetros os coeficientes de curtose e assimetria, foi estatisticamente significativo apontando que as previsões do modelo podem estar enviesadas, pois os resíduos não são normalmente distribuídos. Portanto não foram atendidos os pressupostos do método OLS.

Também foi calculado o I de Moran dos resíduos da regressão, afim de verificar se os resíduos são espacialmente auto correlacionados. Obteve-se um Moran de 0,009277 e valor-p: 0,155691, sugerindo que o padrão de distribuição espacial não parece ser significativamente diferente da distribuição randômica, o que não é um bom indicativo para considerar uma regressão espacial consistente.

Os parâmetros gerais da GWR são apresentados na Tabela 2. O R^2 local de ajuste do modelo pode ser observado na Figura 6. O R^2 global foi de 0,687, enquanto o R^2 local variou

de 0,00 até 0,99. O modelo local apresentou um ajuste razoável, considerando o padrão dos resíduos do modelo (Figura 7A).

Tabela 2. Resumo da estatística da regressão GWR.

Variável	Valor
Largura de banda (m)	66.546,5179
Soma dos Quadrados dos Resíduos	1,1475 x10 ¹²
Sigma	39.004,1035
AICc	20.505,4496
R ²	0,6870
R ² Ajustado	0,6464

A regressão não apresentou problemas de multicolinearidade local, com os valores dessa condição variando de 1,274 a 3,019 para todos os municípios. A Soma dos Quadrados dos Resíduos apresentou um valor alto, indicando grande dispersão dos dados. A GWR apresentou uma significativa melhora nos resultados obtidos em comparação ao modelo de regressão global (OLS).

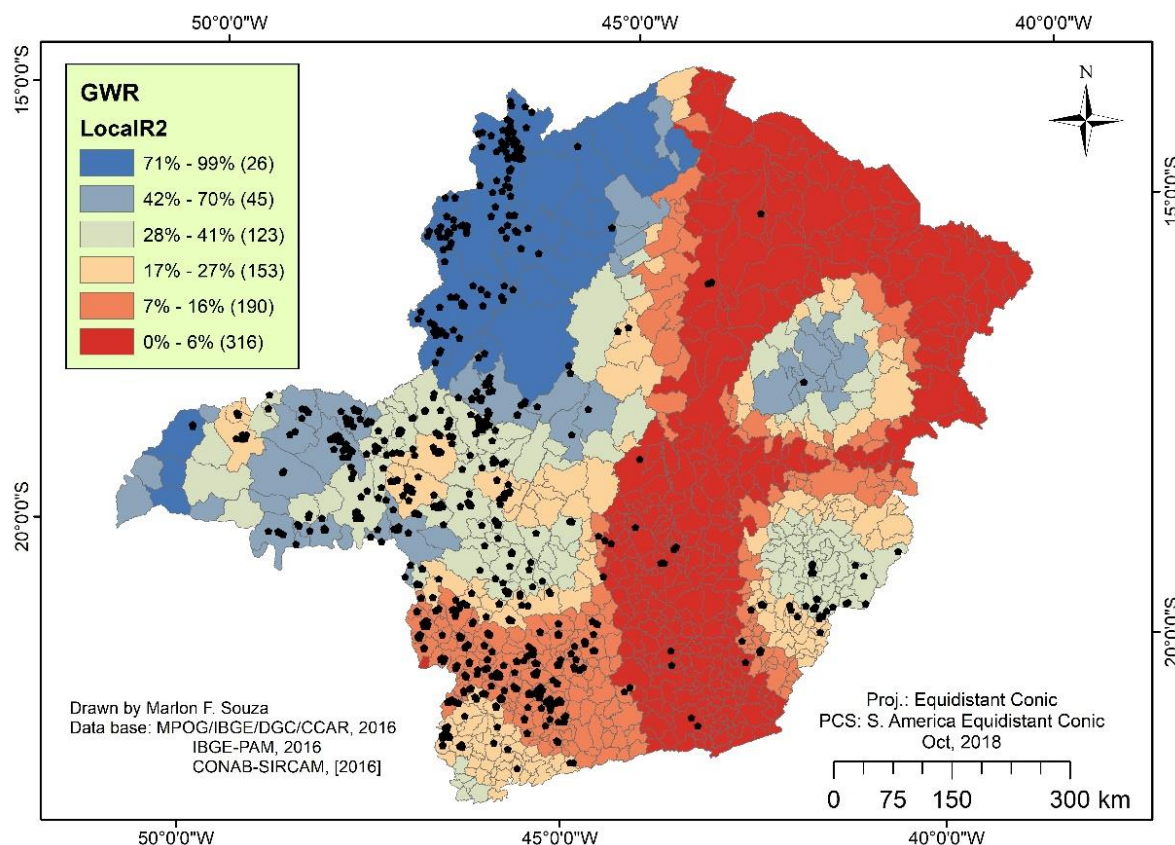


Figura 6. R² local da GWR da capacidade estática em função da produção.

Assim como na regressão OLS não há uma formação de agrupamentos bem definida nos resíduos padronizados da GWR. Tal resultado indica a inexistência de regiões com concentração de déficit ou excedente de capacidade estática de armazenamento. Pelo contrário, há um padrão de dispersão fraca, apontado pelo I de Moran de -0,017923 e valor-p: 0,043162.

Na Figura 6 observa-se que, com exceção da região Sul do estado, as áreas que apresentam maior volume de produção de grãos e unidades armazenadoras foram as que obtiveram melhor ajuste do modelo (R^2 local), indicando que se excluídos os municípios que tem um baixo nível de produção e não possuem armazéns o modelo pode melhorar.

A Figura 7 mostra a representação espacial dos resíduos padronizados da GWR (A) e o balanço da oferta de armazenagem (B), permitindo a comparação dos resultados pelos dois métodos. Na Figura 7A a maioria dos municípios (768) apresentaram resíduo padronizado entre -0,5 e 0,5 desvio padrão (DP). Ou seja, o modelo se aproximou das observações da maior parte dos dados. Sendo que sete municípios (Uberlândia, Varginha, Patrocínio, Guaxupé, São Sebastião do Paraíso, Araporã e São Gotardo) apresentam resíduo acima de 2,5 DP, indicando capacidade estática de armazenamento acima do esperado para a sua produção. Outras seis municipalidades (Uberaba, Monte Alegre de Minas, Tupaciguara, Perdizes, Indianópolis e Coromandel) precisam de atenção, pois apresentaram desvios negativos além de -2,5 DP. Ou seja, apresentam déficit significativo.

Já na determinação dos desvios pela oferta de armazenagem, considerando a capacidade dinâmica (capacidade estática ponderada pelo giro de estoques e fator de redução de demanda) conforme Souza, Nóbrega e Guimarães (2018), a situação mais crítica é encontrada no Noroeste de Minas (Figura 7B). Lá estão o primeiro (Unaí), terceiro (Paracatu) e quarto (Guarda-Mor) maiores déficits. O déficit de armazenagem de todo estado, através dessa metodologia, é pouco superior a 2 milhões de toneladas (SOUZA; NÓBREGA; GUIMARÃES, 2018). A maior parte dos municípios (772) está na classe com oferta entre - 30.000 a 30.000 toneladas, ou seja, de situação confortável à administrável. Entretanto a maioria apresenta algum nível de déficit (capacidade estática menor que a produção de grãos).

Na mesorregião Noroeste observa-se uma concentração de oferta de armazenagem deficiente (Figura 7B), com formação de agrupamento, confirmado pela análise de *kernel*, que pode impactar na competitividade do agronegócio. Entretanto, na mesma região não há formação de agrupamentos nos resíduos padronizados da GWR, o que pode indicar que o núcleo não é válido. Em geral, as áreas se alternam entre déficit e excedente, apesar da prevalência de área deficitária (Figura 7).

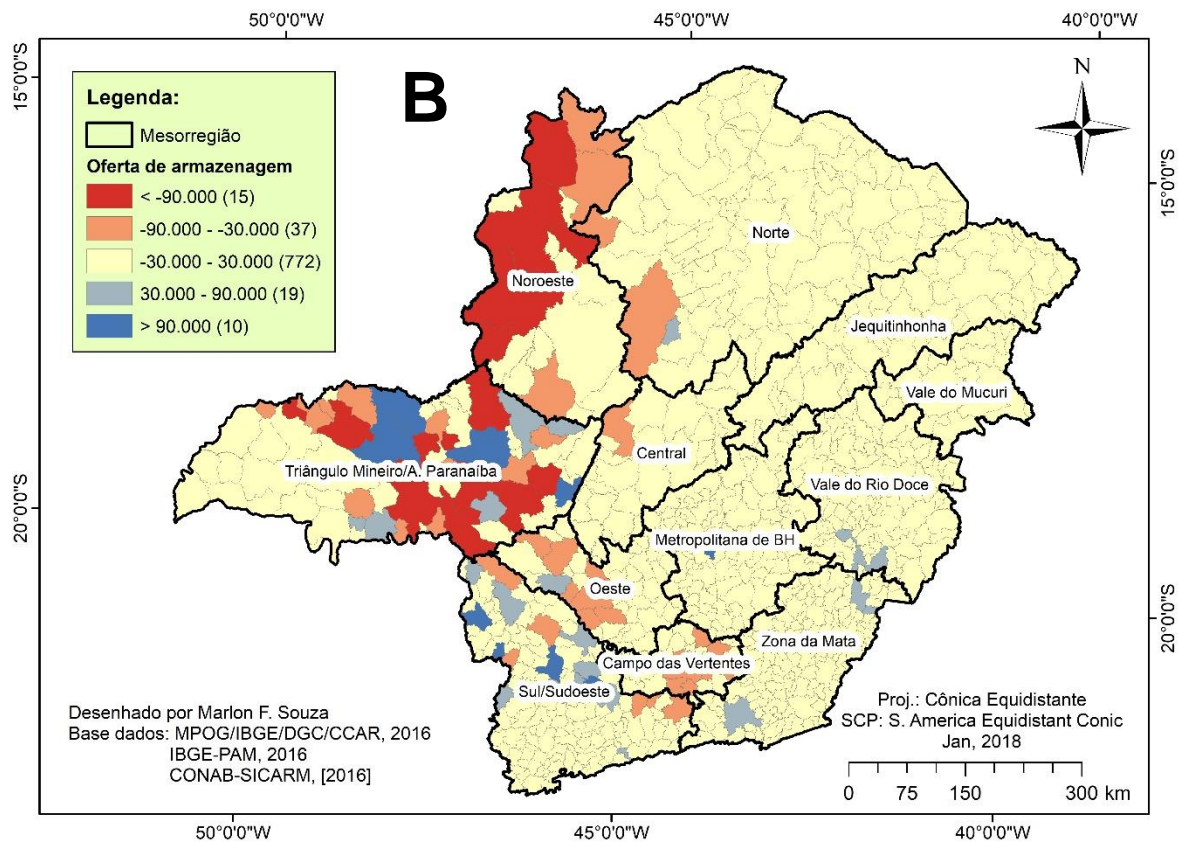
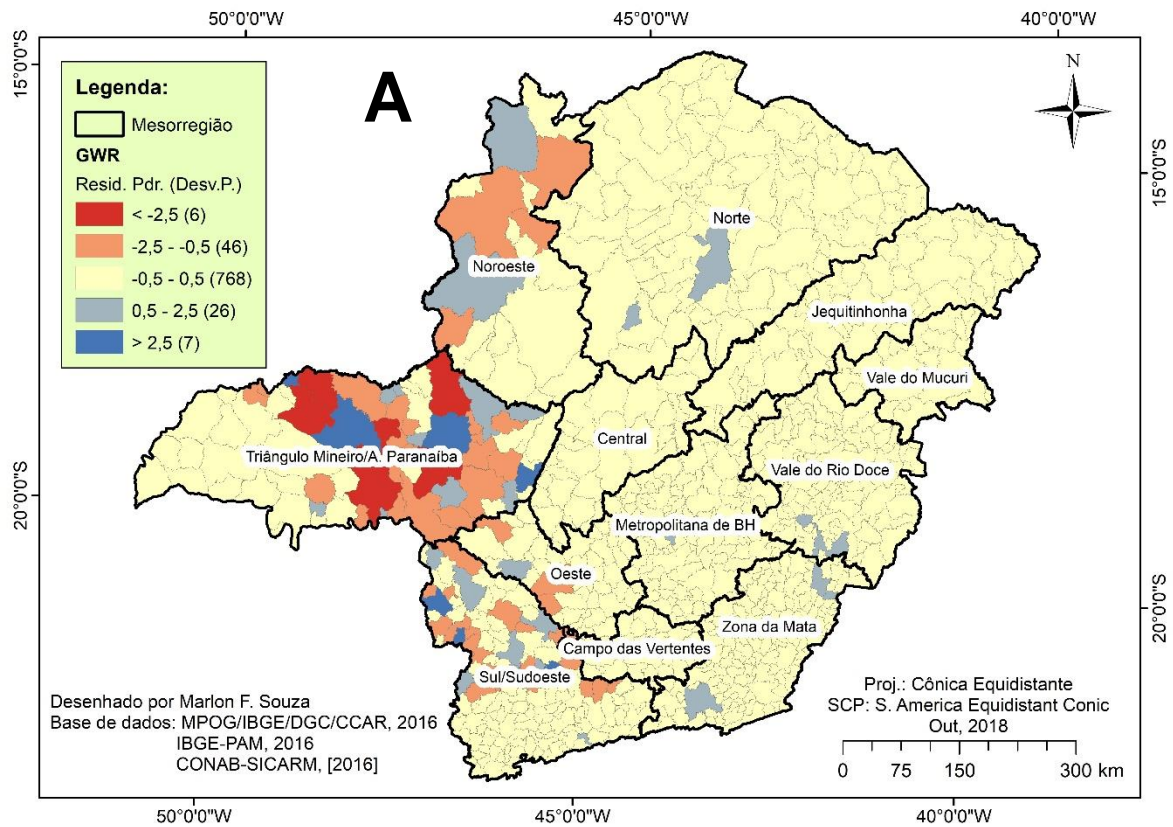


Figura 7. Resíduos padronizados da GWR da capacidade estática pela produção (A) e distribuição espacial da oferta de armazenagem em Minas Gerais (B).

As localidades com excedente de capacidade estática são, em geral, importantes polos de distribuição e comercialização de *commodities* agrícolas, ou têm uma produção agrícola muito pequena. Já as cidades com capacidade estática abaixo do esperado situam-se no entorno destes polos logísticos, principalmente no Triângulo Mineiro. Nesse caso a produção vai direto da lavoura para a exportação, ou para as unidades de processamento. Nesses municípios, a distância percorrida pelos grãos é geralmente maior do que o recomendado, porém em boa parte das vezes o grão não terá que ser transportado novamente, pois já se encontrará em uma fábrica ou transbordo.

Quando comparamos os mapas obtidos pela metodologia de oferta de armazenagem e pela metodologia de resíduos padronizados da GWR (Figura 7) é possível notar que as regiões identificadas como deficientes ou supercapacitadas em estruturas de armazenagem pelas diferentes metodologias são próximas, reforçando a confiança dos resultados obtidos por meio da GWR.

2.4 Considerações do Capítulo 2

O modelo de regressão ajusta a equação baseado nos dados de produção agrícola e armazenagem observados. Como a maioria dos municípios possui algum nível de déficit, isso é assumido como natural e incorporado ao modelo. Talvez por isso os desvios observados a partir da GWR sejam menos acentuados. O que não quer dizer que a situação seja confortável. Dos 853 municípios estudados, 785 apresentam algum nível de déficit de armazenagem (capacidade estática menor que a produção de grãos). A análise proposta serve para identificar grandes desvios de capacidade estática entre os municípios mineiros e a formação de agrupamentos espaciais destes desvios, o que não foi observado na GWR.

Já no *kernel* calculado com base na oferta de armazenagem foram observados agrupamentos. Entretanto, os núcleos de déficit de armazenagem eram, na maioria das vezes, justificados pela proximidade de um núcleo com excedente de armazenagem. Apesar de não ser crítica, a situação da armazenagem em Minas Gerais, especialmente na mesorregião Noroeste, merece atenção.

Importante informar que a base de dados de armazéns não possui todas as unidades existentes, faltando principalmente aquelas localizadas dentro das propriedades rurais, o que poderia oferecer dados adicionais à análise.

A incorporação de mais variáveis explicativas pode melhorar a explicação deste modelo. Apesar da capacidade estática de armazenamento ser explicada pela produção, pois para a

construção de uma unidade armazenadora é preciso que a produção seja suficientemente grande para gerar excedente armazenável, a lógica da inserção dessas novas variáveis é baseada na premissa que os armazéns são necessários tanto onde os grãos são produzidos quanto onde são consumidos, equalizando assim a logística na cadeia. Novos estudos devem considerar a incorporação de Centros de Integração Logística (CIL), plantas industriais de processamento e polos comerciais como variáveis explicativas do modelo. Também é interessante avaliar a possibilidade de exclusão de áreas inaptas à produção de grãos no modelo, uma vez que muitos municípios apresentam produção insignificante para justificar a instalação de estruturas de armazenamento de maior porte, e não têm perspectivas de mudança de cenário.

CAPÍTULO 3: Análise multicritério espacial para mapeamento de áreas adequadas para instalação de armazéns

3.1 Caracterização do problema de identificação das áreas adequadas para investimento em unidades armazenadoras de grãos

Devido à evolução das tecnologias e o avanço da competitividade, na grande maioria dos sistemas produtivos, mudou-se a forma de determinação da margem de lucro. O lucro passou a ser a variável dependente, enquanto o preço final dos produtos é estipulado pelo mercado, em função das relações entre oferta e demanda. Neste contexto, o gerenciamento dos custos logísticos é essencial para a competitividade e sobrevivência no mercado (MARTINS et al., 2005). No agronegócio, esse gerenciamento se faz ainda mais importante, considerando que os custos logísticos podem representar de 20 a 60% do preço final de produtos agrícolas (SHEPHERD, 2013).

Assim, uma estratégia amplamente utilizada para reduzir os custos logísticos em commodities agrícolas é a estocagem de parte da safra para transporte em momento mais oportuno (MARTINS et al., 2005; NASCIMENTO et al., 2009; ROCHA et al., 2012), e que sozinho já pode justificar o investimento em armazenagem. Todavia, além disso, a unidade armazenadora possibilita agregação de valor com a limpeza, secagem e classificação; e também cumpre funções essenciais para a gestão da cadeia logística, com a disponibilização do produto no tempo e quantidade adequados, estabilizando a cadência de transporte e equalizando oferta e demanda. Isso faz do armazém o pivô de um sistema logístico agrícola (FREDERICO, 2011; RAO et al., 2015), o que aumenta a importância da sua localização. Uma vez que a localização impacta na eficiência operacional e financeira do armazém (MARTINS et al., 2005; RAO et al., 2015; SINGH; CHAUDHARY; SAXENA, 2018; VALLIM FILHO; GUALDA, 2014).

A maioria dos estudos relacionados ao armazenamento foca nas operações unitárias, características construtivas e estruturais, controle de custos operacionais, conservação dos grãos armazenados e no controle de pragas (CHIGOVERAH; MVUMI, 2016; DINIZ; NASCIMENTO, 2006; FARONI et al., 2009; JIAN; NARENDRAN; JAYAS, 2019; MARTINS et al., 2005; NASCIMENTO et al., 2009; SAKKA; ATHANASSIOU, 2018; VALENTE, 2007; entre vários outros). Entretanto a localização afeta diretamente a quantidade de produto que pode ser recebida na unidade armazenadora, resultando em maior ou menor taxa de ocupação. Sendo que aumento da taxa, representada pelo índice de ocupação (IO), reduz exponencialmente o custo de armazenamento da unidade (VALENTE et al., 2011). Além disso,

a variação regional de preço dos insumos afeta diretamente os custos, interferindo diretamente na operação da unidade (SINGH; CHAUDHARY; SAXENA, 2018; VALENTE et al., 2011). Martins *et al.*(2005) avaliam as vantagens financeiras de investimento em armazenagem; Barboza e Vieira (2014) tratam dos fatores que afetam a localização de armazéns, contudo não foram encontrados estudos ou Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) com produção de mapas de adequação e ranqueamento de regiões mais apropriadas para construção de armazéns.

Este capítulo busca suprir essa lacuna, fazendo uma Avaliação de Adequação de Áreas (AAA) para construção de um armazém graneleiro através Análise Multicritério Espacial (AMCE) (LIGMANN-ZIELINSKA; JANKOWSKI, 2014; RAHMAN et al., 2013) com seleção das variáveis a partir de consultas à bibliografia e especialistas da área (BOLTURK et al., 2016), aplicação do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para determinação dos pesos (SAATY, 2008).

Segundo Ballou (2001) e Sopha *et al.*(2016), diversos fatores, tais como acessibilidade, proximidade dos centros de produção e/ou consumo e presença de competidores, precisam ser considerados no processo de escolha do local para construção de uma instalação logística, o que sugere a utilização da AMCE na seleção dos locais mais adequados. Devido às suas característica de composição, a AMCE têm sido empregadas em diversas áreas do conhecimento e para diversas finalidades (LIGMANN-ZIELINSKA; JANKOWSKI, 2014; MOURA; JANKOWSKI; COCCO, 2016; RAHMAN et al., 2013; SOPHA et al., 2016).

O ambiente de negócios sob o qual uma rede da cadeia de suprimentos agrícolas (em inglês, *Agricultural Supply Chain Network* - ASCN) operará no futuro é geralmente desconhecido. Na melhor das hipóteses, vários cenários futuros plausíveis podem ser considerados (KLIBI; MARTEL; GUITOUNI, 2010). Procurando gerenciar parte da incerteza à qual o setor está submetido foram realizadas análises de incerteza (AI) e sensibilidade (AS) do modelo e dos resultados obtidos, através do *script* iUSA (*Integrated Uncertainty and Sensitivity Analysis*) desenvolvido por Ligmann-Zielinska e Jankowski (2014).

A análise de sensibilidade é usada para identificar a contribuição de cada critério para o resultado (BETRIE et al., 2013). Análises de sensibilidade são frequentemente realizadas usando a Simulação de Monte Carlo (SMC) e um método de classificação das correlações é aplicado aos resultados da SMC, a fim de identificar a contribuição dos critérios para o resultado (TESFAMARIAM; RAJANI; SADIQ, 2006). Outros métodos como a OWA (*Ordered Weighted Average*) (RAHMAN et al., 2013; RAMOS, 2000; TEFAMARIAM; SADIQ, 2008) e o OAT (*One- Factor-At-A-Time*) (CHEN; YU; KHAN, 2010, 2013) também são utilizados,

sendo o OAT o método mais popular (CROSETTO; TARANTOLA, 2001; LIGMANN-ZIELINSKA; JANKOWSKI, 2014).

Já a incerteza é sempre um fator que piora qualquer modelo de suporte à decisão e dilui os objetivos planejados de tais modelos. Portanto, reduzir o impacto da incerteza é uma importante vertente de pesquisa (LI et al., 2014). Uma consequência direta da incerteza mencionada é o risco, e de fato um não existe sem o outro (CAVINATO, 2004). Portanto, o gerenciamento de risco também é um dos muitos objetivos em uma cadeia de suprimento de alimentos, o que afetará o desempenho da cadeia e as decisões associadas a serem tomadas (LI et al., 2014).

Independentemente do método específico de análise de sensibilidade usado, Ligmann-Zielinska e Jankowski (2014) argumentam que o requisito mais essencial de uma análise abrangente de incerteza e sensibilidade de modelos de adequação e seus respectivos resultados, é que ela deve ser realizada de maneira espacialmente explícita, como em Ligmann-Zielinska e Jankowski (2014) e Rahman *et al.* (2013). Dada a natureza espacial da referida modelagem, na qual as camadas espaciais de entrada contribuem diretamente para a geração de mapas de adequação de saída, os resultados das análises de incerteza e sensibilidade também devem ser representados em formato espacial.

O estado de Minas Gerais possui a quinta maior capacidade estática de armazenamento do Brasil (CONAB, 2017b), mas ainda assim possui déficit de armazenagem. O déficit é mais grave em algumas áreas devido ao descasamento espacial entre capacidade de armazenamento e produção de grãos apresentado no Capítulo 2 e também por Souza; Nóbrega e Guimarães (2018). Por este motivo Minas Gerais foi selecionado para aplicação do modelo.

O objetivo deste capítulo foi identificar as regiões de maior adequação para construção de novas unidades de armazenamento de grãos, a partir de uma abordagem holística e prática, que integrasse os diversos fatores que necessitam ser considerados na seleção do local adequado. Para isso foi construída uma Superfície Integrada de Adequação para Construção de Armazéns (SIACA) através de uma AMCE. Destacando a importância da identificação apropriada dos principais fatores interferentes, foi feita uma nuvem de palavras a partir dos critérios considerados por outros autores, e também uma análise de sensibilidade das variáveis do modelo. Além disso, os riscos/incertezas associados aos resultados da AMCE foram avaliados.

3.2 Área de estudos

Minas Gerais é o quarto maior estado do Brasil em área territorial, com 586.520,732 km² (IBGE, 2017b) e o segundo em número de habitantes, com 21.119.536 pessoas (IBGE, 2017c). Localizado na região Sudeste do país, seu território é subdividido em 853 municípios.

Detentor do terceiro maior PIB do país, R\$ 519.326 milhões em 2015 (FJP, 2017a). Minas Gerais tem acumulado sucessivas variações negativas em volume de PIB em relação ao ano anterior, -0,7% em 2014, -4,3% em 2015 e -2,0% no ano de 2016, além de reduzir sua participação no PIB nacional ao longo da última década (FJP, 2017b). Apesar disso, em 2016, o setor agropecuário foi o responsável por atenuar a queda da atividade econômica em comparação com a economia nacional.

O resultado positivo do PIB agropecuário mineiro (6,6%) se deve a robusta expansão na quantidade produzida de café e soja, os dois principais produtos da pauta agrícola (FJP, 2017b). O crescimento significativo da produção de grãos ao longo dos últimos anos, porém, não foi acompanhado pelo crescimento da armazenagem (Figura 8). Considerando os últimos 20 anos, a taxa média de crescimento da capacidade estática foi de 3,7% ao ano, enquanto a produção cresceu 4,7% a.a. Apesar da capacidade estática mineira ter apresentado crescimento expressivo de 107% de 1998 a 2017, a produção de grãos cresceu incríveis 154%. Sendo que a produção chegou a aumentar em 1.803.600 t (42,7%) de 89/90 para 90/91, enquanto o maior incremento da capacidade estática foi de 1.540.100 t (32,9%) de 2003 para 2004 (CONAB, 2017a, 2017c).

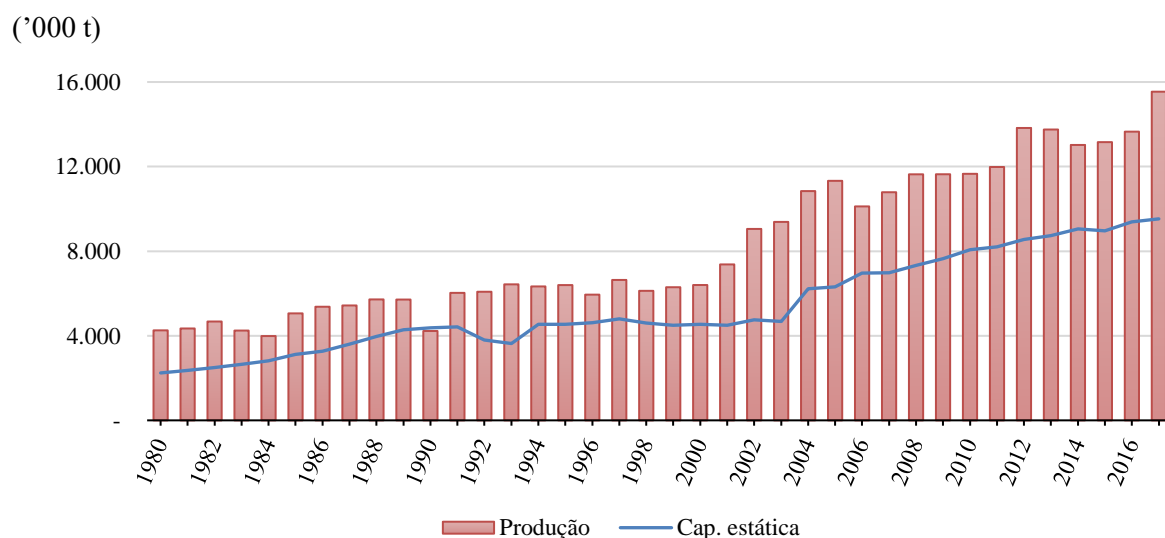


Figura 8. Variação da quantidade produzida e da capacidade estática de armazenamento de grãos em Minas Gerais de 1980 a 2017.

Considerando a recomendação da FAO para que a capacidade estática de armazenamento seja pelo menos 20% superior a produção de grãos (FAO; OECD, 2011), Minas Gerais apresentou em 2016 um déficit de 6,5 milhões de toneladas de capacidade de armazenamento, pois possui 9.528.286 t de capacidade estática (CONAB, 2016) perante uma produção de 13.364.105 t (IBGE, 2017a). Mesmo quando considerando a capacidade dinâmica, Souza; Nóbrega e Guimarães (2018) apontam um déficit de aproximadamente 2 milhões de toneladas.

As principais rodovias e as unidades armazenadoras de grãos de Minas Gerais cadastradas no Sistema de Cadastro Nacional de Unidades Armazenadoras (SICARM-CONAB) são apresentadas na Figura 9, juntamente com a distribuição da produção de grãos no estado.

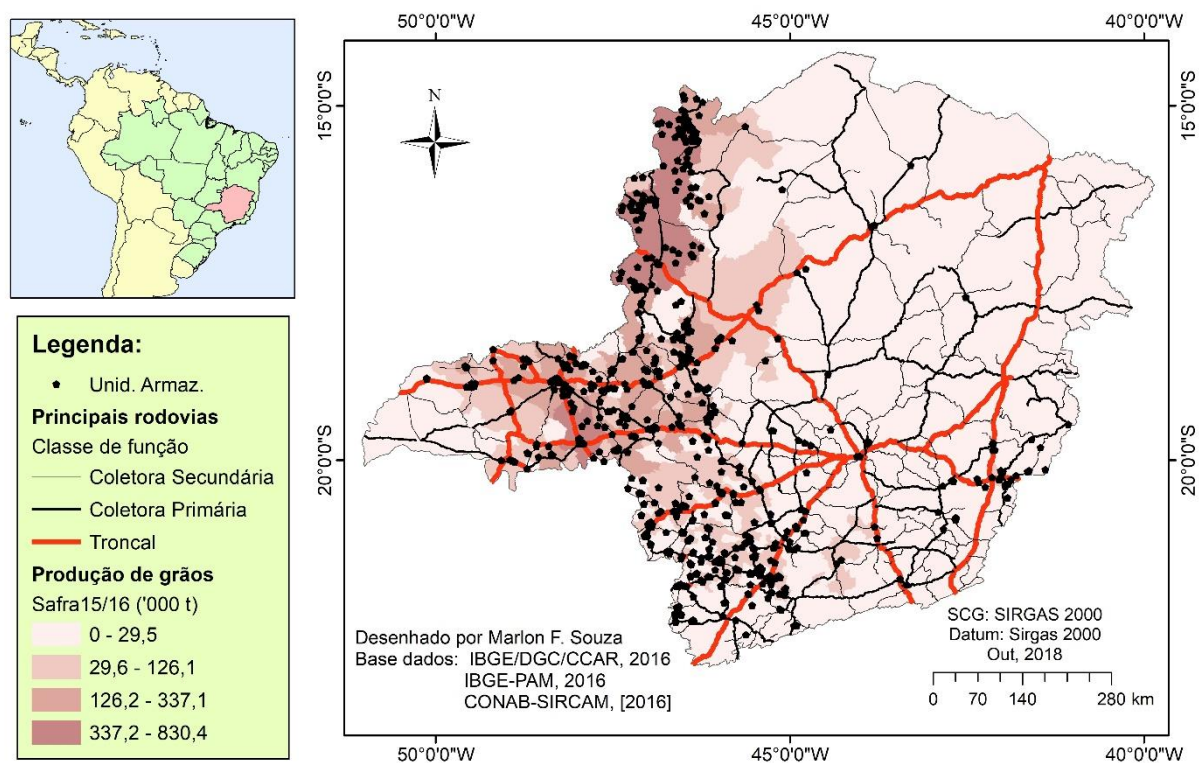


Figura 9. Localização das principais rodovias e das unidades armazenadoras de Minas Gerais cadastradas no SICARM/CONAB.

3.3 Metodologia

Uma visão geral da metodologia deste trabalho é apresentada na Figura 10. O processo completo envolve seis etapas principais: (a) seleção dos fatores e determinação dos respectivos pesos, (b) mapeamento das áreas restritas e delimitação da área de análise dos resultados, (c)

obtenção e pré-tratamento dos dados, (d) normalização das variáveis e construção do mapa de adequação, (e) análises de sensibilidade, (f) análise de incerteza e (g) ordenamento, avaliação e classificação dos melhores locais. Uma breve descrição de cada uma das etapas é apresentada a seguir.

O mapa de adequação para investimento em armazenagem foi construído através de uma AMCE, com pesos para cada uma das variáveis explicativas do modelo. Os softwares utilizados foram o ESRI ArcGIS® 10.4, Microsoft Excel® 2016, R 3.4.1 e Python 2.7.13. Além da ferramenta online Lucidchart, do *script* iUSA v1 (LIGMANN-ZIELINSKA; JANKOWSKI, 2014) e da planilha com macros AHPcalc 15.09.2018 (GOEPEL, 2013).

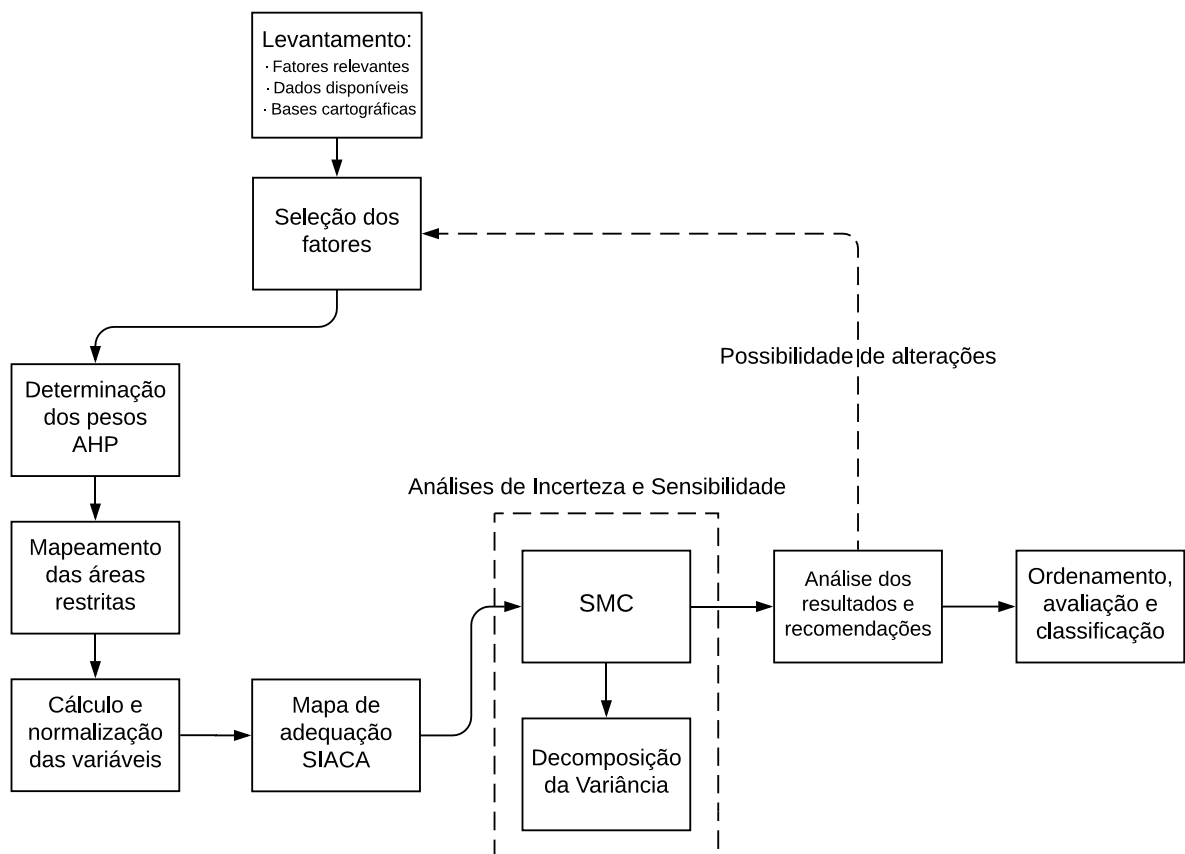


Figura 10. Fluxograma dos procedimentos metodológicos desenvolvidos para construção da SIACA.

3.3.1 Seleção dos fatores e determinação dos respectivos pesos

Os fatores que interferem na localização de um armazém foram determinados através de consulta a bibliografia (BALLOU, 2001; BARBOZA; VIEIRA, 2014; BOLTURK et al.,

2016; DEMIREL; DEMIREL; KAHRAMAN, 2010; DEY et al., 2017; LI; LIU; CHEN, 2011; ÖZCAN; ÇELEBI; ESNAF, 2011; ROH et al., 2015; SOPHA et al., 2016) e especialistas da área. Os fatores mencionados por cada autor foram adicionados à uma planilha eletrônica. A planilha com todos os fatores, foi então, convertida em um arquivo de texto (.txt) com formato UTF-8 (*Unicode Transformation Format – 8-bit*) para importação no software livre R 3.4.1. Utilizando o *script wordcloud* foi construída uma nuvem de palavras, que auxiliou na identificação e seleção dos principais fatores do modelo.

Após a seleção das variáveis, o peso de cada um dos critérios foi determinado seguindo-se a metodologia AHP (SAATY, 1990, 2008) através da ferramenta AHPcalc (GOEPEL, 2013, 2018). Contribuíram com a pesquisa nove especialistas, sendo três (3) da área de inteligência de mercado em *tradings* agrícolas, três (3) acadêmicos da área de transportes, dois (2) acadêmicos de ciências agrárias e um (1) especialista em transporte e logística. O AHP foi escolhido por reunir e comparar características quantitativas e qualitativas do problema analisado, além de poder levar a um consenso de preferência aos tomadores de decisão (SAATY, 2008).

3.3.2 Mapeamento das áreas restritas e delimitação da área de análise dos resultados

As terras indígenas (FUNAI, 2018) e Unidades de Conservação (UCs) (MMA/CNUC, 2018) foram identificadas e excluídas da área de estudos por terem sido consideradas áreas interditas para empreendimentos como um armazém graneleiro.

Além disso, foi feito um recorte para que o resultado fosse apresentado somente nas áreas onde é possível o cultivo de soja em Minas Gerais, baseada no mapa de aptidão para a cultura da soja do Centro de Sensoriamento Remoto (CSR-UFMG) (SOARES-FILHO et al., 2013). Portanto foi criada uma máscara para delimitar a região de análise.

Áreas ambientalmente sensíveis, áreas urbanas e regiões de conflito social e agrário não foram excluídas, mas apontadas como áreas que, se possível, devem ser evitadas, sendo ponderadas na AMCE.

3.3.3 Obtenção e pré-tratamento dos dados

Baseado nas características que interferem na operação e retorno financeiro de um armazém graneleiro foram apontados os seis critérios (Acessibilidade, Demanda Potencial, Déficit na Oferta de Armazenagem, Competição, Influência de Grandes Instalações e Impacto Socioambiental) apresentados no diagrama da Figura 13. A obtenção e pré-tratamento dos mesmos são delineados a seguir.

A competição considerou o percentual de armazenagem em fazendas e a concentração de armazéns competidores (outros prestadores de serviço de armazenagem) na região. O modelo tem pressuposto de que o investidor não necessariamente é produtor, mas também pode ser, e que irá prestar serviço de armazenagem. O percentual da armazenagem total que se encontra na fazenda foi estimado para cada municipalidade baseado no tipo de atividade do estabelecimento da Tabela 278 da Pesquisa de Estoques do IBGE. Já a concentração de armazéns competidores foi definida através da densidade de *Kernel*, a partir da base do SICARM-CONAB (CONAB, 2016). A concentração de armazéns foi ponderada pela capacidade estática dos mesmos, com raio de busca de 50 km. Esse subcritério apresentaria a concentração de capacidade estática em toneladas por quilômetro quadrado (t/km^2), mas foi normalizado para inserção no modelo.

A influência de grandes instalações é uma competição tão díspar que pode inviabilizar um novo armazém, e por isso foi considerada como um critério separado. No cálculo do critério de influência de grandes instalações foi determinado um raio máximo de 250 km para plantas de esmagamento e de 100 km para terminais de transbordo, e foram definidos pesos para cada área proporcionalmente à distância da instalação. Além de assumir menor raio de influência da instalação, os pesos atribuídos penalizaram menos a proximidade dos terminais logísticos.

A acessibilidade foi determinada por múltiplos *buffers* com variação da distância. A nota foi atribuída considerando a classe de função da via e diminui com o aumento da distância da respectiva via. Nas áreas em que houve sobreposição (ex: áreas de entroncamento, próximas de vias troncais e coletoras) foi mantida a maior nota.

O potencial de aumento da demanda por armazenamento foi estimado através da previsão de aumento das áreas de soja, milho, feijão e trigo em 2030, produzida pelo CSR – UFMG, modelada através do OTIMIZAGRO (SOARES-FILHO et al., 2013).

Para capturar as áreas com oferta de armazenagem deficiente foi adotada a metodologia de Souza, Nóbrega e Guimarães (2018). No trabalho dos referidos autores a oferta contempla tanto o déficit quanto o excedente de armazenagem, sendo o primeiro atrativo e o segundo repelente. Dessa forma, o dado foi pré-ajustado para deixar o critério exclusivamente atrativo, ou seja, capturar somente o déficit. Sendo o excedente desconsiderado, o equilíbrio de oferta representado pelo valor zero (0) e o maior déficit pela unidade (1).

Afim de reduzir o impacto negativo no meio ambiente e na sociedade foi criada uma camada de impacto socioambiental para que se evitem zonas de amortecimento de UCs; áreas prioritárias para conservação (LAPIG; MMA, 2016); regiões de conflito social e agrário

(LAPIG; CPT, 2016) e também áreas urbanas (FARIAS et al., 2017). Foi adicionado um custo aos municípios que tiveram ocorrências de conflitos, assim como nas áreas indicadas com prioridade muito alta e extremamente alta de conservação. Para evitar a zona de amortecimento de UCs foram gerados *buffers*, utilizando distância euclidiana, com penalização decrescente partindo da borda até 15 km, com a função de modelar a zona de amortecimento dessas unidades. A metodologia adota para evitar áreas urbanas foi semelhante a UCs, mas com distância máxima de 5 km das bordas das manchas urbanas. Os critérios foram então somados e normalizados na sequência. Importante lembrar que na seção 3.3.2 as áreas interditas foram mapeadas e retiradas da área de estudos.

Para maior detalhamento sobre obtenção, cálculo e notas das variáveis que compõe o modelo ver o MATERIAL SUPLEMENTAR.

3.3.4 Normalização das variáveis e construção do mapa de adequação

Os critérios selecionados na seção 3.3.1 representam agora camadas (Figura 11), que combinadas em uma AMCE irão apontar os locais mais adequados para construção de novas unidades armazenadoras.

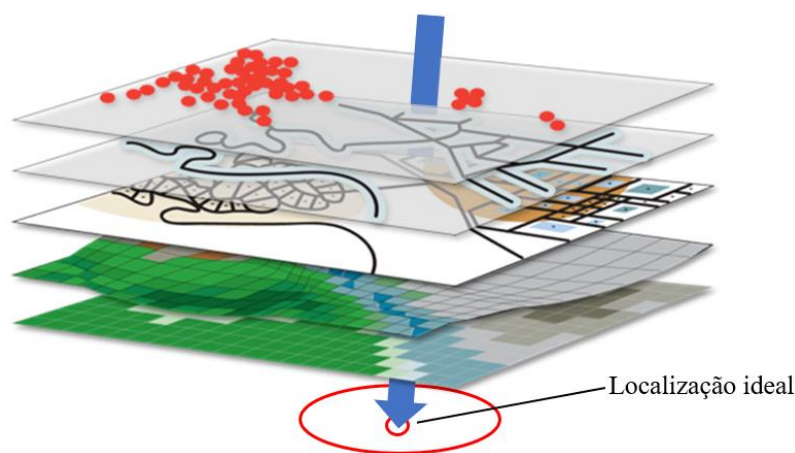


Figura 11. Representação das camadas que interferem na localização de novas unidades armazenadoras e que combinadas irão apontar o local mais adequado para se investir em armazenagem.

As bases de dados que compõe as camadas apresentam diferentes formatos (tabulares, vetoriais e matriciais). Portanto, para possibilitar que fossem somadas em um SIG, aquelas que estavam em formatos diferentes foram convertidas em formato matricial. A álgebra de mapas foi feita utilizando uma combinação linear ponderada (*Weighted Linear Combination* - WLC) conforme a Equação (1).

$$A_{i,j} = \sum_{k=1}^n P_k \times V_{k,i,j} \quad (1)$$

Em que: $A_{i,j}$ = Valor da Superfície Integrada de Adequação para Construção de Armazéns (SIACA) no ponto A com coordenadas (i, j);

P_k = Peso do critério k conforme determinado no AHP;

$V_{k,i,j}$ = Valor do k-ésimo critério no ponto com coordenadas (i, j);

n = Número de critérios definido.

Segundo Moura, Jankowski e Cocco (2016) a integração ou a comparação das variáveis requer que elas sejam apresentadas de modo normalizado. O que significa que apresentem os mesmos valores mínimo e máximo, e estejam dentro da mesma escala, ainda que dentro dos limites haja diferentes variações de valores.

Dentre os critérios selecionados há sentidos opostos, alguns atraem, enquanto outros repelem o investimento em armazenagem. Portanto, para a construção do modelo todos os critérios foram reclassificados, de modo que cada um represente uma superfície normalizada com valores variando de zero (menos atrativo) a um (mais atrativo) conforme a Equação (2). Quando a variável é entendida como benefício, o valor mais alto é o mais atrativo. Por outro lado, quando a variável é entendida como custo ou impedância, o valor mais baixo é o mais atrativo, o que significa que a escala de valores deve ser invertida (MOURA; JANKOWSKI; COCCO, 2016), de acordo com a Equação (3).

$$\frac{(V_{k,i,j} - V_{kmin})}{(V_{kmax} - V_{kmin})} = \frac{NV_{k,i,j}}{(1 - 0)} \quad (2)$$

Em que: $V_{k,i,j}$ = Valor precedente do critério (camada) k no pixel com coordenadas (i, j);

V_{kmin} = Valor mínimo dentre todos os valores do critério k;

V_{kmax} = Valor máximo dentre os valores do critério k;

$NV_{k,i,j}$ = Novo Valor do critério (camada) k no pixel com coordenadas (i, j).

$$NVI_{k,i,j} = 1 - NV_{k,i,j} \quad (3)$$

Em que: $NVI_{k,i,j}$ = Novo Valor Invertido do critério (camada) k no pixel com coordenadas (i, j).

Logo, as variáveis normalizadas, variando entre 0 e 1, foram combinadas através de uma *WLC*, conforme a Equação (4).

$$SIACA = 0,358 OFER + 0,083 IGI + 0,112 COMP + 0,191 DP + 0,191 ACESS + 0,065 SA \quad (4)$$

Em que:

SIACA = Superfície Integrada de Adequação para Construção de Armazéns;

OFER = Déficit na oferta de armazenagem estimada;

IGI = Influência de grandes instalações;

COMP = Competição;

DP = Demanda Potencial por Armazenamento;

ACESS = Acesso;

SA = Menor impacto socioambiental.

3.3.5 Análise de sensibilidade

Neste estudo a análise de sensibilidade (AS) foi baseada em um método independente da SMC, que consiste na decomposição da variância dos resultados da simulação. Dessa forma a variabilidade dos vários mapas de adequação gerados no processo da SMC foi distribuída para cada peso de critério, gerando um índice de sensibilidade de primeira ordem (S) e um do efeito total (ST) por peso de critério (LIGMANN-ZIELINSKA; JANKOWSKI, 2014). O par (S, ST) oferece uma medida sucinta e abrangente de influência das variáveis de entrada, que é independente da formulação do modelo. A resposta da AS pode estimular a alteração de um critério inserido no modelo, a revisão de um processo ou mesmo a substituição de uma variável (FONSECA, 2015).

A análise foi desenvolvida utilizando o sistema iUSA (LIGMANN-ZIELINSKA; JANKOWSKI, 2014), onde a variação nos pesos do modelo de adequação e nos índices de sensibilidade correspondentes foram calculadas simultaneamente, um-a-um, para todos os pixels da área de interesse. Para definições detalhadas e equações dos índices de sensibilidade S e ST, sugere-se a leitura de Baroni e Tarantola (2014); Nossent, Elsen e Bauwens (2011); Saltelli *et al.* (2010) entre outros.

3.3.6 Análise de incerteza

A análise de incerteza (AI) desenvolvida também utilizou o sistema iUSA. A SMC produziu múltiplos mapas de adequação como saída, sendo que estes mapas foram sumarizados

em somente dois: uma superfície de pontuação média ponderada (semelhante a SIACA, mas construída por uma metodologia um pouco diferente) e um mapa de incertezas. Cabe ressaltar que a incerteza corresponde ao desvio padrão dos múltiplos resultados oriundos da SMC (LIGMANN-ZIELINSKA; JANKOWSKI, 2014).

Os resultados do mapa de incertezas foram então combinados com a pontuação média ponderada, possibilitando identificar as áreas apresentadas na Tabela 3. As áreas apontadas pelo modelo com alto potencial para construção de armazéns e baixa incerteza do modelo, foram denominadas por Ligmann-Zielinska e Jankowski (2014) como robustas, sendo as mais seguras para se investir na construção de um novo armazém. Já as áreas com alto potencial e alta incerteza, denominadas candidatas, necessitam de estudos mais aprofundados devido ao risco associado.

Tabela 3. Aspectos das regiões de adequação robustas (1) e candidatas (2).

		Incerteza	
		Baixo DP	Alto DP
Adequação	Índice alto	(1) Regiões adequadas com baixa incerteza Robustas	(2) Regiões adequadas com alta incerteza Candidatas
	Índice baixo	(3) Baixa adequação com baixa incerteza Inadequadas	(4) Baixa adequação com alta incerteza

Fonte: Ligmann-Zielinska e Jankowski (2014)

3.3.7 Ordenamento, avaliação e classificação dos melhores locais

A partir do resultado da SIACA foi feito um ranque dos municípios com maior nível de adequação. O mapa *raster* foi então transformado em pontos espaçados em 1km (um quilômetro). Cada ponto representa a média de adequação do seu entorno. Os municípios foram classificados pelo maior número de pontos com adequação superior a 0,80.

Por fim, são analisadas as classificações das áreas robustas e das candidatas. A identificação e análise das áreas candidatas é igualmente importante para delinear as áreas robustas. Ademais, todas as áreas de alta adequação devem ser consideradas (LIGMANN-ZIELINSKA; JANKOWSKI, 2014), a fim de maximizar a quantidade de alternativas para futuros armazéns.

Na análise dos melhores locais deve ser feito um estudo mais aprofundado de cada área selecionada. A escala do modelo, as incertezas de fontes diversas e os critérios desconsiderados na AMCE, mas que são igualmente relevantes para a instalação de armazéns podem conduzir a conclusões equivocadas.

3.4 Resultados e discussão

Na Figura 12 é apresentada uma nuvem de palavras, construída a partir dos principais critérios que afetam a localização de unidades armazenadoras.



Figura 12. Nuvem de palavras com os principais critérios que afetam a localização de armazéns.

Os pesos atribuídos pelo autovetor principal normalizado da matriz AHP para os seis fatores (1-Influência de grandes instalações, 2-Competição, 3-Acessibilidade, 4-Demanda potencial, 5-Oferta de armazenagem e 6-Socioambiental), juntamente com a hierarquização de critérios executada no âmbito deste capítulo, de forma a permitir a reprodução ou o aprimoramento do modelo, estão ilustrados na Figura 13. A taxa de consistência do autovalor (CR) foi de 1,7%, com $\lambda = 6,107$, $GCI = 0,06$. A média relativa 20,7% e a inconsistência ordinal (Psi) 8,3%. O consenso das opiniões na determinação dos pesos das variáveis foi de 75,6%.

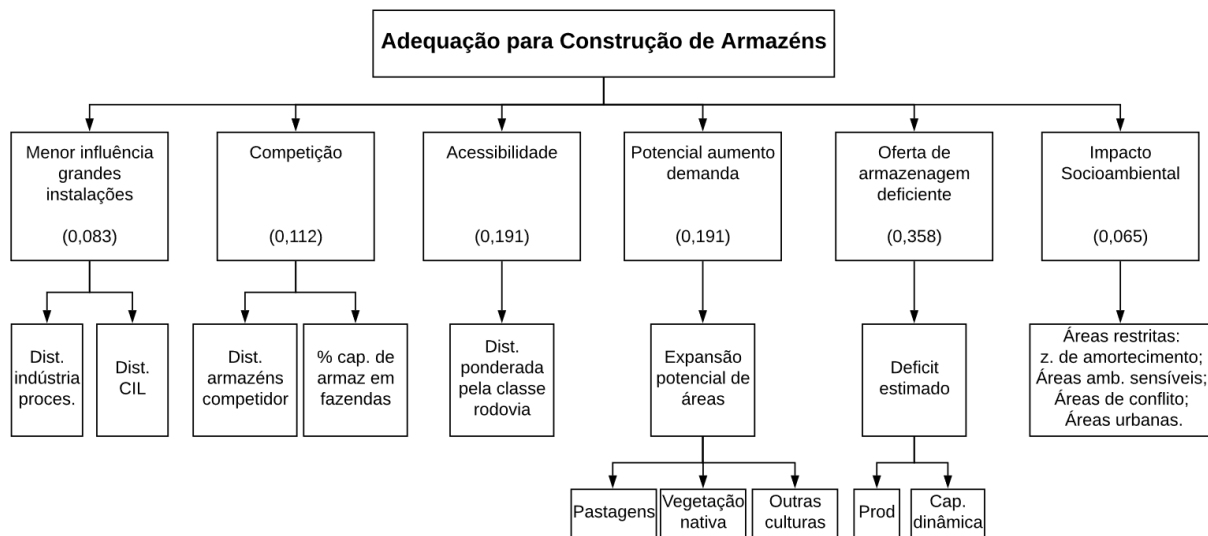


Figura 13. Hierarquia dos critérios selecionados e seus respectivos pesos.

As áreas aptas e restritas à prática da agricultura, com foco na cultura da soja, que é um dos principais produtos da pauta agrícola mineira, são apresentadas na Figura 14. O resultado da AMCE foi apresentado utilizando essa máscara, restrito às áreas aptas, com exclusão das áreas interditas. Essa estratégia foi adotada para reduzir o volume de dados e, conseqüentemente, a demanda por processamento computacional. Ademais, não existe interesse de construção de um armazém para grãos em um certo local onde, atualmente a produção agrícola é insignificante para justificar a instalação, e que além disso, não tem perspectivas de mudança do cenário atual.

Os critérios normalizados, que influenciam a localização de unidades armazenadoras, são apresentados na Figura 15. Na parte de cima da figura estão os critérios que representam benefício à instalação de unidades de armazenamento de grãos. Na parte de baixo estão aqueles critérios que representam custo, ou impedância para a construção de armazéns. As impedâncias foram invertidas para que todos os critérios variem de ruim (0) a bom (1), considerando a instalação de um armazém graneleiro.

A partir dos pesos explicitados na matriz AHP, apresentados na Figura 13, e dos mapas temáticos em formato matricial dos critérios normalizados (Figura 15), por meio de uma WLC foi computada a SIACA, resultando no mapa da Figura 16.

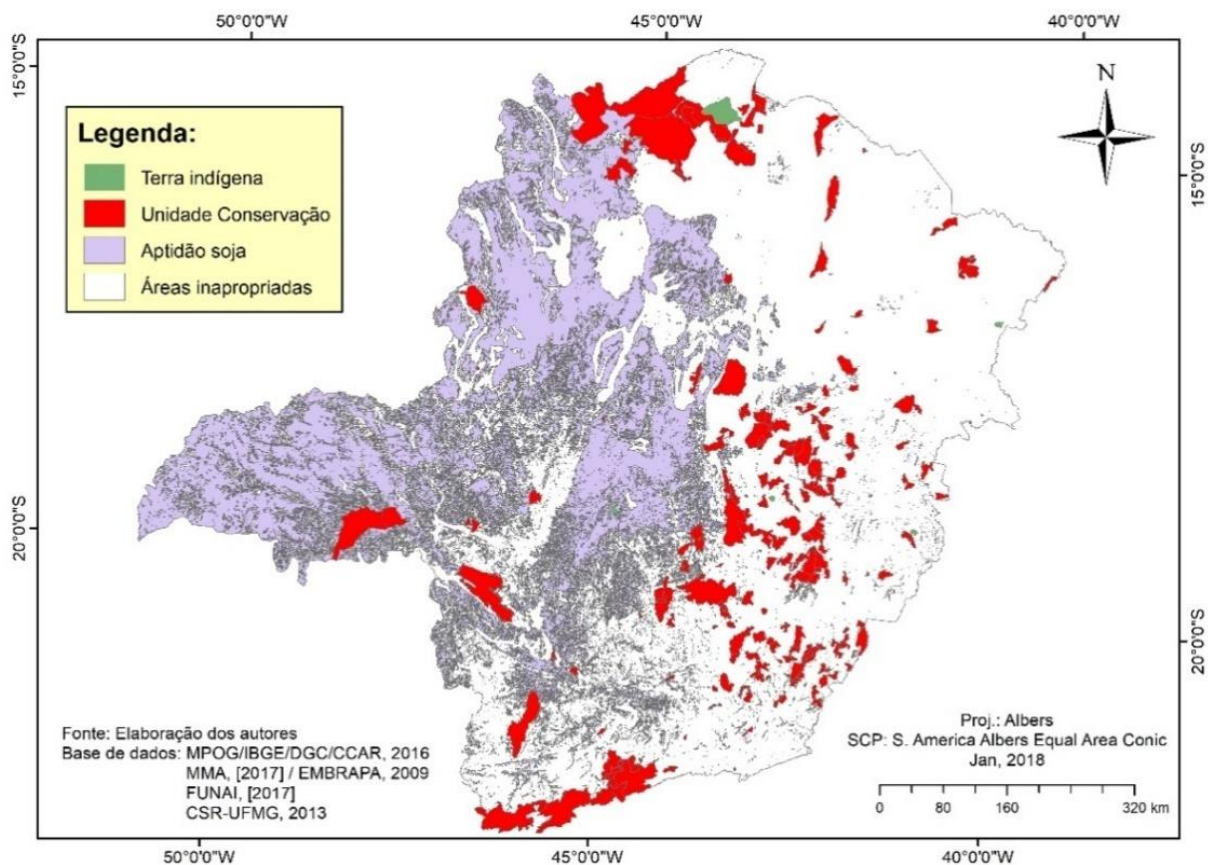


Figura 14. Áreas aptas para o cultivo de soja e restritas para exploração e instalações comerciais.

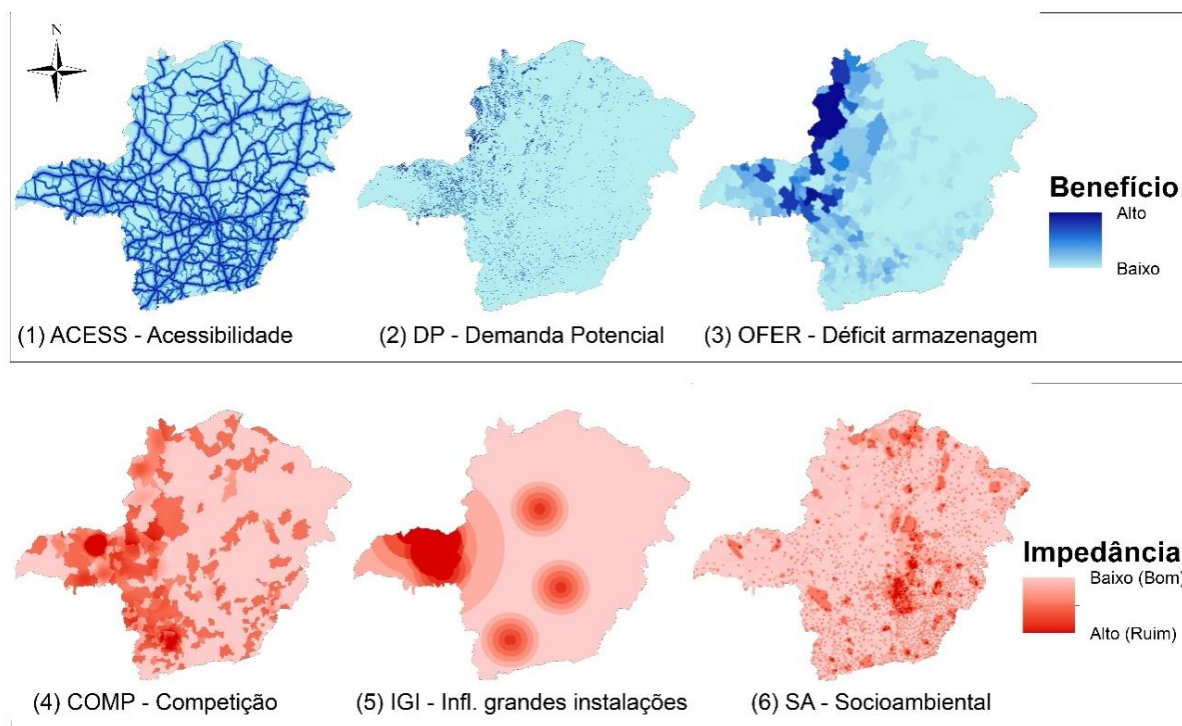


Figura 15. Critérios normalizados que influenciam a localização de unidades armazenadoras, separados em atratores (ACCESS, DP e OFER) e repelentes (COMP, IGI e SA).

Observa-se claramente na Figura 16 a grande atratividade para investimento em armazenagem da mesorregião Noroeste do estado, e a grande repulsão no entorno de Uberlândia. Há repulsão em menor nível na região denominada Pontal do Triângulo e em áreas com baixa acessibilidade. Foi observada boa atratividade em várias regiões do Triângulo Mineiro, mais distantes de Uberlândia e Araguari, onde se situam os terminais de transbordo e as indústrias de esmagamento. Nota-se também a existência de regiões de média atratividade na região Central do estado e no Sul de Minas, onde estudos mais aprofundados são necessários, já que outros fatores podem tornar essas regiões atrativas.

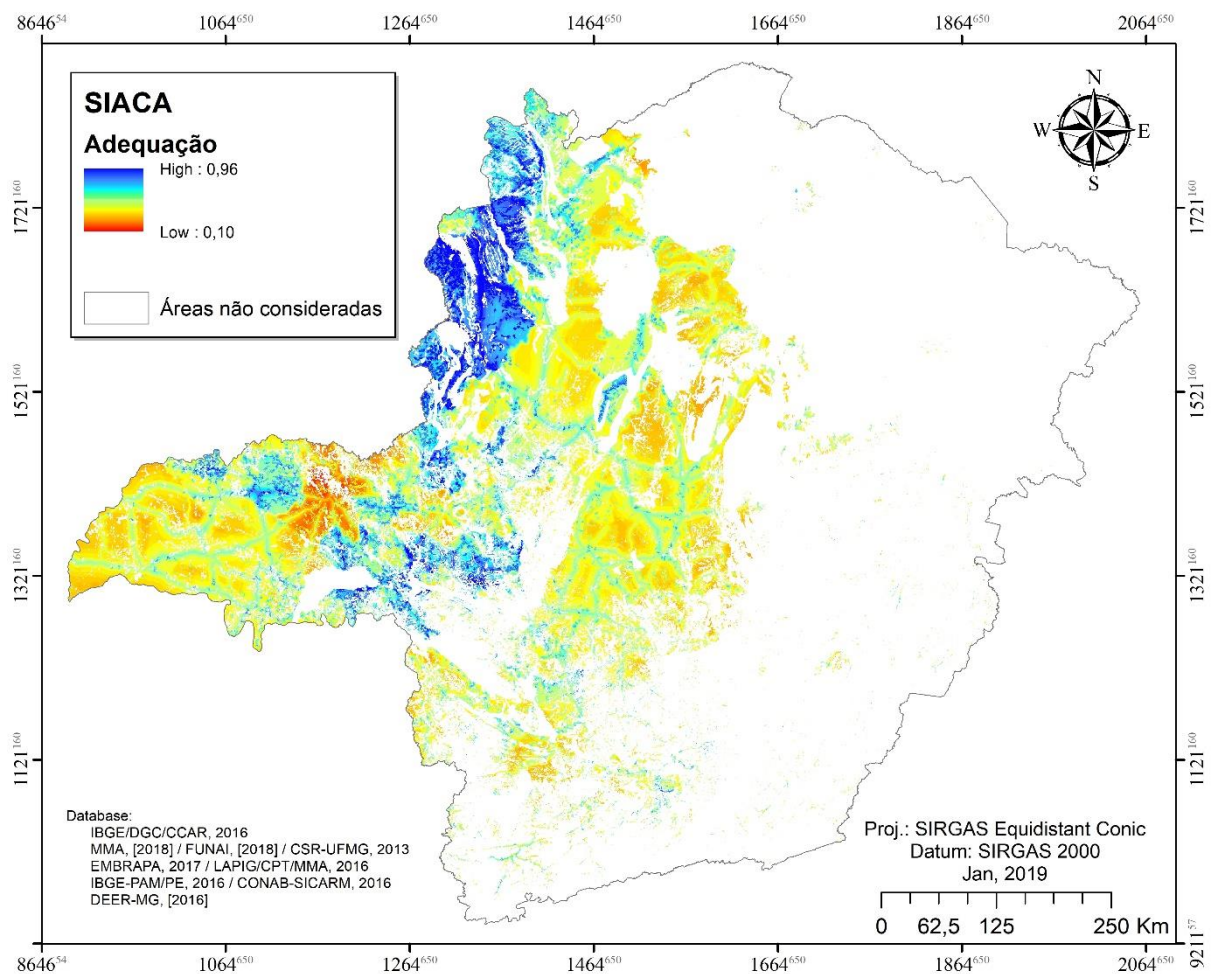


Figura 16. Superfície integrada de adequação para construção de armazéns.

Para testar a sensibilidade e a incerteza do modelo a SMC foi executada com 1000 iterações. A distância entre os pontos amostrais foi definida em 2000 m, bem superior ao tamanho do pixel, devido à grande extensão da área de estudo.

A sensibilidade das variáveis é medida por meio da decomposição da variância. A SMC faz inúmeras repetições com alteração dos pesos dos critérios, criando um ranque de desvios

padrão para os critérios a cada iteração, ou seja, apontando aquela que acrescenta maior incerteza ao modelo. Ao final, é feita uma Análise de Sensibilidade Global, onde todas essas repetições são avaliadas, fazendo-se mudanças no ordenamento dos critérios e criando um ranque médio de incerteza. O resultado é apresentado, na forma dos índices S e ST, na Tabela 4.

Em geral, há baixa interação entre as variáveis, representado pelo baixo valor de NONL, 4,3%, e pelos valores relativamente baixos do índice ST (Tabela 4) de todos os critérios com exceção do critério OFER. Isso significa que os critérios COMP, ACESS, DP e AS contribuem na explicação do modelo, e devem ser mantidos.

Tabela 4. Índices de sensibilidade de primeira ordem (S) e do efeito total (ST) para todos os critérios que compõe a SIACA.

nº iterações	1000		100	
	%S	%ST	%S	%ST
COMP	17,1	11,5	15,4	11,3
IGI	17,6	19,9	10,5	18,9
ACESS	-7,2	8,7	1,7	9,2
OFER	64,1	53,8	41,5	54,3
DP	0,5	1	1,5	1,1
AS	4,7	5,1	1,7	5,2
NONL*	4,3		27,7	

*Não relacionado diretamente a nenhum fator, mas sim da interação entre eles. É como um ruído.

A variável IGI, referente ao alcance de grandes instalações existentes, pode não exercer influência sobre a instalação de um novo armazém. Apesar de ter sido considerada uma competição díspar em preço ao produtor, são instalações com objetivos completamente diferentes, e que no dia-a-dia não competem com armazéns. Os valores de S e ST, de certa maneira altos, sugerem a reavaliação deste critério.

O critério OFER adiciona a maior incerteza ao modelo (elevado S) e apresenta comportamento semelhante às demais variáveis (elevado ST). Esses resultados recomendam fortemente a exclusão dessa variável do modelo. A OFER teve diversos problemas relativos à obtenção e preparação da informação, como também na definição da sua importância para o modelo. Em primeiro lugar, houve baixo consenso na opinião dos especialistas, resultando em grande amplitude entre as notas mínima e máxima, e conseqüentemente elevado DP. Além disso, a unidade espacial adotada não é a ideal para este tipo de análise (Para maior

detalhamento ver MATERIAL SUPLEMENTAR). Há também o problema das bases de dados de armazenagem incompletas, a imprecisão relacionada a estimativa do giro de estoques, e até possíveis erros nas informações de produção.

Na Figura 17 são apresentadas as áreas robustas (alta adequação e baixa incerteza), áreas candidatas (alta adequação e alta incerteza), áreas inadequadas (baixa adequação e baixa incerteza), e também as áreas que podem ser reavaliadas em uma situação específica, de baixa adequação e alta incerteza. No material suplementar é apresentado em detalhes um mapa de incerteza, o qual apresenta um maior número de classes.

Em geral, o modelo apresentou elevado resíduo padronizado espacialmente, o que implica em elevada incerteza. Isso pode ser explicado, em partes, pela escala estadual em que foi desenvolvido. AI são extremamente importantes nesses casos, pois deixam claro o risco envolvido nesse tipo de análise. Segundo Lucas e Chhajed (2004), os problemas de localização na agricultura exibem várias características, como seu amplo escopo e tamanho, ou a consideração de múltiplos e muitas vezes conflitantes objetivos e, assim, demonstram níveis crescentes de complexidade e realismo.

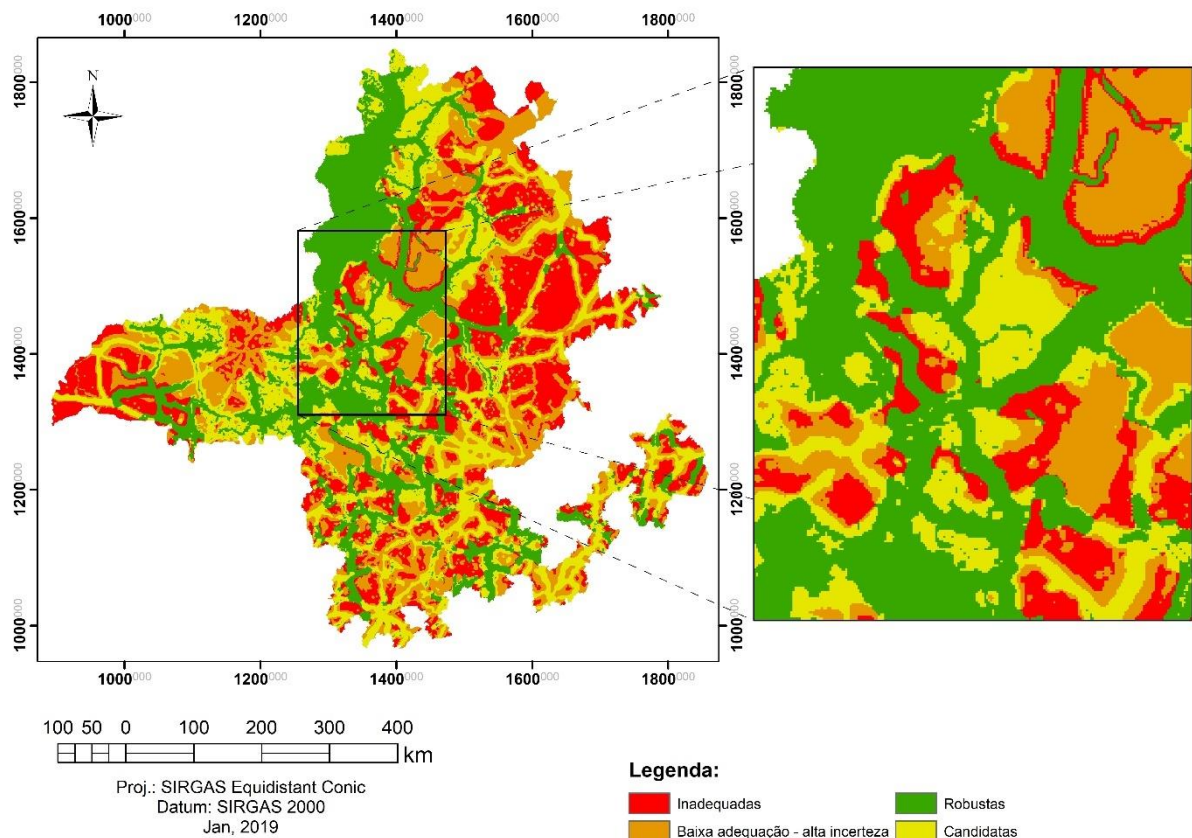


Figura 17. Áreas robustas e candidatas para instalação de um armazém graneleiro.

A classificação dos municípios com maior adequação a partir da SIACA é apresentado na Tabela 5. Destaque para a microrregião de Unaí, que além do próprio município de Unaí com a maior adequação, ainda tem mais três municípios entre os 10 melhores ranqueados. Todos os municípios com maior nível de adequação estão nas mesorregiões Noroeste de Minas e Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. Os quatro primeiros colocados na classificação são Unaí, Paracatu, Guarda-Mor e Buritis.

Tabela 5. Classificação dos municípios com maior adequação para construção de armazéns.

Adequação	Município	Microrregião	Mesorregião
1	Unaí	Unaí	Noroeste de Minas
2	Paracatu	Paracatu	Noroeste de Minas
3	Guarda-Mor	Paracatu	Noroeste de Minas
4	Buritis	Unaí	Noroeste de Minas
5	Ibiá	Araxá	Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba
6	Coromandel	Patrocínio	Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba
7	Perdizes	Araxá	Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba
8	Uberaba	Uberaba	Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba
9	Arinos	Unaí	Noroeste de Minas
10	Uruana de Minas	Unaí	Noroeste de Minas

Dentre os 853 municípios mineiros, 534 possuem áreas candidatas e 362 possuem áreas robustas. No MATERIAL SUPLEMENTAR o leitor pode conferir o número de municípios por mesorregião e por microrregião. Ainda que as bases de dados estivessem completas e na melhor escala possível, e que todos os especialistas dessem suas notas com muita segurança, e também que não houvessem limitações computacionais, enfim, nenhuma outra interferência advinda da modelagem, mesmo assim existiria a incerteza relacionada à própria atividade. Desta forma, é passível de se afirmar que os modelos regionais têm o objetivo de indicar as áreas para direcionar e delinear estudos locais, como indicam os resultados do presente estudo.

3.5 Considerações do Capítulo 3

Neste capítulo apresentamos alguns fatores que devem ser levados em consideração no momento de escolha do local de implantação de um armazém de grãos para que ele possa ter o melhor desempenho e, por conseguinte, gerar o maior lucro. Devido à característica espacial dos dados (Analisada no Capítulo 2), empregou-se a AMCE com a participação de especialistas na determinação dos pesos pela AHP.

Modelos de escala regional estão sujeitos à diversas fontes de erro e incerteza: a escala, bases de dados incompletas, critérios que não puderam ser incluídos na AMCE, etc. Por isso o autor procurou analisar a incerteza e a sensibilidade do modelo, mas, ainda assim, se fazem necessários estudos locais nas áreas selecionadas. Buscando suprir essa lacuna foi proposto o estudo apresentado no CAPÍTULO 4: Modelagem em rede , de localização de unidades armazenadoras em uma rede topológica nas áreas selecionadas neste capítulo. Devem se somar a estes esforços estudos de viabilidade econômica, projetos construtivos da instalação e pesquisa da legislação e do ambiente político, local e regional.

CAPÍTULO 4: Modelagem em rede

4.1 Otimização locacional de armazéns graneleiros em um sistema logístico

Os armazéns são elos muito importantes na rede da cadeia de suprimentos em mercados locais ou globais. A localização do armazém na rede determina a eficiência e a velocidade dessa cadeia. O custo logístico depende da localização do armazém e da sua utilização efetiva (SINGH; CHAUDHARY; SAXENA, 2018). Para um funcionamento apropriado da cadeia de abastecimento, é essencial que o armazém consiga atender todas as demandas que surjam da maneira mais econômica possível. A localização de um armazém é geralmente uma das decisões mais importantes e estratégicas na otimização de sistemas logísticos (DEMIREL; DEMIREL; KAHRAMAN, 2010).

Lucas e Chhajer (2004) afirmam que problemas de localização simples, que abordam uma questão única, como onde localizar novas instalações, são raros na agricultura. A maioria dos problemas de localização agrícola envolve um grau mais elevado de complexidade: eles lidam com a localização de múltiplas instalações e muitas vezes incorporam restrições de capacidade. A transferência de mercadorias entre os locais é geralmente desconhecida e, ao avaliar possíveis localidades, a análise considera as interações entre instalações e também entre as instalações e as áreas de produção. São comuns na agricultura os problemas de localização-alocação, nos quais o número de instalações, suas localizações e as respectivas interações também se tornam variáveis de decisão (DE MOL; VAN BEEK, 1991; GELDERS; PINTELON; VAN WASSENHOVE, 1987). Além disso, esses problemas de localização-alocação, que já são complexos por si, costumam ter a complexidade aumentada por decisões de roteamento, tornando-se modelos de roteamento-localização-alocação (HARRISON; WILLS, 1983; NAMBIAR; GELDERS; VAN WASSENHOVE, 1989; ZHANG et al., 2014).

Mapas de adequação, como apresentado no capítulo 3, dão uma boa ideia das regiões mais adequadas para localização de um empreendimento, entretanto análises mais aprofundadas são necessárias para definir a localização exata da nova instalação, considerando a sustentabilidade do sistema logístico. Um armazém graneleiro deve ter acesso fácil às principais vias de escoamento, devido ao elevado fluxo de caminhões e carretas, e atender o maior volume de grãos possível.

Uma alternativa eficiente em termos logísticos e de atendimento de demanda são os modelos em rede. Sendo que muitos destes adotam o enunciado do problema das p-medianas. As primeiras formulações desse problema foram apresentadas em Hakimi (1964), seguidas pelo

desenvolvimento de vários métodos heurísticos e de busca em árvore para sua solução (CHRISTOFIDES; BEASLEY, 1982; JÄRVINEN; RAJALA; SINERVO, 1972; NEEBE, 1978; TEITZ; BART, 1968). O objetivo é encontrar as localizações de p instalações que minimizem a distância total percorrida ponderada pela demanda entre as áreas de produção e as instalações de armazenamento.

Um grande número de trabalhos foi desenvolvido principalmente na década de 2000, sobre soluções heurísticas para o problema das p -medianas (ALFIERI; BRANDIMARTE; D'ORAZIO, 2002; ALP; ERKUT; DREZNER, 2003; BALDACCI et al., 2002; BERMAN; DREZNER, 2006; BERMAN; DREZNER; WESOLOWSKY, 2002; PRINS et al., 2007; REVELLE; EISELT; DASKIN, 2008). Nesse mesmo período vários trabalhos também focaram na aplicação prática de modelos para o planejamento de cadeias de suprimento em problemas reais (BENDER et al., 2002)

O objetivo deste capítulo foi localizar, de forma otimizada em uma rede de transporte, três unidades armazenadoras de grãos, classificadas quanto à localização como coletoras, nas regiões que apresentaram a maior adequação para investimento em armazenagem de Minas Gerais, segundo os resultados do capítulo anterior. Para tal será aplicado um modelo de localização-alocação configurado para minimizar a impedância ponderada do problema das p -medianas, ou seja, que os armazéns atendam o maior volume de grãos com o menor custo, e também que seu posicionamento seja adequado para o escoamento dos grãos estocados.

4.2 Área de Estudos

O modelo foi aplicado nas mesorregiões Noroeste e Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba do estado de Minas Gerais, Brasil. Essas mesorregiões foram escolhidas por apresentaram as maiores adequações nos resultados do modelo do capítulo anterior. A localização da área de estudos é apresentada na Figura 18.

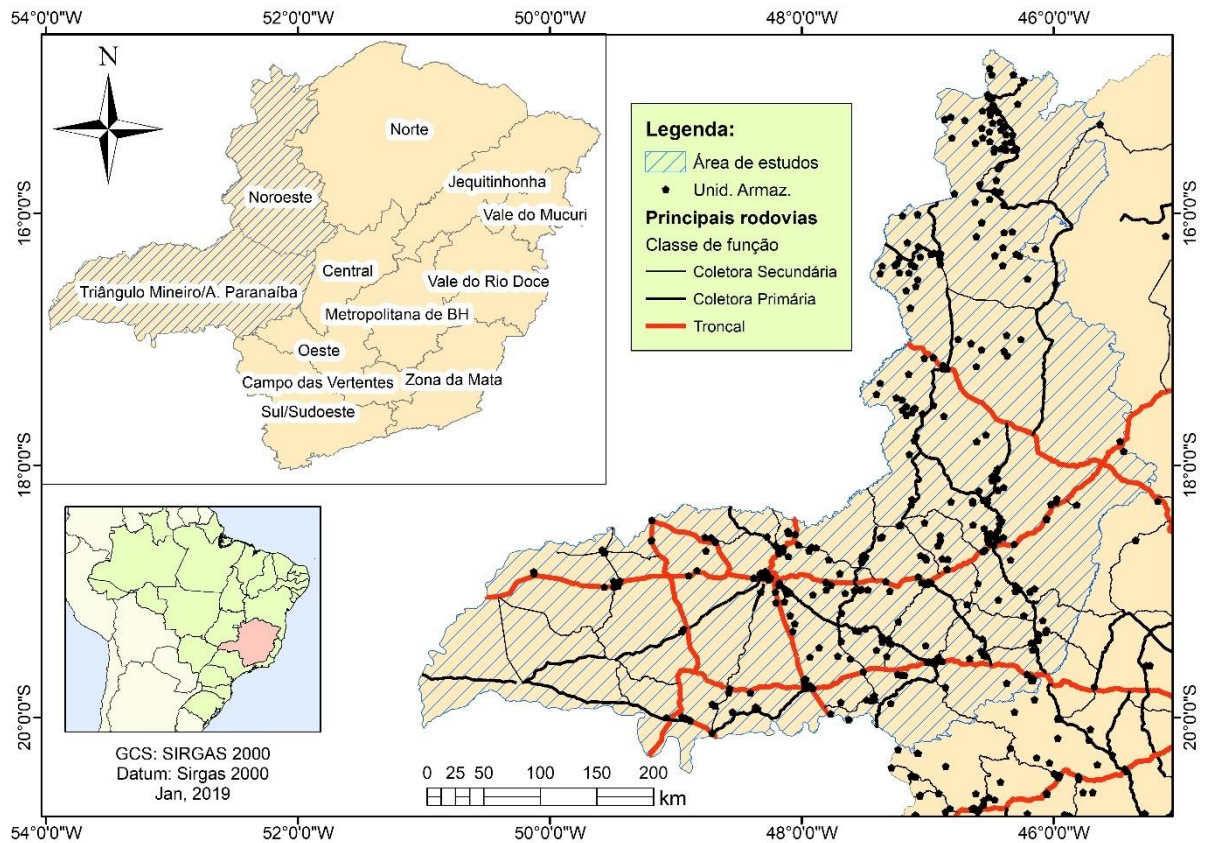


Figura 18. Localização da área de estudo para aplicação da modelagem em rede, escolhida com base na SIACA.

As regiões selecionadas para o estudo são as maiores produtoras e exportadoras de grãos no estado. No estudo apresentado no capítulo 3 essas mesmas regiões também se mostraram como as mais robustas para o investimento em armazenagem dentro de Minas Gerais.

4.3 Materiais e métodos

A Figura 19 resume os procedimentos metodológicos propostos. Os softwares empregados para desenvolvimento desses procedimentos foram ArcGIS 10.4 e Microsoft Excel 2016. Neste capítulo novamente o sistema de coordenadas adotado foi cônico equidistante, afim de não interferir nas distâncias utilizadas para o cálculo da matriz de custos origem-destino (OD), fundamental para a solução do problema (MITCHEL, 2005; SNYDER, 1987).

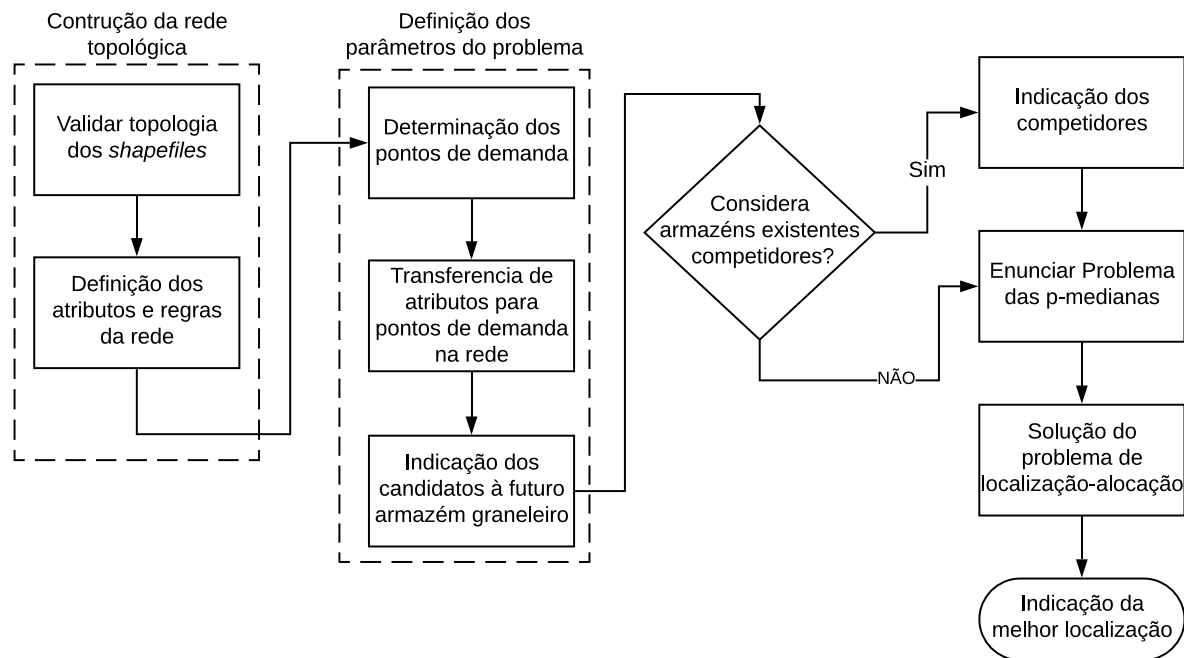


Figura 19. Fluxograma dos procedimentos metodológicos desenvolvidos para o modelo em rede.

Na coleta de dados, buscou-se trabalhar com fontes que apresentavam escala e detalhamento adequados para o trabalho.

- Malha rodoviária de Minas Gerais, conforme disponibilizado pelo Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem (DEER) e pela Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas (SETOP);
- Unidades armazenadoras do estado de Minas Gerais registradas na base de dados do Sistema de Cadastro Nacional de Unidades Armazenadoras (SICARM) da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB);
- Área dos municípios do estado de Minas Gerais com as respectivas sedes municipais.

Foi construída uma rede topológica com a conectividade definida em um único grupo. A rede não considera a elevação de terreno, e utiliza as informações de infraestrutura existentes.

Para validar a topologia da rede as seguintes regras foram definidas e testadas: não pode existir auto interseção (uma linha não pode interceptar ela mesma); não deve haver *dangles*, nem *gaps* (pontos-final de uma linha deve tocar outra linha, exceto para as bordas do estado); não deve existir sobreposição de linhas diferentes que forem parte de uma mesma camada, nem auto sobreposição; e por último, não devem haver segmentos isolados (arcos e nós isolados e

não conectados aos demais arcos e nós da malha viária). Todos os erros encontrados foram corrigidos por meio de edições da base.

Foram especificados cinco atributos para o conjunto de dados da rede construída:

- Dois atributos de custo:
 - O comprimento do trecho;
 - E a característica da via (tipo de pista e pavimento).
- O estado de conservação não foi considerado devido à possibilidade de mudança repentina do atributo e dificuldade de obtenção desta informação.
- Um atributo de hierarquia, de acordo com a classe de função da via (rodovias troncais: 1, coletoras primárias: 2, coletoras secundárias: 3, vias locais: 4, sem informação: 5, planejadas: 6).
- Um atributo de preferência, para se evitar, em nível médio, trânsito de cargas em vias locais.
- Um atributo de restrição, para que o trânsito seja vedado nas vias planejadas presentes na base de dados.

A consideração destes atributos foi de suma importância para a efetividade e confiabilidade na aplicação do modelo. Sabe-se que as rodovias brasileiras, em geral, apresentam condições de trafegabilidade precárias. Sem contar aquelas onde não há pavimentação e o tráfego ocorre no leito natural, existentes em várias partes do estado de Minas Gerais, principalmente nos acessos de áreas rurais. Por isso tratar as rodovias de forma diferente foi condição imprescindível no modelo de localização-alocação.

Os pontos de demanda foram obtidos através da transferência dos valores da superfície de adequação, SIACA, calculada no capítulo anterior. A distância de tolerância de 10 km de cada ponto para qualquer via foi considerada para que ele fosse incluído no modelo, resultando em 72.479 pontos de demanda, separados por uma distância de 1 km. O nível de demanda de cada ponto foi determinado pela adequação média do entorno.

Como candidatos para construção do novo armazém foram selecionados todos os pontos localizados em um nó da rede dentro das regiões indicadas como robustas (Capítulo 3), totalizando 6.617 pontos. Todos os armazéns do estado na base do SICARM/CONAB foram incluídos no modelo como competidores, incluindo aqueles localizados fora da área de estudos. A capacidade estática de todos os armazéns competidores foi considerada, transformando a

análise em um problema de p-medianas capacitado. O problema das p-medianas, definido como um clássico de localização de facilidades, consiste em localizar p facilidades (medianas) em uma rede, de modo a minimizar a soma total das distâncias de cada nó de demanda à sua mediana mais próxima. Vale lembrar que, neste processo, é esperado que os pontos selecionados estejam posicionados em uma área que atenda o maior volume de grãos possível, com preferência para pontos em rodovias trocais ou coletoras primárias, ou próximos dessas vias.

Assim, o problema foi definido para minimizar a impedância ponderada. A impedância ponderada refere-se a cada demanda alocada para um armazém multiplicada pelo respectivo custo de alocação, que neste caso foi definido como a distância percorrida. A solução tem como premissa eleger instalações logísticas sobre a rede topológica para que a soma total das impedâncias ponderadas seja minimizada. Para tanto, as viagens foram definidas da demanda para o armazém, considerando as restrições de tráfego. A distância de corte foi estabelecida como 50 km, para que cada armazém não atenda pontos de demanda localizados além dessa impedância.

A solução foi obtida no software ArcGIS na extensão *Network Analyst*. Técnicas heurísticas foram usadas para buscar a melhor alternativa, pois o espaço da solução cresce até ficar extremamente grande, impossibilitando uma solução matematicamente ótima. O solucionador gerou uma matriz OD com o caminho mais curto entre todas as instalações candidatas e pontos de demanda ao longo da rede. Em seguida, foi feita uma edição de Hillsman (HILLSMAN, 1984). Um conjunto de soluções semi randomizadas foi gerado e aplicou-se uma heurística de substituição de vértices (TEITZ; BART, 1968) para refinar as soluções, criando com isso um grupo de boas soluções. Uma meta-heurística de aglutinação combinou o grupo de boas soluções e retornou a melhor solução encontrada (ESRI, 2015).

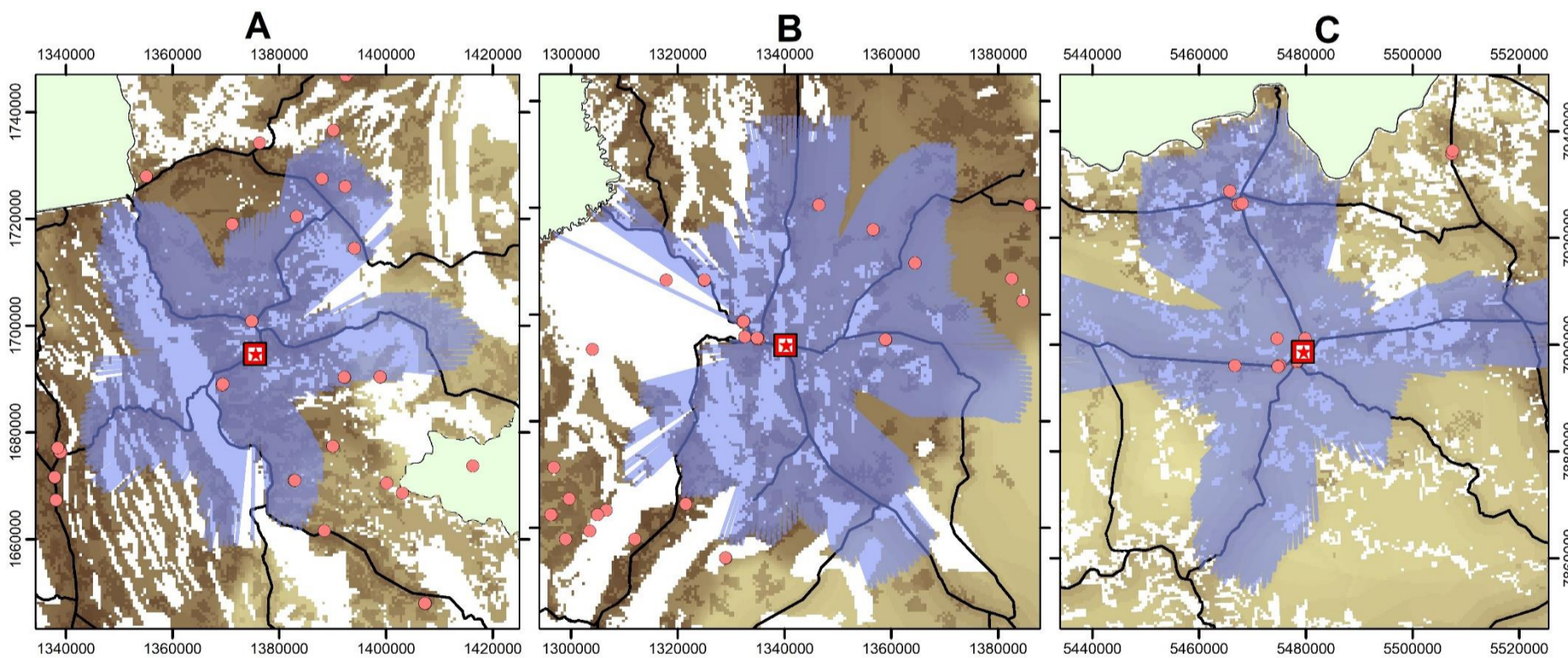
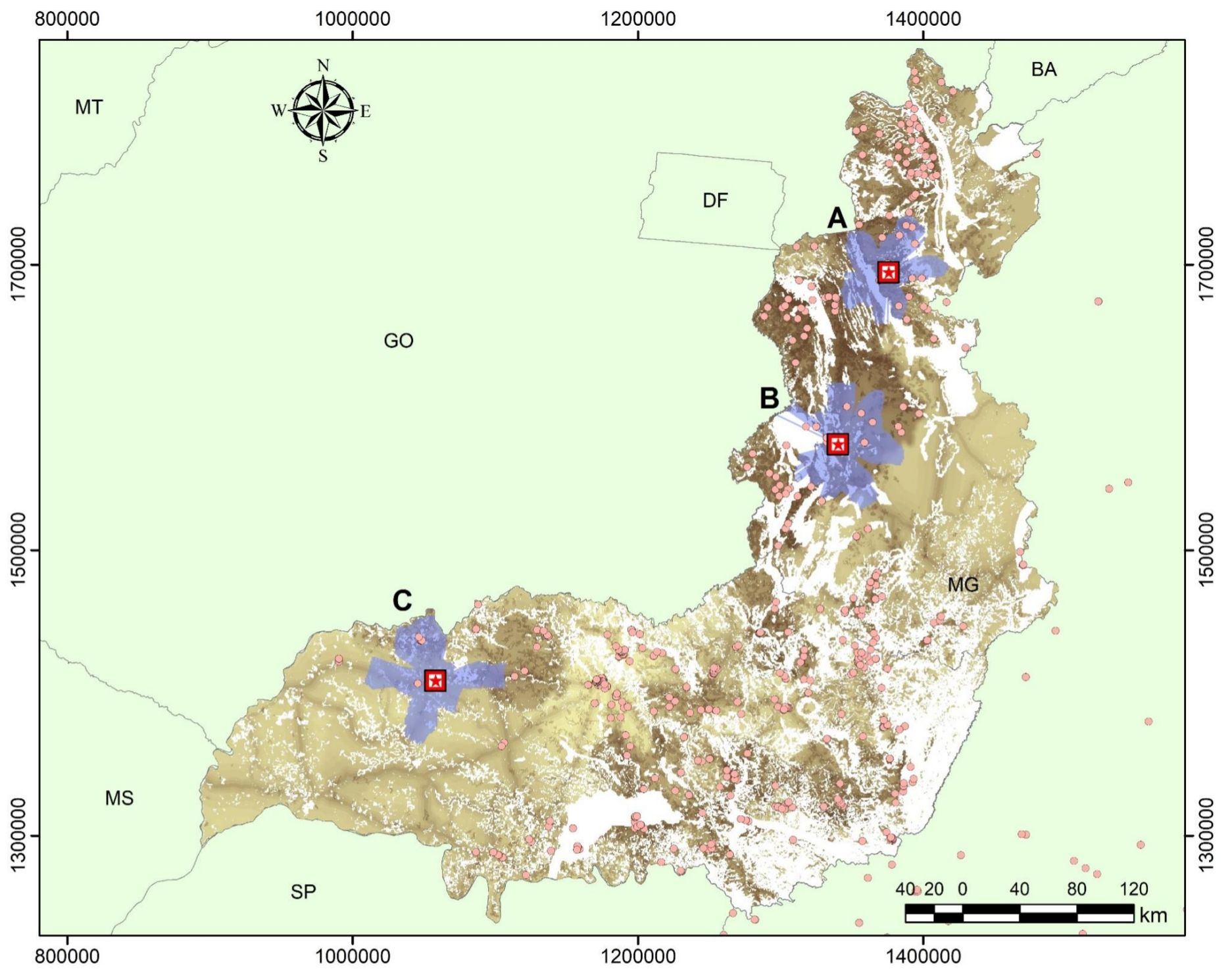
4.4 Resultados e Discussões

Esse capítulo teve como objetivo definir a localização ótima de três armazéns coletores de grãos, cujo resultado está ilustrado na Figura 20. O trabalho teve como premissa os resultados e as recomendação do capítulo anterior desta dissertação. Os armazéns **A** e **B** foram posicionados na área de maior produção de grãos do estado, e que também apresentou a maior adequação para investimentos na construção de novos armazéns em Minas Gerais. O armazém **A** foi localizado na rodovia estadual de ligação LMG-628, no município de Unaí. Já o **B** foi posicionado no município vizinho do primeiro armazém, Paracatu, no acesso da rodovia

estadual de ligação LMG-690 à rodovia federal BR-040, e também próximo ao trevo da MG-188 com a BR-040.

Chama atenção a localização do armazém **C**, que foi posicionado no entroncamento das rodovias federais BR-154, BR-464 e BR-365, em Ituiutaba, uma região com menor nível de adequação para construção de um novo armazém e menor produção agrícola. Isso é esperado devido à natureza gravitacional do modelo. Entretanto, existiam outras áreas com maior nível de adequação na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba que foram preteridas. Observou-se que o local escolhido é bem posicionado logisticamente, possui menor número de competidores e elevado número de pontos de demanda, mesmo que com potencial atual baixo.

Este resultado reforça a necessidade de um modelo robusto quando da construção de mapas de adequação para localização de armazéns. Um ponto importante a ser considerado é o fato de que se tivéssemos considerado apenas o mapa de adequação, muito provavelmente a opção **C** não teria sido selecionada. Porém, já existem vários armazéns nas regiões de maior adequação, ainda que a oferta de armazenagem seja deficiente em várias dessas localidades conforme resultados do segundo capítulo, um novo armazém encontrará uma competição bem maior do que se instalado na opção **C**. Com isso, segundo o modelo, uma unidade armazenadora instalada próximo a BR-365, no município de Ituiutaba, seria capaz de atender uma vasta região, tornando-a, portanto, uma boa candidata.



Legenda:

- | | |
|-------------------------------|-----------------------|
| ● Competidor | ■ Fora área de estudo |
| ⊠ Escolhido | □ Área de estudo |
| — Cobertura armazém escolhido | Demanda |
| — Rodovias | Alta : 0,96 |
| | Baixa : 0,10 |

Sist. Coord. Projetado: SIRGAS 2000 Equidistant Conic
 Projeção: Cônica Equidistante
 Datum: SIRGAS 2000
 Jan, 2019

Elaborado por Marlon F. Souza
 Base de dados: IBGE/DGC/CCAR, 2016
 DEER-MG, 2017
 CONAB-SIRCAM, [2016]

Figura 20. Localização dos armazéns coletores escolhidos e suas respectivas áreas de abrangência.

4.5 Considerações do Capítulo 4

Neste capítulo apresentamos a solução de um problema de p -medianas em uma rede logística através da aplicação de meta-heurísticas. Essa proposta possibilita a modelagem de problemas com menor processamento computacional e uma solução muito próxima da ótima.

Deve-se atentar, todavia, para a pertinência de revisão da otimização ora debatida, uma vez alterados os elementos subsidiários do presente estudo. Cenários ótimos são passíveis de modificações ocasionadas tanto pelo início de operações de novas rodovias, quanto pelo início da operação de estabelecimentos agrícolas, comerciais ou industriais de grande porte que demandem suporte logístico.

O número de unidades armazenadoras coletoras para a solução do problema foi definido em 3 pelo autor para que mais de uma região fosse indicada na solução, aumentando as possibilidades de análise e discussão da solução, mas ao mesmo tempo não seria um número inviável de ser construído por um mesmo empreendedor. Como sugestão de trabalhos futuros pode-se variar o número de unidades que devem constar na solução, por exemplo de 1 a 5, para possibilitar a avaliação da influência do número de instalações na solução do problema. Também pode-se considerar a construção deste modelo mais local por outras metodologias, até mesmo uma nova análise multicritério.

CONCLUSÕES

Como foi visto nos capítulos anteriores, Minas Gerais possui um papel importante no cenário do agronegócio brasileiro. Com destaque para as mesorregiões Noroeste e Triângulo Mineiro /Alto Paranaíba, pois tanto a produção agrícola, quanto a atratividade para investimento em armazenagem estão centradas principalmente nessas mesorregiões.

Esta pesquisa analisou a distribuição da oferta de armazenagem em Minas Gerais por duas metodologias diferentes, o balanço da oferta-demanda por armazenagem e os desvios da regressão espacial local GWR. Além disso propôs dois modelos de localização de instalações de armazenamento de grãos. Um modelo espacialmente explícito, fundamentado em uma AMCE que avaliou a adequação dos locais para construção de armazéns. E um modelo em rede que apontou a melhor localização de três armazéns coletores de forma a minimizar a impedância ponderada.

Dessa forma, o objetivo inicialmente proposto – de criar modelos que servirão como ferramentas de suporte na escolha da localização ideal de novas unidade armazenadoras – foi plenamente alcançado. Entretanto muitas questões foram levantadas ao longo do trabalho. Espera-se que elas possam se transformar em trabalhos futuros que contribuam para o contínuo desenvolvimento da ciência de localização.

O déficit de oferta de armazenagem no estado, considerando a capacidade dinâmica, é pouco superior a 2 milhões de toneladas, conforme apresentado no Capítulo 2. Desvios consideráveis na capacidade estática determinada pela GWR em função do nível de produção foram observados, entretanto não houve a formação de agrupamentos espaciais destes desvios (resíduos da regressão). Já na determinação pelo método da oferta de armazenagem foram observados núcleos de excedente e principalmente de déficit de armazenagem. Porém a alternância destes núcleos torna a situação menos preocupante.

Em geral, a situação da oferta de armazenagem no estado é administrável, mas merece atenção para não se tornar um problema. De qualquer forma, os resultados observados no Capítulo 2 conduzem a duas conclusões importantes. Primeira, estudos de localização de unidades armazenadoras devem considerar a dependência espacial nos modelos. Segunda, os programas governamentais de incentivo à construção de armazéns precisam considerar este tipo de diagnóstico para direcionar os incentivos para as áreas mais deficitárias em armazenamento.

De maneira geral, existem oportunidades de investimento em estruturas de armazenamento em várias regiões do estado. Destaque para a mesorregião Sul/Sudoeste que apresenta o maior número de municípios com robusta adequação para construção de armazéns

de grãos, e para a mesorregião Noroeste, que apresenta os maiores níveis de adequação e a maior área contígua.

Modelos de escala estadual, como os que foram desenvolvidos no terceiro capítulo desta dissertação, são importantes para dar uma visão mais ampla do objeto de estudo. Isso é especialmente importante quando se trata de uma instalação logística, como um armazém coletor, que faz a interligação da escala micro (os produtores da região onde está instalado) com a escala macro (sistema logístico de exportação) em uma cadeia de suprimentos agrícola. Entretanto, é importante reforçar a elevada incerteza observada, demandando atenção e cautela com a sua aplicação. Como um escopo de trabalhos futuros, os resultados observados podem ser validados com outras ferramentas de AMCE. Também é importante atentar para novas abordagens que possibilitem a redução da incerteza relacionada ao modelo. A adoção de modelos que considerem a dimensão temporal, preferencialmente incluindo previsões de possíveis cenários futuros, também é recomendada.

No último capítulo, a importância da acessibilidade logística e da menor competição foram enfatizados na escolha do armazém C. Era esperado que um terceiro armazém ficasse distante da região de maior adequação aonde foram alocados os armazéns A e B, devido à característica gravitacional do modelo, entretanto outras áreas com maior adequação foram preteridas. Dessa maneira, entende-se que o objetivo principal do quarto capítulo foi alcançado, ao ser discriminado um modelo que propiciou uma solução muito próxima da ótima com baixo custo computacional em uma escala mais detalhada, considerando os elementos logísticos e a produção agrícola para instalação de armazéns.

Espera-se que este estudo possa ser útil para a CONAB, para o Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento, para o Ministério da Infraestrutura, e demais agências governamentais para o devido suporte à construção de instalações de armazenamento bem posicionadas que facilitem a logística agrícola brasileira, e conseqüentemente o comércio internacional. Estudos dessa natureza, com base na análise e modelagem do contexto geográfico, preenchem uma lacuna em prol da modernização do planejamento de transporte, e, portanto, devem ser utilizados para guiar políticas públicas e projetos de investimento. Produtores rurais, empresas e investidores que atuam na cadeia do agronegócio também podem utilizar das proposições metodológicas e dos resultados encontrados para subsidiar suas decisões de investimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Importante informar que é de conhecimento do autor que a base de dados de armazéns do Cadastro Nacional de Unidades Armazenadoras (CNUA), adotada nessa dissertação, não possui todas as unidades existentes, faltando principalmente aquelas localizadas dentro das propriedades rurais. Apesar do Decreto n.º 3.385, de 03 de julho de 2001 (BRASIL, 2001), que regulamentou a Lei n.º 9.973, de 29 de maio de 2000 (BRASIL, 2000), estabelecendo em seu artigo 9º que as empresas jurídicas que prestam serviços de armazenagem para terceiros são obrigadas a prestarem informações relativas à identificação das unidades armazenadoras, e da obrigatoriedade, a partir de 2006, do produto agrícola amparado por qualquer instrumento de subvenção da comercialização do Governo Federal, estar depositado em armazém cadastrado no CNUA, existe um descompasso entre a realidade e as bases do cadastro (AMARAL; LORENZINI, 2006). Isso ocorre porque só há inserção do armazém na base quando o proprietário da unidade solicita a visita da CONAB e cadastro no sistema. Sendo que, muitas vezes o produtor não percebe benefício ou penalidade caso não realize o cadastro, ou quando solicita, dependendo da localidade e da época, a visita pode demorar a ocorrer, atrasando a inserção da unidade na base do CNUA. Mesmo assim, esta é uma das bases públicas de dados de armazenagem de grãos mais completa que foi encontrada.

A CONAB tem, através de mutirões de cadastramentos, realizado esforços para atualizar o cadastro (GALLARDO et al., 2010). Em setembro de 2017, foi iniciado um censo dos armazéns do país, que pretende atualizar as bases do CNUA, porém o censo se encontra em curso.

Ainda sobre as bases de armazenagem, a Pesquisa de Estoques – IBGE também traz dados de capacidade estática útil das unidades armazenadoras nas Tabelas 259, 278, 911 e 5459. Entretanto, como houve divergência entre as bases de informação do IBGE e da CONAB, foi adotada a base da CONAB por apresentar maior nível de detalhamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCORSI, R.; MANZINI, R.; MARANESI, F. A decision-support system for the design and management of warehousing systems. **Computers in Industry**, v. 65, n. 1, p. 175–186, 1 Jan. 2014.
- ACKERMAN, K. Warehousing: Origins, History and Development. In: **Practical Handbook of Warehousing**. Boston: Springer, 1990. p. 3–11.
- ALCÂNTARA, D. O desafio da armazenagem. **Agroanalysis: Revista de Agronegócios da FGV**, p. 25–26, Apr. 2006.
- ALFIERI, A.; BRANDIMARTE, P.; D’ORAZIO, S. LP-based heuristics for the capacitated lot-sizing problem: The interaction of model formulation and solution algorithm. **International Journal of Production Research**, v. 40, n. 2, p. 441–458, Jan. 2002.
- ALP, O.; ERKUT, E.; DREZNER, Z. An Efficient Genetic Algorithm for the p-Median Problem. **Annals of Operations Research**, v. 122, p. 21–42, 2003.
- AMARAL, D. D. DO. **Armazenagem agrícola no Brasil**. 1. ed. Brasília, Brasil: CONAB, 2005.
- AMARAL, D. D. DO; LORENZINI, T. **Situação da Armazenagem no Brasil 2006** CONAB. Brasília, DF, Brasil: CONAB, 2006. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 3 feb. 2019.
- AMARAL, M. DO; ALMEIDA, M. S.; MORABITO, R. Um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais para escoamento da soja brasileira destinada à exportação. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 4, p. 717–732, Dec. 2012.
- AMBROSINO, D.; SCIOMACHEN, A. Location of Mid-range Dry Ports in Multimodal Logistic Networks. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 108, p. 118–128, 2014.
- AN, K.; OUYANG, Y. Robust grain supply chain design considering post-harvest loss and harvest timing equilibrium. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 88, p. 110–128, Apr. 2016.
- ANSELIN, L.; SYABRI, I.; KHO, Y. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. **Geographical Analysis**, v. 38, n. 1, p. 5–22, 1 Jan. 2006.
- BALDACCI, R. et al. A new method for solving capacitated location problems based on a set partitioning approach. **Computers & Operations Research**, v. 29, p. 365–386, 2002.
- BALLOU, R. H. Dynamic Warehouse Location Analysis. **Journal of Marketing Research**, v. 5, n. 3, p. 271, 1968.
- BALLOU, R. H. Unresolved Issues in Supply Chain Network Design. **Information Systems Frontiers**, v. 3, n. 4, p. 417–426, 2001.
- BALLOU, R. H. **Logística empresarial: Gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 5. ed. Porto Alegre, Brasil: Bookman, 2006.
- BAPTISTA, G. et al. Panorama da armazenagem de produtos agrícolas no Brasil. **Revista do BNDES**, v. 40, p. 161–194, 2013.
- BARBOZA, P. D.; VIEIRA, J. G. V. **Análise de decisão multicritério aplicado na seleção de investimento em armazenagem de soja em grão**. XLIV SBPO & XVI CLAIO. Anais...Rio de Janeiro, RJ, Brasil: SOBRAPO, 2012. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2012/pdf/arq0182.pdf>>

- BARBOZA, P. D.; VIEIRA, J. G. V. Análise de decisão multicritério aplicada na seleção de investimento em armazenagem de soja em grão. **Produto & Produção**, v. 15, n. 2, p. 24–45, 2014.
- BARONI, G.; TARANTOLA, S. A General Probabilistic Framework for uncertainty and global sensitivity analysis of deterministic models: A hydrological case study. **Environmental Modelling & Software**, v. 51, p. 26–34, Jan. 2014.
- BECCENERI, J. C. Meta-heurísticas e Otimização Combinatória: Aplicações em Problemas Ambientais. In: **Computação e Matemática Aplicada às Ciências e Tecnologias Espaciais**. São José dos Campos: INPE, 2008. p. 65–81.
- BENDER, T. et al. Location Software and Interface with GIS and Supply Chain Management. In: DREZNER, Z.; HAMACHER, H. W. (Eds.). . **Facility Location: Applications and Theory**. 1. ed. New York: Springer-Verlag, 2002. p. 233–274.
- BERMAN, O.; DREZNER, Z. Location of congested capacitated facilities with distance-sensitive demand. **IIE Transactions**, v. 38, n. 3, p. 213–221, Mar. 2006.
- BERMAN, O.; DREZNER, Z.; WESOLOWSKY, G. O. Satisfying partial demand in facilities location. **IIE Transactions**, v. 34, n. 11, p. 971–978, Nov. 2002.
- BETRIE, G. D. et al. Selection of remedial alternatives for mine sites: A multicriteria decision analysis approach. **Journal of Environmental Management**, v. 119, p. 36–46, Apr. 2013.
- BIAGI, J. D.; BERTOL, R.; CARNEIRO, M. C. Armazéns em Unidades Centrais de Armazenamento. In: LORINI, I.; MIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M. (Eds.). . **Armazenagem de Grãos**. Campinas, SP: IBG, 2002. p. 157–161.
- BNDES. **Armazenagem Informativo Técnico: AGRIS**. Brasília, BRA: BNDES, 2013.
- BOLTURK, E. et al. Multiattribute Warehouse Location Selection in Humanitarian Logistics Using Hesitant Fuzzy AHP. **International Journal of the Analytic Hierarchy Process**, v. 8, n. 2, 19 Sep. 2016.
- BONATO, G. Uso de silos bolsa cresce no Brasil com agricultor buscando maiores lucros. **Notícias de Negócios**, 24 Nov. 2014.
- BRASIL. Lei nº 9.973, de 29 de maio de 2000. . 2000, p. 3.
- BRASIL. Decreto nº 3.855, de 3 de julho de 2001. . 2001, p. 6.
- BRUNSDON, C.; FOTHERINGHAM, A. S.; CHARLTON, M. E. Geographically Weighted Regression: A Method for Exploring Spatial Nonstationarity. **Geographical Analysis**, v. 28, n. 4, p. 281–298, 1996.
- CAIXETA-FILHO, J. V. Transporte e logística em sistemas agroindustriais. In: J.V. CAIXETA-FILHO; GAMEIRO, A. H. (Eds.). . **Movimentação rodoviária de produtos agrícolas selecionados**. São Paulo: Atlas, 2001.
- CAIXETA-FILHO, J. V. (ESALQ/USP). **A Logística do escoamento da safra brasileira CEPEA/USP Piracicaba CEPEA/USP**, , 2006. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br>>
- CARDOZO, O. D.; GARCÍA-PALOMARES, J. C.; GUTIÉRREZ, J. Application of geographically weighted regression to the direct forecasting of transit ridership at station-level. **Applied Geography**, v. 34, p. 548–558, May 2012.
- CAVINATO, J. L. Supply chain logistics risks. **International Journal of Physical**

- Distribution & Logistics Management**, v. 34, n. 5, p. 383–387, 11 Jun. 2004.
- CEPEA, C. DE E. A. EM E. A. **PIB do Agronegócio Brasileiro**CEPEA - Esalq/USP. Piracicaba, SP, BRA: Imagenet Tecnologia, 2018. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 20 dec. 2018.
- CHEN, Y.; YU, J.; KHAN, S. Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. **Environmental Modelling & Software**, v. 25, n. 12, p. 1582–1591, Dec. 2010.
- CHEN, Y.; YU, J.; KHAN, S. The spatial framework for weight sensitivity analysis in AHP-based multi-criteria decision making. **Environmental Modelling & Software**, v. 48, p. 129–140, Oct. 2013.
- CHIGOVERAH, A. A.; MVUMI, B. M. Efficacy of metal silos and hermetic bags against stored-maize insect pests under simulated smallholder farmer conditions. **Journal of Stored Products Research**, v. 69, p. 179–189, Oct. 2016.
- CHRISTOFIDES, N.; BEASLEY, J. E. A tree search algorithm for the p-median problem. **European Journal of Operational Research**, v. 10, n. 2, p. 196–204, 1 Jun. 1982.
- CHUN, Y.; KIM, H.; KIM, C. Modeling interregional commodity flows with incorporating network autocorrelation in spatial interaction models: An application of the US interstate commodity flows. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 36, n. 6, p. 583–591, Nov. 2012.
- CHURCH, R. L.; MURRAY, A. T. **Business Site Selection, Location Analysis and GIS**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- CONAB. **Sistema de Cadastro Nacional de Unidades Armazenadoras - SICARM**Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). Brasília, Brasil: CONAB, 2016. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/armazenagem/sistema-de-cadastro-nacional-de-unidades-armazenadoras-sicarm>>. Acesso em: 20 dec. 2018.
- CONAB. **Evolução da Capacidade Estática dos Armazéns**Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). Brasília, Brasil: CONAB, 2017a. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 21 nov. 2017.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: 4º levantamento**Monitoramento agrícola- Safra 2016/2017. Brasília, Brasil: CONAB, 2017b. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 20 jul. 2018.
- CONAB. **Série Histórica das Safras**Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). Brasília, Brasil: CONAB, 2017c. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=10>>. Acesso em: 21 nov. 2017.
- CROSETTO, M.; TARANTOLA, S. Uncertainty and sensitivity analysis: tools for GIS-based model implementation. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 15, n. 5, p. 415–437, 6 Jul. 2001.
- DE MOL, R. M.; VAN BEEK, P. An OR contribution to the solution of the environmental problems in the Netherlands caused by manure. **European Journal of Operational Research**, v. 52, p. 16–27, 1991.
- DEDHIA, P. Logistics Warehousing History and Changing Trends. **LinkedIn**, Nov. 2016.
- DEMIREL, T.; DEMIREL, N. Ç.; KAHRAMAN, C. Multi-criteria warehouse location

- selection using Choquet integral. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 5, p. 3943–3952, May 2010.
- DEY, B. et al. Group heterogeneity in multi member decision making model with an application to warehouse location selection in a supply chain. **Computers & Industrial Engineering**, v. 105, p. 101–122, Mar. 2017.
- DINIZ, M. J.; NASCIMENTO, J. W. B. Análise de pressões em silo vertical de alvenaria de tijolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 212–219, Mar. 2006.
- DREZNER, Z.; HAMACHER, H. W. **Facility location: applications and theory**. 1. ed. New York: Springer, 2002.
- ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L. **Tecnologias de pré-armazenamento, armazenamento e conservação de grãos** Capão do Leão, RS, Brasil LABGRÃOS. DCTA – FAEM, UFPel, , 2017. Disponível em: <<http://labgraos.com.br/>>
- ESRI. **Location-allocation analysis—Help | ArcGIS Desktop**. Disponível em: <<https://desktop.arcgis.com/en/>>. Acesso em: 4 jan. 2019.
- FAO; OECD. **Price Volatility in Food and Agricultural Markets: Policy Responses** FAO: Responses to 5th G20 meeting. Roma, Italy: FAO, 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 16 jan. 2019.
- FARAHANI, R. Z. et al. Hierarchical facility location problem: Models, classifications, techniques, and applications. **Computers and Industrial Engineering**, v. 68, n. 1, p. 104–117, 2014.
- FARHI, M. Derivativos financeiros: hedge, especulação e arbitragem. **Economia e Sociedade**, v. 8, n. 13, p. 93–114, 1999.
- FARIAS, A. R. et al. **Identificação, mapeamento e quantificação das áreas urbanas do Brasil** Embrapa **Gestão Territorial**: Comunicado Técnico. Campinas, SP: Embrapa, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br>>. Acesso em: 24 jan. 2019.
- FARONI, L. R. A. et al. Armazenamento de soja em silos tipo bolsa. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 1, p. 91–100, 2009.
- FISCHER, M. M.; GRIFFITH, D. A. Modeling spatial autocorrelation in spatial interaction data: An application to patent citation data in the european union. **Journal of Regional Science**, v. 48, n. 5, p. 969–989, 1 Dec. 2008.
- FJP. **Produto Interno Bruto (PIB) de Minas Gerais: Relatório anual 2015** Estatística & Informações: Produto Interno Bruto. Belo Horizonte: Fundação João Pineiro, 2017a.
- FJP. **PIB Trimestral de Minas Gerais: 4º trimestre de 2016** Indicadores CEI: Indicadores CEI. Belo Horizonte: Fundação João Pineiro, 2017b.
- FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337–342, 12 Oct. 2011.
- FONSECA, B. M. **Conceitos e práticas de Geodesign aplicados ao ordenamento territorial do município de São Gonçalo do Rio Abaixo**. Belo Horizonte: UFMG, 2015.
- FRANCIS, R. L.; LOWE, T. J.; TAMIR, A. Aggregation Error Bounds for a Class of Location Models. **Operations Research**, v. 48, n. 2, p. 294, 2000.
- FREDERICO, S. The Modern Agricultural Frontier and Logistics : the Importance of the

- Soybean and Grain Storage System in Brazil. *Terrae*, v. 8, n. (1-2), p. 26–34, 2011.
- FUNAI. **Terras Indígenas**. Disponível em: <<http://www.funai.gov.br/index.php/shape>>. Acesso em: 24 jan. 2019.
- GALLARDO, A. P. et al. **Avaliação da capacidade da infra estrutura de armazenagem para os granéis agrícolas no Centro-Oeste brasileiro**CEGN – Centro de Estudos em Gestão Naval, , 2010. Disponível em: <<https://www.academia.edu/9788061>>
- GELDERS, L. F.; PINTELON, L. M.; VAN WASSENHOVE, L. N. A location-allocation problem in a large Belgian brewery. *European Journal of Operational Research*, v. 28, p. 196–206, 1987.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo, SP, Brasil: Atlas, 2002.
- GOEPEL, K. D. **Implementing the Analytic Hierarchy Process as a standard method for multi-criteria decision making in corporate enterprises - A new AHP Excel template with multiple inputs**. Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process. *Anais...*Kuala Lumpur: 2013Disponível em: <<https://bpmmsg.com/new-ahp-excel-template-with-multiple-inputs/>>. Acesso em: 29 dec. 2018
- GOEPEL, K. D. Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, v. 10, n. 3, 6 Dec. 2018.
- GUIMARÃES, V. D. A. et al. Localização-alocação de centros de integração logística submetidos a demandas par-a-par. *TRANSPORTES*, v. 25, n. 1, p. 1–10, 1 Mar. 2017.
- HAKIMI, S. L. Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph. *Operations Research*, v. 12, n. 3, p. 450–459, 1 Jun. 1964.
- HARRIS, P.; BRUNSDON, C.; FOTHERINGHAM, A. S. Links, comparisons and extensions of the geographically weighted regression model when used as a spatial predictor. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, v. 25, n. 2, p. 123–138, 3 Feb. 2011.
- HARRIS, R.; DONG, G.; ZHANG, W. Using Contextualized Geographically Weighted Regression to Model the Spatial Heterogeneity of Land Prices in Beijing, China. *Transactions in GIS*, v. 17, n. 6, p. 901–919, Dec. 2013.
- HARRISON, H.; WILLS, D. R. Product Assembly and Distribution Optimization in an Agribusiness Cooperative. *Interfaces*, v. 13, n. 2, p. 1–9, 1 Apr. 1983.
- HILLSMAN, E. L. The p -Median Structure as a Unified Linear Model for Location— Allocation Analysis. *Environment and Planning A*, v. 16, n. 3, p. 305–318, 24 Mar. 1984.
- IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2016PAM - IBGE**. Brasília, Brasil: IBGE, 2017a. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 20 dec. 2018.
- IBGE. **Minas Gerais | Informações por Cidade e Estado**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 dec. 2018b.
- IBGE. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2017**IBGE. Brasília, Brasil: IBGE, 2017c. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 18 nov. 2017.
- JÄRVINEN, P.; RAJALA, J.; SINERVO, H. Technical Note-A Branch-and-Bound Algorithm for Seeking the P-Median. *Operations Research*, v. 20, n. 1, p. 173, 1972.

- JIAN, F.; NARENDRAN, R. B.; JAYAS, D. S. Segregation in stored grain bulks: Kinematics, dynamics, mechanisms, and minimization – A review. **Journal of Stored Products Research**, v. 81, p. 11–21, Mar. 2019.
- KERKMAN, K.; MARTENS, K.; MEURS, H. Predicting travel flows with spatially explicit aggregate models. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 118, p. 68–88, Dec. 2018.
- KLIBI, W.; MARTEL, A.; GUITOUNI, A. The design of robust value-creating supply chain networks: A critical review. **European Journal of Operational Research**, v. 203, n. 2, p. 283–293, Jun. 2010.
- LAPIG; CPT. **Conflitos agrícolas por terra e água**. Disponível em: <<http://maps.lapig.iesa.ufg.br/lapig.html>>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- LAPIG; MMA. **Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade do Brasil**. Disponível em: <<http://maps.lapig.iesa.ufg.br/lapig.html>>. Acesso em: 24 jan. 2019.
- LEE, K. H. et al. Understanding spatial variation of physical inactivity across the continental United States. **Landscape and Urban Planning**, v. 168, p. 61–71, Dec. 2017.
- LI, D. et al. Sustainable food supply chain management. **International Journal of Production Economics**, v. 152, p. 1–8, 1 Jun. 2014.
- LI, Y.; LIU, X.; CHEN, Y. Selection of logistics center location using Axiomatic Fuzzy Set and TOPSIS methodology in logistics management. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 6, p. 7901–7908, Jun. 2011.
- LIANG, X. et al. The effects of locational factors on the housing prices of residential communities: The case of Ningbo, China. **Habitat International**, v. 81, p. 1–11, Nov. 2018.
- LIGMANN-ZIELINSKA, A.; JANKOWSKI, P. Spatially-explicit integrated uncertainty and sensitivity analysis of criteria weights in multicriteria land suitability evaluation. **Environmental Modelling and Software**, v. 57, p. 235–247, 1 Jul. 2014.
- LIMA, R. DA S. **Bases para uma metodologia de apoio à decisão para serviços de educação e saúde sob a ótica dos transportes**. São Carlos: Univ. de São Paulo, 2003.
- LUCAS, M. T.; CHHAJED, D. Applications of location analysis in agriculture: a survey. **Journal of the Operational Research Society**, v. 55, n. 6, p. 561–578, 21 Jun. 2004.
- MANZINI, R.; ACCORSI, R. The new conceptual framework for food supply chain assessment. **Journal of Food Engineering**, v. 115, n. 2, p. 251–263, 1 Mar. 2013.
- MAPA. **Valor Bruto da Produção Agropecuária de 2017Brasil**. Brasília, Brasil: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2017a. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 20 dec. 2018.
- MAPA. **Plano Agrícola e Pecuário: 2017/2018Brasil**. Brasília, DF, Brasil: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA/SPA, 2017b. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 20 dec. 2018.
- MAPA, S. M. S.; LIMA, R. DA S. Uso combinado de sistemas de informações geográficas para transportes e programação linear inteira mista em problemas de localização de instalações. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 1, p. 119–136, 2012.
- MARTINS, R. S. et al. Decisões estratégicas na logística do agronegócio: compensação de custos transporte-armazenagem para a soja no estado do Paraná. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 9, n. 1, p. 53–78, 2005.

- MC CARTHY, U. et al. Global food security – Issues, challenges and technological solutions. **Trends in Food Science & Technology**, v. 77, p. 11–20, Jul. 2018.
- MITCHEL, A. **The ESRI Guide to GIS analysis**. Redlands: ESRI Press, 2005. v. 2
- MMA/CNUC. **Dados Georreferenciados: Cadastro Nacional de Unidades de Conservação**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georreferenciados>>. Acesso em: 24 jan. 2019.
- MORAES, L. A. M. DE. Brazil's agricultural policy developments. **Revista de Política Agrícola**, n. 3, p. 55–64, 2014.
- MOURA, A. C. M.; JANKOWSKI, P.; COCCO, C. Contribuições aos Estudos de Análises de Incertezas como Complementação às Análises Multicritérios. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 4, n. 68, p. 1–20, 2016.
- MURRAY, A. T. Advances in location modeling: GIS linkages and contributions. **Journal of Geographical Systems**, v. 12, n. 3, p. 335–354, 2010.
- NAMBIAR, J. M.; GELDERS, L. F.; VAN WASSENHOVE, L. N. Plant location and vehicle routing in the Malaysian rubber smallholder A case study sector. **European Journal of Operational Research**, v. 38, p. 14–26, 1989.
- NASCIMENTO, J. W. B. DO et al. Blocos de concreto para construção modular de silos cilíndricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. suppl, p. 991–998, Dec. 2009.
- NEEBE, A. W. A Branch and Bound Algorithm for the p-Median Transportation Problem. **The Journal of the Operational Research Society**, v. 29, n. 10, p. 989, Oct. 1978.
- NOGUEIRA JUNIOR, S.; TSUNECHIRO, A. Produção agrícola e infra-estrutura de armazenagem no Brasil. **Informações Econômicas**, v. 35, n. 2, p. 7–18, 2005.
- NOGUEIRA JUNIOR, S.; TSUNECHIRO, A. **Pontos críticos da armazenagem de grãos no Brasil**. São Paulo, SP, Brasil: IEA, 2011. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br>>.
- NOSSENT, J.; ELSSEN, P.; BAUWENS, W. Sobol' sensitivity analysis of a complex environmental model. **Environmental Modelling & Software**, v. 26, n. 12, p. 1515–1525, Dec. 2011.
- OWEN, S. H.; DASKIN, M. S. Strategic facility location: A review. **European Journal of Operational Research**, v. 111, n. 3, p. 423–447, 1998.
- ÖZCAN, T.; ÇELEBI, N.; ESNAF, Ş. Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 8, p. 9773–9779, Aug. 2011.
- PATINO, M. T. O. et al. Analysis and forecast of the storage needs of soybeans in Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 4, p. 834–843, 2013.
- PEROBELLI, F. S. Cash and Carry. **Agroanalysis: Revista de Agronegócios da FGV**, v. 26, n. 1, p. 49, Jan. 2006.
- PRINS, C. et al. Solving the Capacitated Location-Routing Problem by a Cooperative Lagrangean Relaxation-Granular Tabu Search Heuristic. **Transportation Science**, v. 41, n. 4, p. 470–483, Nov. 2007.
- PROSEKOV, A. Y.; IVANOVA, S. A. Food security: The challenge of the present. **Geoforum**, v. 91, p. 73–77, May 2018.

- PUZZI, D. **Manual de armazenamento de grãos**. São Paulo, SP, Brasil: Agronômica Ceres, 1977.
- RAHMAN, M. A. et al. An integrated study of spatial multicriteria analysis and mathematical modelling for managed aquifer recharge site suitability mapping and site ranking at Northern Gaza coastal aquifer. **Journal of Environmental Management**, v. 124, p. 25–39, Jul. 2013.
- RAMOS, R. A. R. **Localização Industrial: Um Modelo Espacial Para o Noroeste De Portugal**. Braga, Portugal: Universidade do Minho, 2000.
- RAO, C. et al. Location selection of city logistics centers under sustainability. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 36, p. 29–44, 2015.
- REVELLE, C. S.; EISELT, H. A. Location analysis: A synthesis and survey. **European Journal of Operational Research**, v. 165, n. 1, p. 1–19, Aug. 2005.
- REVELLE, C. S.; EISELT, H. A.; DASKIN, M. S. A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science. **European Journal of Operational Research**, v. 184, n. 3, p. 817–848, Feb. 2008.
- RIBEIRO, C. D. O.; SOSNOSKI, A. A. K. B.; OLIVEIRA, S. M. DE. Um modelo hierárquico para previsão de preços de commodities agrícolas. **Revista Produção Online**, v. 10, n. 4, p. 719–733, 21 Nov. 2010.
- ROCHA, F. V. et al. **Avaliação dos ganhos logísticos com a utilização da armazenagem entre os anos 2009 e 2011**. 50º Congresso da SOBER. **Anais...** Vitória, ES, Brasil: 2012
- ROCHA, F. V. et al. **Fatores Que Afetam A Decisão do Produtor em Investir em Novos Armazéns Agrícolas**. XVII SemeAd. **Anais...**São Paulo, SP, Brasil: FEA/USP, 2014Disponível em: <<http://semead.com.br/17/resultado-17-semead/>>
- ROH, S. et al. The pre-positioning of warehouses at regional and local levels for a humanitarian relief organisation. **International Journal of Production Economics**, v. 170, p. 616–628, Dec. 2015.
- SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9–26, Sep. 1990.
- SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83, 2008.
- SAKKA, M. K.; ATHANASSIOU, C. G. Competition of three stored-product bostrychids on different temperatures and commodities. **Journal of Stored Products Research**, v. 79, p. 34–39, Dec. 2018.
- SALTELLI, A. et al. Variance based sensitivity analysis of model output. Design and estimator for the total sensitivity index. **Computer Physics Communications**, v. 181, p. 259–270, 2010.
- SANTOS, A. B.; SPROESSER, R. L.; BATALHA, M. O. Exploring strategic characteristics of intermodal grain terminals: Empirical evidence from Brazil. **Journal of Transport Geography**, v. 66, p. 259–267, Jan. 2018.
- SHEEHAN, K. R.; STRAGER, M. P.; WELSH, S. A. Advantages of Geographically Weighted Regression for Modeling Benthic Substrate in Two Greater Yellowstone Ecosystem Streams. **Environmental Modeling & Assessment**, v. 18, n. 2, p. 209–219, 5 Apr. 2013.
- SHEPHERD, B. **Aid for Trade and value Chains in Transport and Logistics**OECD/WTO.

- Paris, France: OECD, 2013. Disponível em: <https://www.oecd.org/dac/aft/AidforTrade_SectorStudy_Transport.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2019.
- SHEU, J. B.; LIN, A. Y. S. Hierarchical facility network planning model for global logistics network configurations. **Applied Mathematical Modelling**, v. 36, n. 7, p. 3053–3066, 2012.
- SILVA, J. S. **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995.
- SILVA, J. S.; CAMPOS, M. G.; SILVEIRA, S. DE F. R. Armazenagem e comercialização de grão no Brasil. In: SILVA, J. DE S. (Ed.). **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. 2. ed. Viçosa, MG, BRA: Aprenda Fácil, 2008. p. 8–27.
- SILVA NETO, W. A. DA; ARRUDA, P. DO N.; BASTOS, A. DA C. O déficit na capacidade estática de armazenagem de grãos no estado de Goiás. **Gestão & Regionalidade**, v. 32, n. 96, p. 151–169, 10 Nov. 2016.
- SINGH, R. K.; CHAUDHARY, N.; SAXENA, N. Selection of warehouse location for a global supply chain: A case study. **IIMB Management Review**, Sep. 2018.
- SNYDER, J. P. **Map Projections: A Working Manual**. Washington, DC, USA: United States Government Printing Office, 1987.
- SOARES-FILHO, B. S. et al. **OTIMIZAGRO: Uma plataforma integrada de modelagem de uso e mudanças no uso da terra para o Brasil**. Disponível em: <<http://maps.csr.ufmg.br/>>. Acesso em: 16 jan. 2019.
- SOPHA, B. M. et al. Urban distribution center location: Combination of spatial analysis and multi-objective mixed-integer linear programming. **International Journal of Engineering Business Management**, v. 8, p. 1–10, 2016.
- SOUZA, M. F. DE; NÓBREGA, R. A. DE A.; GUIMARÃES, T. T. **Análise da distribuição espacial do déficit de armazenagem de grãos em Minas Gerais , BRA**. Proceedings of XIII Latin American and Caribbean Congress of Agricultural Engineering - CLIA 2018. **Anais...**San Jose, Costa Rica: 2018
- TEITZ, M. B.; BART, P. Heuristic Methods for Estimating the Generalized Vertex Median of a Weighted Graph. **Operations Research**, v. 16, n. 5, p. 955–961, 1 Oct. 1968.
- TESFAMARIAM, S.; RAJANI, B.; SADIQ, R. Possibilistic approach for consideration of uncertainties to estimate structural capacity of ageing cast iron water mains. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 33, n. 8, p. 1050–1064, 1 Aug. 2006.
- TESFAMARIAM, S.; SADIQ, R. Probabilistic risk analysis using ordered weighted averaging (OWA) operators. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, 2008.
- TOMPKINS, J. A.; SMITH, J. D. **The Warehouse Management Handbook**. 1. ed. Raleigh, NC, EUA: Tompkins Press, 1998.
- VALENTE, D. S. M. **Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão com acesso pela internet para determinação de custos em unidades armazenadoras**. Viçosa, MG, BRA: Universidade Federal de Viçosa, 2007.
- VALENTE, D. S. M. et al. A decision support system for cost determination in grain storage facility operations. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 4, p. 735–744, 2011.
- VALENTE, D. S. M. et al. Spatial variability of apparent electrical conductivity and soil properties in a coffee production field. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 6, p. 1224–1233,

Dec. 2014.

- VALLIM FILHO, A. R. DE A. **Localização de centros de distribuição de carga: contribuições à modelagem matemática**. São Paulo, SP, Brasil: Universidade de São Paulo, 2004.
- VALLIM FILHO, A. R. DE A.; GUALDA, N. D. F. **Contribuições à modelagem matemática do problema da localização de centros de distribuição de carga**. XVIII ANPET. **Anais...**2014
- WANG, C.-H.; CHEN, N. A geographically weighted regression approach to investigating the spatially varied built-environment effects on community opportunity. **Journal of Transport Geography**, v. 62, p. 136–147, Jun. 2017.
- WEBER, E. A. **Armazenagem Agrícola**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2001.
- WRIGHT, B. D. International Grain Reserves And Other Instruments to Address Volatility in Grain Markets. **The World Bank Research Observer**, v. 27, n. 2, p. 222–260, 1 Aug. 2012.
- YANG, H. et al. Spatial variations in active mode trip volume at intersections: a local analysis utilizing geographically weighted regression. **Journal of Transport Geography**, v. 64, p. 184–194, Oct. 2017.
- ZHANG, Y. et al. On the spatial relationship between ecosystem services and urbanization: A case study in Wuhan, China. **Science of the Total Environment**, v. 637–638, p. 780–790, 2018.
- ZHANG, Z.-H. et al. An integrated supply chain network design problem for bidirectional flows. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 9, p. 4298–4308, Jul. 2014.

MATERIAL SUPLEMENTAR

APÊNDICE

AP2. Apêndice do Capítulo 2

AP2.1. Cálculo da Oferta de Armazenagem

AP2.1.1. Método

No cálculo da oferta de armazenagem, a produção total anual de cereais, leguminosas, oleaginosas e café foi multiplicada por 1,2, seguindo-se uma recomendação da FAO para que sistema de armazenamento seja capaz de comportar oscilações positivas na produção. Já a capacidade de armazenamento considerada foi dinâmica, que é a capacidade estática ponderada pelo giro (índice de rotatividade, que indica quantas vezes o armazém enche em um ano) e por um fator de redução de demanda devido a utilização de estruturas temporárias de armazenamento, como silos *bag*. Dessa forma, a oferta de armazenagem para cada um dos municípios de Minas foi calculada conforme Equação (5).

$$O = (CE \times G \times ET) - (PRD \times 1,2) \quad (5)$$

Onde: O = Oferta de armazenagem estimada;

CE = Capacidade estática;

G = Giro de estoques;

ET = Fator de redução da demanda devido a utilização de estruturas temporárias (silos bolsa);

PRD = Produção de grãos

Maia et al. (2013) afirmam que a dificuldade para a obtenção da capacidade dinâmica é a definição de um fator de rotatividade que reflita a realidade brasileira. Sabe-se que existe grande diferença do giro dentre os tipos de armazém existentes, dependendo da atividade do mesmo. Além disso, no Brasil várias safras não coincidem, e não se colhe toda a produção simultaneamente (CONAB, 2005; MAIA et al., 2013). Neste trabalho, o giro foi estimado a partir de entrevistas com profissionais da área, de acordo com o tipo de atividade e a propriedade da unidade, sendo apresentado na Tabela 6. Giro estimado de acordo com o tipo de propriedade e atividade do estabelecimento.. Na sequência foi calculado um giro médio para cada municipalidade. Como referência, Nogueira Jr. e Tsunehiro (2005) calcularam a capacidade

dinâmica no Brasil utilizando o fator de rotatividade de 1,5, apontado pelos autores como valor padrão universal.

Tabela 6. Giro estimado de acordo com o tipo de propriedade e atividade do estabelecimento.

Tipo de propriedade da empresa	Tipo de atividade do estabelecimento	Giro
Governo	Comércio (exceto supermercado)	1,2
	Indústria	1,6
	Serviço de armazenagem	1,0
	Produção agropecuária	1,0
Iniciativa privada (exceto cooperativa)	Comércio (exceto supermercado)	1,5
	Indústria	3,5
	Serviço de armazenagem	1,5
	Produção agropecuária	1,3
Cooperativa	Comércio (exceto supermercado)	1,5
	Indústria	2,5
	Serviço de armazenagem	1,3
	Produção agropecuária	1,2
Economia mista	Comércio (exceto supermercado)	1,5
	Indústria	2,5
	Serviço de armazenagem	1,2
	Produção agropecuária	1,0

Obs.: Elaborado pelo autor a partir de entrevistas de campo e dados da Pesquisa de Estoques/IBGE. A atividade “Supermercado” não aparece, pois deixou de ser investigada a partir do 2º semestre de 2014, em decorrência de reformulação da Pesquisa.

O tipo de propriedade, utilizado para determinação do giro de estoque (G), foi obtido na Tabela 278 da Pesquisa de estoques. Porém, nesta tabela os valores de capacidade estática para “*Armazéns convencionais, estruturais e infláveis*” estão em metros cúbicos (m³). A fim de possibilitar o cálculo, os valores foram convertidos em toneladas (t). A conversão considerou 0,785 t/m³, valor utilizado em IBGE (2011) e Maia et al. (2013), baseado na densidade do milho e da soja.

Para determinação do fator de redução da demanda devido a utilização de estruturas temporárias (ET) foram utilizados dados de venda de silos *bag*.

Após o cálculo da oferta de armazenagem de cada município, foi feita uma análise de *kernel*, utilizando a ferramenta *Kernel Density (Spatial Analyst)* do ArcGIS, identificando as áreas que apresentam concentração de déficit ou excedente de armazenagem.

AP2.1.2. Resultados

O valor médio do giro estimado (G) para os municípios mineiros que possuem unidades armazenadoras ficou em 1,4, um pouco abaixo do giro de 1,5 utilizado por Nogueira Jr. e Tsunechiro (2005). Já o fator de redução de demanda por utilização de estrutura temporária (ET) foi estimado em 4%. Portanto a capacidade dinâmica de armazenamento foi estimada como sendo, em média, 46% superior a capacidade estática (CE).

Considerando a capacidade dinâmica, o déficit de armazenagem no estado é pouco superior a 2 milhões de toneladas. Observa-se no mapa da Figura 7B a oferta de armazenagem dos municípios de Minas Gerais, sendo possível identificar as regiões que apresentam déficit, ou excedente em capacidade de armazenamento.

Os municípios onde a produção anual total de cereais, leguminosas, oleaginosas e café é inferior a 1200 t (conforme corte adotado pelo IBGE na Pesquisa de Estoques) e que não possuem unidades armazenadoras registradas no SICARM não são objeto de interesse deste estudo. Já que a produção é insignificante para justificar a instalação de uma estrutura de armazenamento de maior porte e com tecnologias avançadas, muito provavelmente o armazenamento é realizado em estruturas rústicas de pequeno porte, como paióis, galpões e celeiros.

As cidades com excedente de capacidade estática são importantes polos de produção, comercialização, armazenamento e distribuição de commodities agrícolas. Uberlândia (Maior excedente) é um polo do agronegócio que abriga fábricas e empresas, além de ser um importante centro logístico. Varginha (2º maior excedente) é um dos principais centros de comércio e produção de café do Brasil e do mundo. Araguari (3º maior excedente) é um importante centro logístico, abrigando um dos maiores terminais de transbordo de grãos e fertilizante da América Latina. Em Guaxupé (4º maior excedente) a produção de café é tão importante, que a cidade é a sede de uma das maiores cooperativas da América Latina. Destacam-se ainda Patrocínio, São Sebastião do Paraíso, Alfenas, São Gotardo, Contagem, Iraí de Minas e Elói Mendes.

Já as cidades com capacidade estática bem abaixo do esperado situam-se majoritariamente no Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Noroeste de Minas. As cidades do Triângulo Mineiro estão no entorno de Uberlândia, Araguari e Patrocínio. Nesse caso a produção vai direto da lavoura para a exportação, ou para as unidades de processamento. Nesses municípios, a distância percorrida pelos grãos da lavoura até uma unidade armazenadora, onde será feita a limpeza, classificação e padronização do produto é geralmente maior do que o

recomendado, porém em boa parte das vezes o grão não terá que ser transportado novamente até uma fábrica ou transbordo, pois já se encontrará em uma dessas instalações.

A situação mais crítica é encontrada no Noroeste de Minas, onde estão o primeiro (Unaí), terceiro (Paracatu) e quarto (Guarda-Mor) maiores déficits. Nessa mesorregião há uma concentração de déficit de armazenagem (Figura 21) que pode impactar na competitividade do agronegócio.

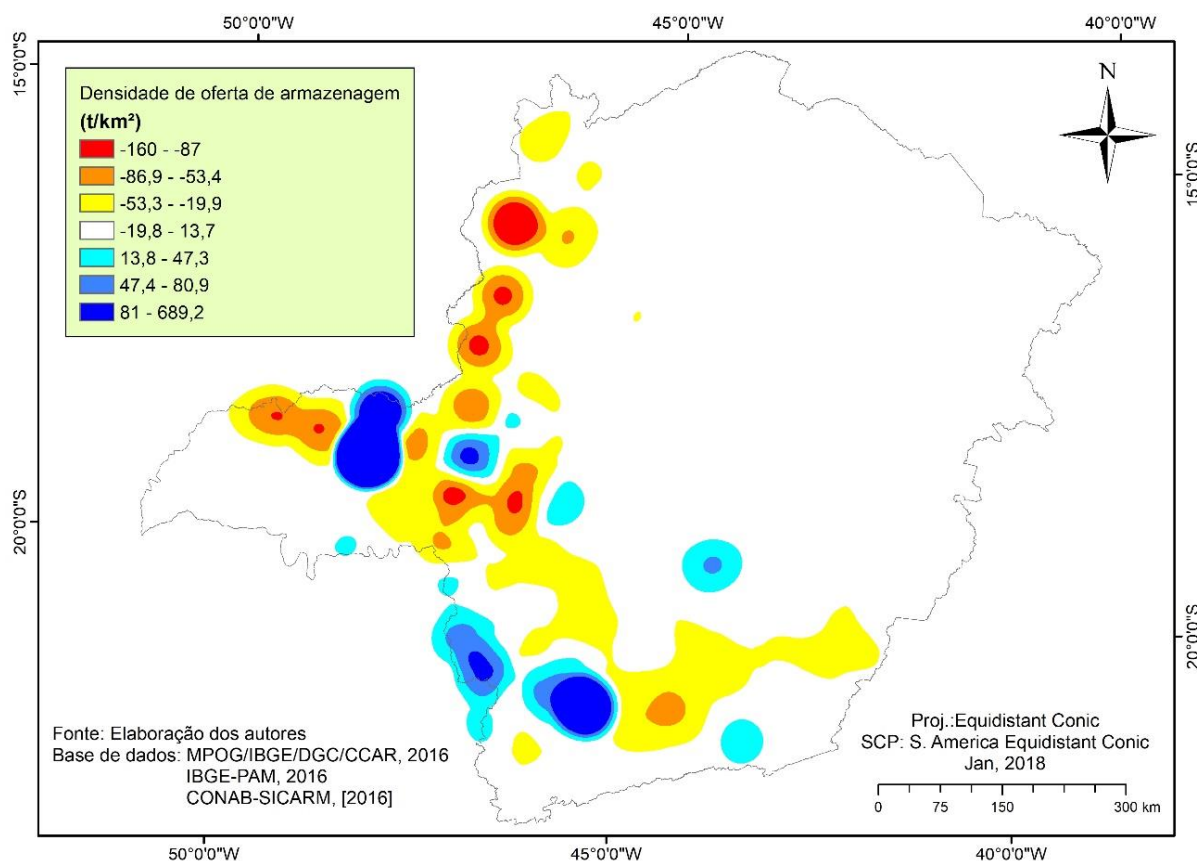


Figura 21. Densidade de *kernel* da oferta de armazenagem, indicando (em vermelho) as áreas com concentração de déficit.

Via de regra, não há formação de grandes agrupamentos de déficit de armazenagem no estado. Os núcleos se alternam entre déficit e excedente, apesar da área deficitária maior.

AP3. Apêndice do Capítulo 3

AP3.1. Cálculo das variáveis que compõe a SIACA

AP3.1.1. Metodologia para construção das variáveis

A influência de grandes instalações é uma competição tão díspar que pode inviabilizar um novo armazém, e por isso foi considerada como um critério separado. O raio de cobertura de qualquer instalação (comercial, industrial ou logística) se altera com mudanças de mercado, dependendo do equilíbrio oferta-demanda. Porém, sabe-se que o raio de uma unidade armazenadora de grãos varia entre 30 e 50 km, dependendo das condições de acesso e da existência de outras unidades na área. Já a área de influência de uma planta de esmagamento é bem maior, devido ao valor agregado pelo processamento dos grãos, interferindo na competitividade em preço ao produtor de grãos. Por sua vez, o Centro de Integração Logística (CIL), popularmente denominado de transbordo, apesar de exercer grande alcance, tem menor impacto na viabilidade de armazéns próximos, pois só recebe produtos dentro do padrão de exportação. Na Tabela 7 são apresentados os pesos utilizados para a indústria e para os terminais de transbordo.

Tabela 7. Pesos atribuídos considerando a distância até as instalações.

Indústria		Terminais logísticos	
Raio (km)	Peso	Raio (km)	Peso
Até 10	0	Até 20	0,5
10 - 30	0,2	20 - 40	0,6
30 - 50	0,4	40 - 60	0,7
50 - 100	0,6	60 - 80	0,8
100 - 150	0,8	80 - 100	0,9
150 - 250	0,9	> 100	1,0
> 250	1,0		

As áreas com oferta de armazenagem deficiente foram selecionadas segundo a Equação 3. O ajuste foi realizado, pois a oferta contempla tanto o déficit quanto o excedente de armazenagem, sendo o primeiro atrativo e o segundo repelente para investimento em armazenamento, ajustou-se a oferta para se estimar somente o déficit.

Todos os resultados da Equação (3) menores que zero indicam excedente de armazenagem, e por não serem objeto de interesse nesse momento foram alterados para zero (0).

$$D_E = 1 - \left[\frac{O_E + |MD|}{(|MD| + CS_{FAO})} \right] \quad (3)$$

Em que:

D_E = Déficit de armazenagem; O_E = Oferta de armazenagem estimada; $|MD|$ = Maior déficit em módulo e CS_{FAO} = 20% da produção local. Coeficiente de segurança de flutuação de safras sugerido pela FAO

O potencial de aumento da demanda por armazenamento foi estimado através da previsão de áreas de soja, milho, feijão e trigo em 2030, produzida pelo CSR – UFMG, modelada através do OTIMIZAGRO (SOARES-FILHO et al., 2013). O mapa matricial obtido, dividido em classes de uso do solo, foi reclassificado dentro dos limites da normalização (0-1), de acordo com o interesse comercial da cultura e nível de utilização da área (1, 2 e 3 ou mais safras). Foi subtraído do mapa de previsão para 2030 as áreas que já são dedicadas ao cultivo de grãos, ou seja, que não sofreram alteração no uso. O mapa resultante, constando apenas as áreas de expansão, foi então reclassificado de acordo com a Tabela 8. Além disso, as áreas que atualmente possuem pastagem tiveram um incremento de nota, por terem sido consideradas de mais fácil conversão. As áreas com outras culturas não foram reajustadas, e áreas atualmente com vegetação nativa tiveram uma penalização por se tratarem de uma conversão mais complicada e nociva ao meio ambiente.

Tabela 8. Reclassificação dos usos do solo previstos para 2030 pelo OTIMIZAGRO

Número CSR	Cultivo 2030	Nota	Cultivo Atual (2013)	Nota adicional
11	Soja	0,4	Pastagens	+ 0,2
13	Milho	0,4	Veget. Nativa	- 0,1
17	Feijão	0,3	Outros cultivos	0,0
35	Soja, milho 2 ^{as} .	0,8		
36	Soja, trigo	0,7		
37	Milho, trigo	0,7		
38	Soja, feijão	0,8		
39	Milho, feijão	0,8		
40	Feijão, feijão	0,7		
Outros	Outros usos	0		

Para determinar o critério de acesso, a partir do *shapefile* de rodovias do Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem (DEER-MG) situadas em Minas Gerais, foi feito um *buffer* de vários níveis com as distâncias de 1, 3, 5, 10, 15 e 20 km. No *software* ESRI ArcGIS foi calculada a distância Euclidiana das vias, seguida da reclassificação através da ferramenta *Reclassify*. Os pesos foram inseridos conforme as Tabela 9 de acordo com a classe da rodovia.

Tabela 9. Pesos atribuídos para a acessibilidade das áreas de acordo com a classe da rodovia.

Distância Rodovia (m)	Troncal	Coletora primária	Coletora secundária	Local / Sem info
0 - 1.000	1,0	0,9	0,8	0,5
1.000 - 3.000	0,7	0,6	0,5	0,2
3.000 - 5.000	0,5	0,4	0,3	0,1
5.000 - 10.000	0,3	0,2	0,1	0
10.000 - 15.000	0,2	0,1	0	0
15.000 - 20.000	0,1	0	0	0
Acima de 20.000	0	0	0	0

A competição considera tanto o percentual de estruturas de armazenamento em fazendas quanto a presença de outros prestadores de serviço de armazenagem na região. O modelo tem pressuposto de que o investidor não necessariamente é produtor e que irá prestar serviço de armazenagem.

O percentual da armazenagem total que se encontra na fazenda foi estimado para cada municipalidade, conforme a Equação 4. A identificação da unidade como armazém de fazendo foi baseada na informação de tipo de atividade do estabelecimento da Tabela 278 da Pesquisa de Estoques do IBGE. Para a normalização do critério foi utilizada a Equação 5.

$$A_F = \frac{CE_{PA}}{CE_{Tot}} \quad (4)$$

Em que: A_F : Fração da capacidade estática de armazenagem nas fazendas;
 CE_{PA} : Capacidade estática da Produção Agropecuária;
 CE_{Tot} : Capacidade estática total.

$$NA_F = \frac{(A_F - A_{Fmin})}{(A_{Fmax} - A_{Fmin})} \quad (4)$$

Em que: NA_F : Fração da capacidade estática de armazenagem nas fazendas normalizada.

Já a concentração de armazéns competidores foi definida a partir do SICARM da CONAB, através da ferramenta *Kernel density* do ArcGIS. A concentração de armazéns foi ponderada pela capacidade estática dos mesmos, com raio de busca de 50.000 m. Esse subcritério mostrará a densidade de capacidade estática armazenamento dos concorrentes em toneladas por quilômetro quadrado (t/km²). O critério foi normalizado conforme a Equação 6.

$$COA = \left[1 - \left(\frac{KV - C_{min}}{C_{max} - C_{min}} \right) \right] \quad (6)$$

Em que: *COA*: Competição de outros armazéns
KV: Valor resultante do *Kernel* para cada pixel da área
C_{max}: Maior Concentração
C_{min}: Menor Concentração

AP3.1.2. Resultados de cada variável antes da normalização

Fazendo o ajuste na oferta de armazenagem, as áreas deficitárias são apresentadas na Figura 22. Para o déficit ajustado o número de municípios em cada classe é apresentado entre parênteses. 1259 unidades armazenadoras foram consideradas no estudo.

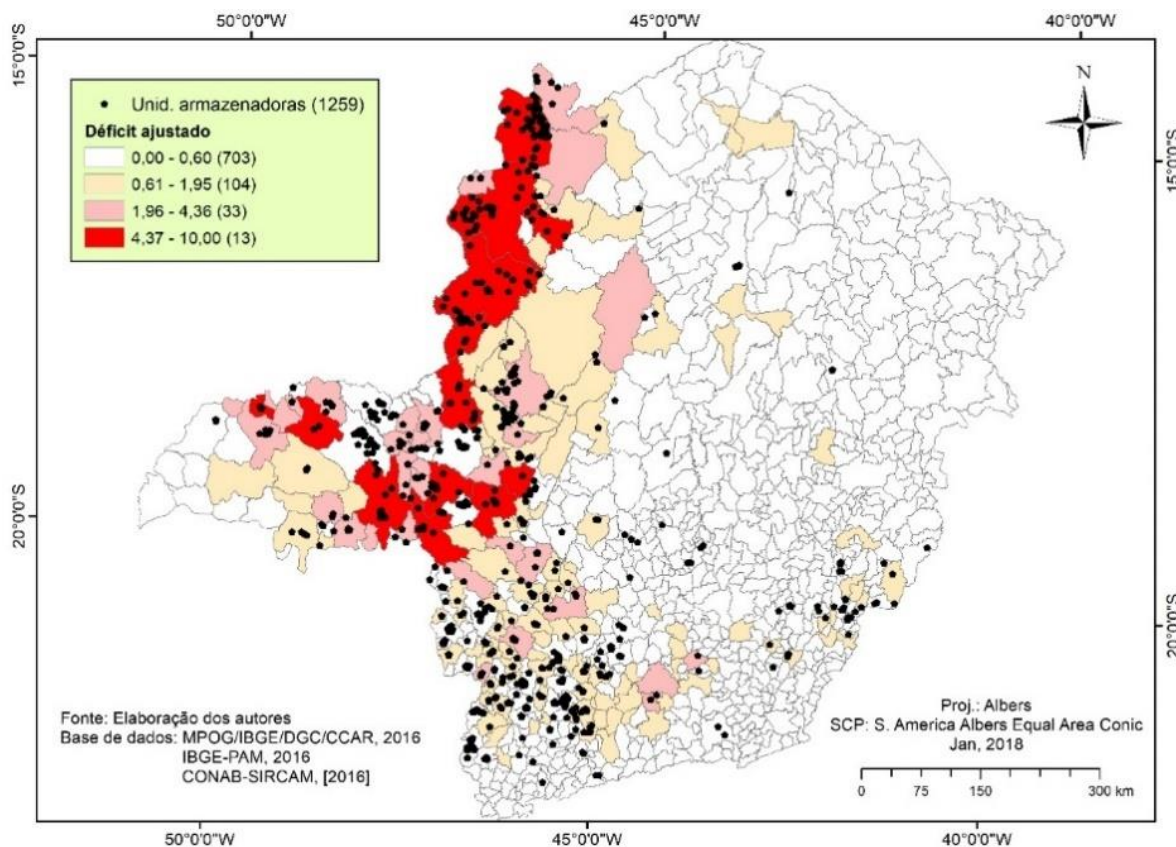


Figura 22. Áreas deficitárias em armazenamento de Minas Gerais.

Na Figura 23 pode-se observar a concentração de capacidade estática de armazenagem, indicando forte presença de competidores nas regiões de Uberlândia, Varginha, Patrocínio, Uberaba, Unaí, Buritis, Guaxupé e São Sebastião do Paraíso.

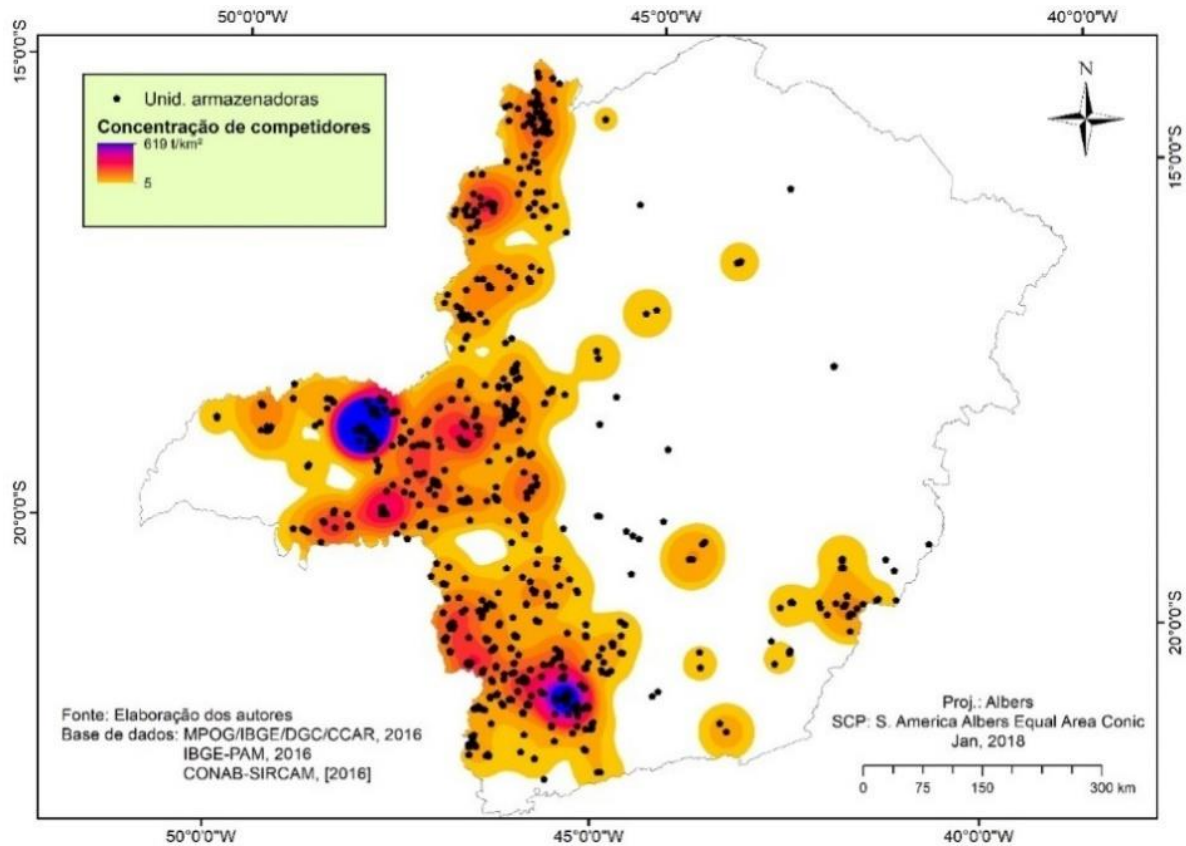


Figura 23. Concentração de capacidade estática de armazenagem.

Na Figura 24 tem-se um comparativo entre as áreas de produção de soja, milho, feijão e trigo, em 2013 e previstas para 2030 (SOARES FILHO et al., 2013), mostrando o potencial de expansão de lavouras temporárias. Observa-se a expectativa de expansão considerável das áreas destinadas ao cultivo de culturas anuais em Minas Gerais, principalmente das áreas com duas safras (Figura 25).

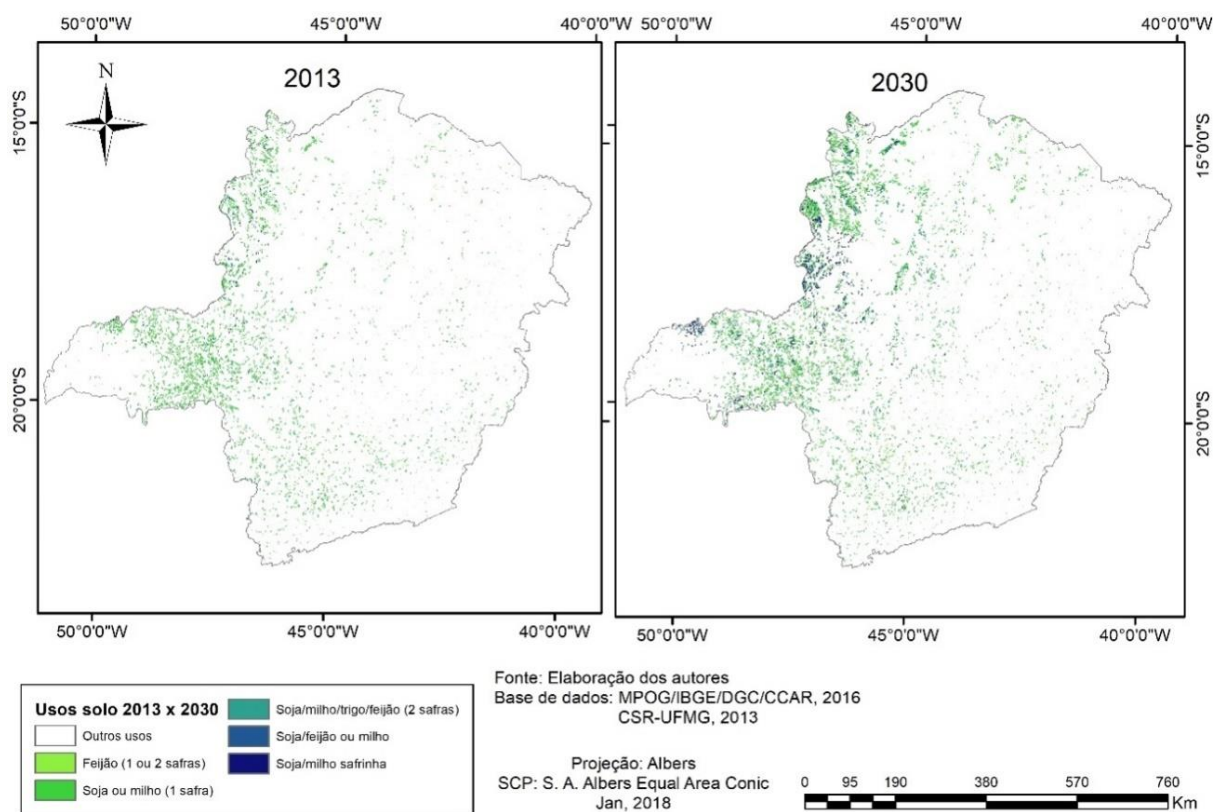


Figura 24. Comparativo entre as áreas de produção de soja, milho, feijão e trigo, em 2013 e previstas para 2030.

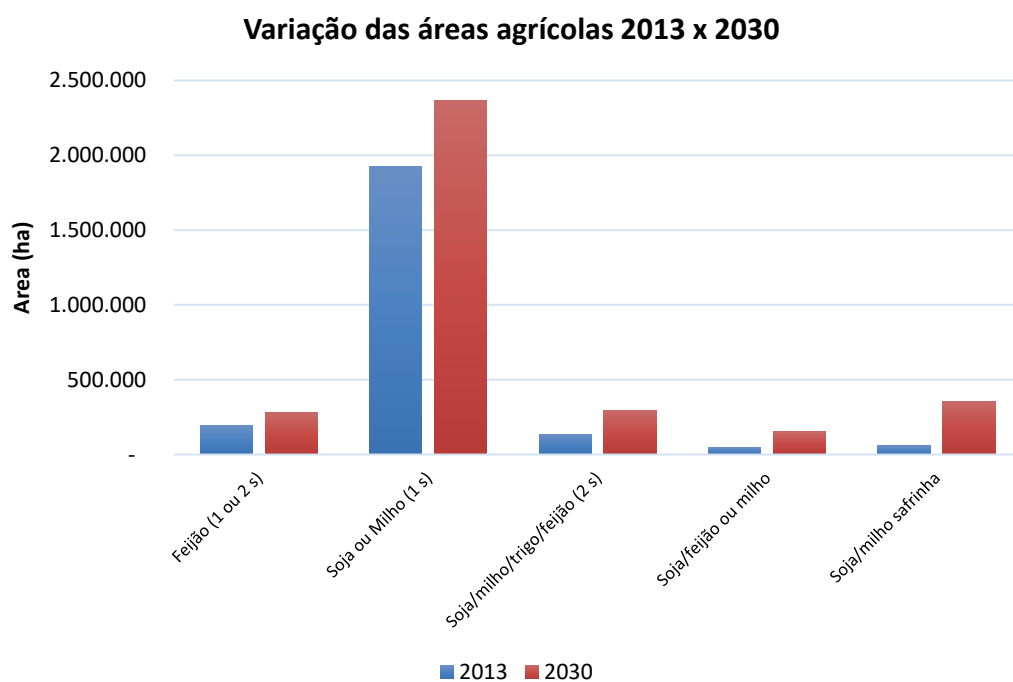


Figura 25. Alteração da área de cultivo das principais culturas anuais entre 2013 e 2030.
 Fonte: Soares-Filho et al. (2013)

Na Figura 26 observa-se o mapa de rodovias do estado de Minas Gerais com o *buffer* utilizado no estudo para determinar a localização desejada em relação às rodovias para as unidades armazenadoras propostas.

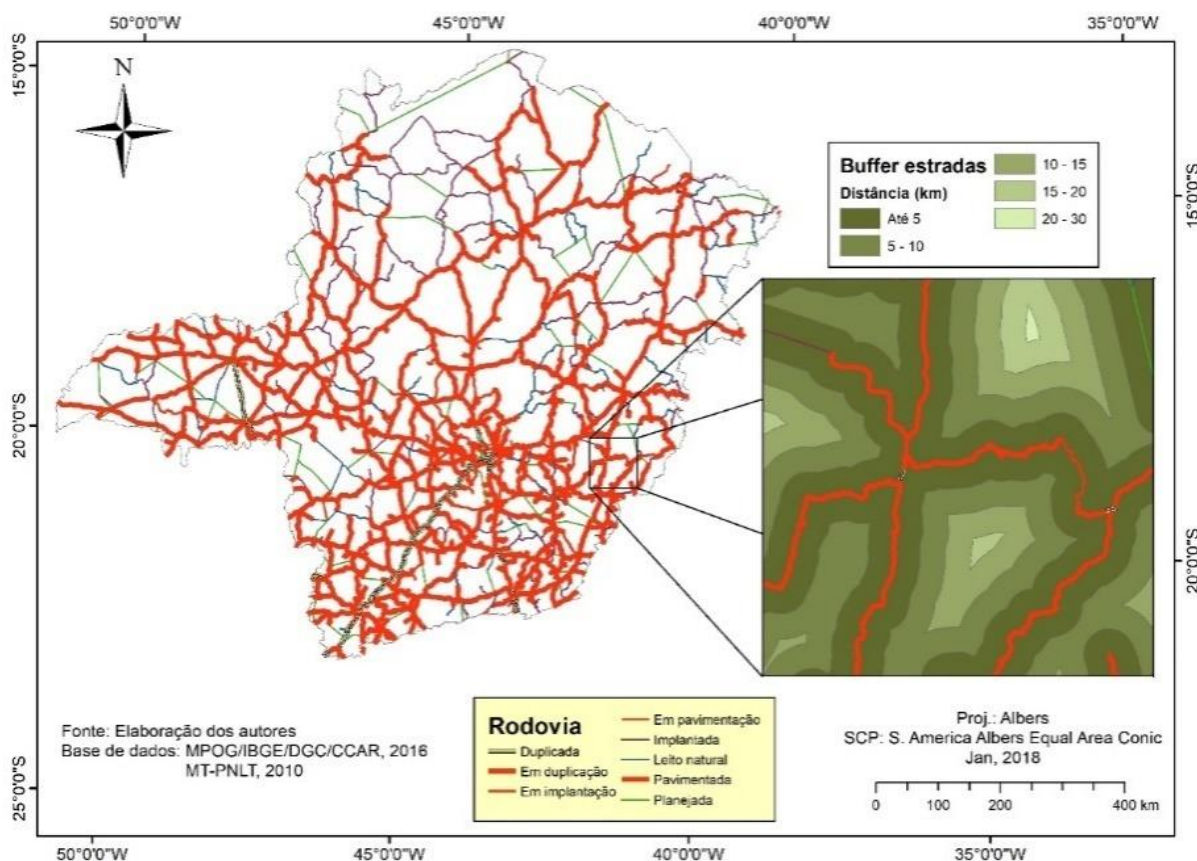


Figura 26. Rodovias do PNLT 2010 com *buffer* de distanciamento do eixo da rodovia.

Na Figura 27 temos a localização das plantas de esmagamento de soja com o respectivo raio de abrangência de cada uma, temos também os portos secos e transbordos destinados a cargas agrícolas.

Minas possui quatro unidades de industriais de processamento de óleo vegetal, sendo três delas em Uberlândia (ADM, Algar Agro e Cargill) e a outra em Araguari (Selecta). Todas elas têm processo de extração por solvente, e processam somente soja, sendo que as três unidades localizadas em Uberlândia, além do processamento, realizam refino e envase (ABIOVE, 2016). A região do Triângulo Mineiro é fortemente influenciada pela presença de indústrias de esmagamento de soja. Principalmente na faixa que vai de Araguari e Tupaciguara até Uberaba.

Os transbordos influenciam menos a região onde estão inseridos devido ao formato de operação normalmente terceirizado. Ou seja, uma empresa opera o terminal prestando serviço para várias. Como a operadora tem compromisso com diversas partes não pode receber produtos fora do padrão, o que muitas vezes obriga o produtor/empresa a passar em um armazém antes para realizar a padronização dos grãos que serão direcionados a um dos terminais, que estão localizados em Araguari, Uberaba, Uberlândia, Pirapora, Santa Luzia e Varginha.

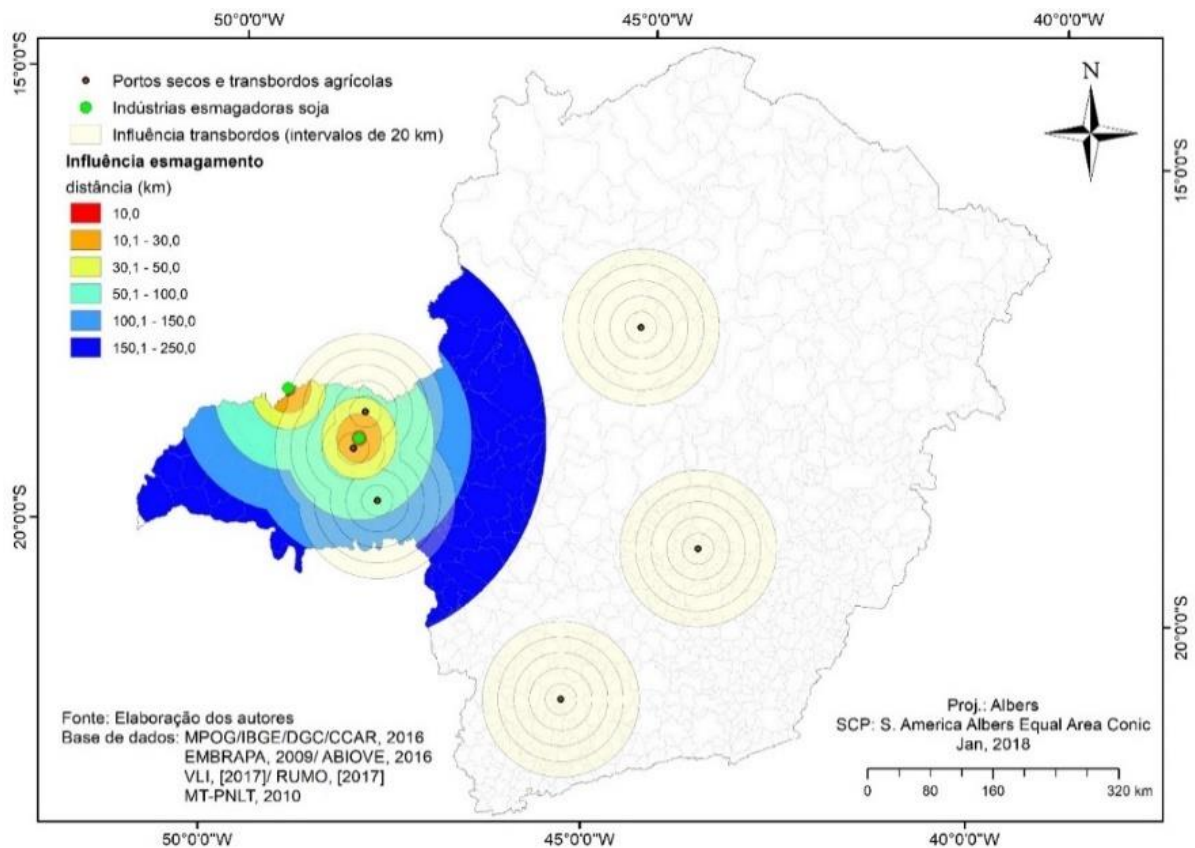


Figura 27. Localização das unidades de processamento de soja com seu respectivo raio de abrangência.

AP3.2. Matriz AHP

Os pesos atribuídos por especialistas através do método AHP para os critérios do modelo espacialmente explícito denominado SIACA, é apresentado em detalhes nas figuras a seguir. Na Figura 28 é apresentada a matriz AHP com o autovetor normalizado. A Figura 29 mostra a tela com o resultado resumido do processo, já na Figura 30 é apresentado um gráfico para comparação visual dos pesos ponderados atribuídos aos critérios com seus respectivos desvios.

Matriz	OFER	ACCESS	IGI	DP	COMP	SA	principal normalizado
	1	2	3	4	5	6	
OFER 1	–	2 1/2	4 5/7	2	2 4/5	3 4/5	35,8%
ACCESS 2	2/5	–	2 2/3	1	2 1/7	2 2/3	19,1%
IGI 3	1/5	3/8	–	1/3	7/8	1 3/4	8,3%
DP 4	1/2	1	3	–	1 7/9	2 5/7	19,1%
COMP 5	1/3	1/2	1 1/7	5/9	–	2 1/3	11,2%
SA 6	1/4	3/8	4/7	3/8	3/7	–	6,5%

Figura 28. Matriz AHP e autovetor normalizado.

AHP Analytic Hierarchy Process (EVM multiple inputs)

K. D. Goepel Version 15.09.2018 | Free web based AHP software on: <http://bpmsg.com>

Only input data in the light green fields and worksheets!

n= Number of criteria (2 to 10) Scale: AHP 1-9

N= Number of Participants (1 to 20) α: Consensus: 75,6%

p= selected Participant (0=consol.) 2 7 Consolidated

Objective

Author

Date Thresh: Iterations: EVM check:

Table	Criterion	Comment	Weights	+/-
1	OFER	Oferta de armazenagem deficiente	35,8%	7,8%
2	ACCESS	Acessibilidade logistica	19,1%	3,4%
3	IGI	Menor influencia de grandes instalacoes	8,3%	1,8%
4	DP	Demanda potencial (aumento producao de graos)	19,1%	2,7%
5	COMP	Menor competição de outros armazens	11,2%	2,2%
6	SA	Redução do impacto socioambiental negativo. Distan	6,5%	1,7%
7			0,0%	0,0%
8			0,0%	0,0%
9		for 9&10 unprotect the input sheets and expand the	0,0%	0,0%
10		question section ("+" in row 66)	0,0%	0,0%

Result **Eigenvalue** Lambda: MRE:

Consistency Ratio 0,37 GCI: Psi: CR:

Figura 29. Tela do resultado sumarizado da planilha AHP.

Fonte: Goepel (2013).

Há uma elevada heterogeneidade relativa à nota do critério OFER atribuído pelos especialistas. Esse critério variou de uma nota mínima de 15,6% até a nota máxima de 44%, o que resultou em elevado DP. Apesar de ter sido considerado, na média, o critério mais importante (Figura 30).

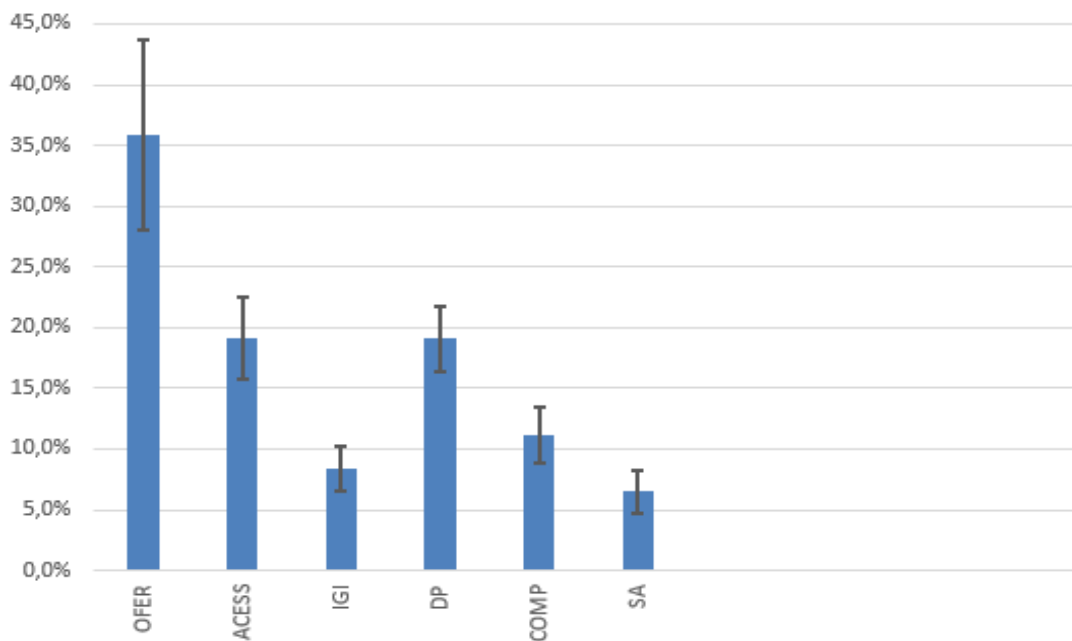


Figura 30. Pesos atribuídos para cada critério com seus respectivos desvios.

AP3.3. Detalhamento Análise de Incerteza

Na Tabela 10 a AI é dividida em um número maior de classes para maior detalhamento das áreas robustas, candidatas e inadequadas à construção de um armazém de grãos.

O tamanho da área associado à escala dos dados, ao número de variáveis e de iterações demandadas pela SMC fez com que o processamento de dados fosse da casa de $5,4 \times 10^{12}$ vezes. Apesar de terem sido empregados computadores potentes (32GB de RAM, processador de 8 núcleos, placa de vídeo dedicada), houve limitação computacional. Devido a esse impeditivo, a escala dos dados precisou ser alterada e o número de repetições reduzido. Isso não tira a importância do modelo, muito menos da AI. Vale lembrar que muitas AMCE são realizadas para diversos fins sem os cuidados adotados neste trabalho, de seleção criteriosa das variáveis, ponderação par-a-par através de um método robusto, AS e AI.

Tabela 10. Aspectos das regiões de adequação em classes mais detalhadas.

		Incerteza		
		Baixo DP	Médio DP	Alto DP
Adequação	Índice alto	(1) Regiões adequadas com alta confiança Robustas	(2) Regiões adequadas com média confiança Candidatas	(3) Regiões adequadas com baixa confiança Candidatas
	Índice médio	(4) Média adequação com baixa incerteza	(5) Média adequação com média incerteza Mais estudos	(6) Média adequação com alta incerteza Mais estudos
	Índice baixo	(7) Baixa adequação com baixa incerteza Inadequadas	(8) Baixa adequação com média incerteza Inadequadas	(9) Baixa adequação com média incerteza

Fonte: Baseado em Ligmann-Zielinska e Jankowski (2014); Moura, Jankowski e Cocco (2016).

Na Figura 31 é apresentado o mapa da AI detalhada conforme a Tabela 10. Apesar de um pouco mais complicado para se analisar visualmente, este mapa traz maior riqueza de detalhes quanto à adequação e incerteza das áreas em estudo.

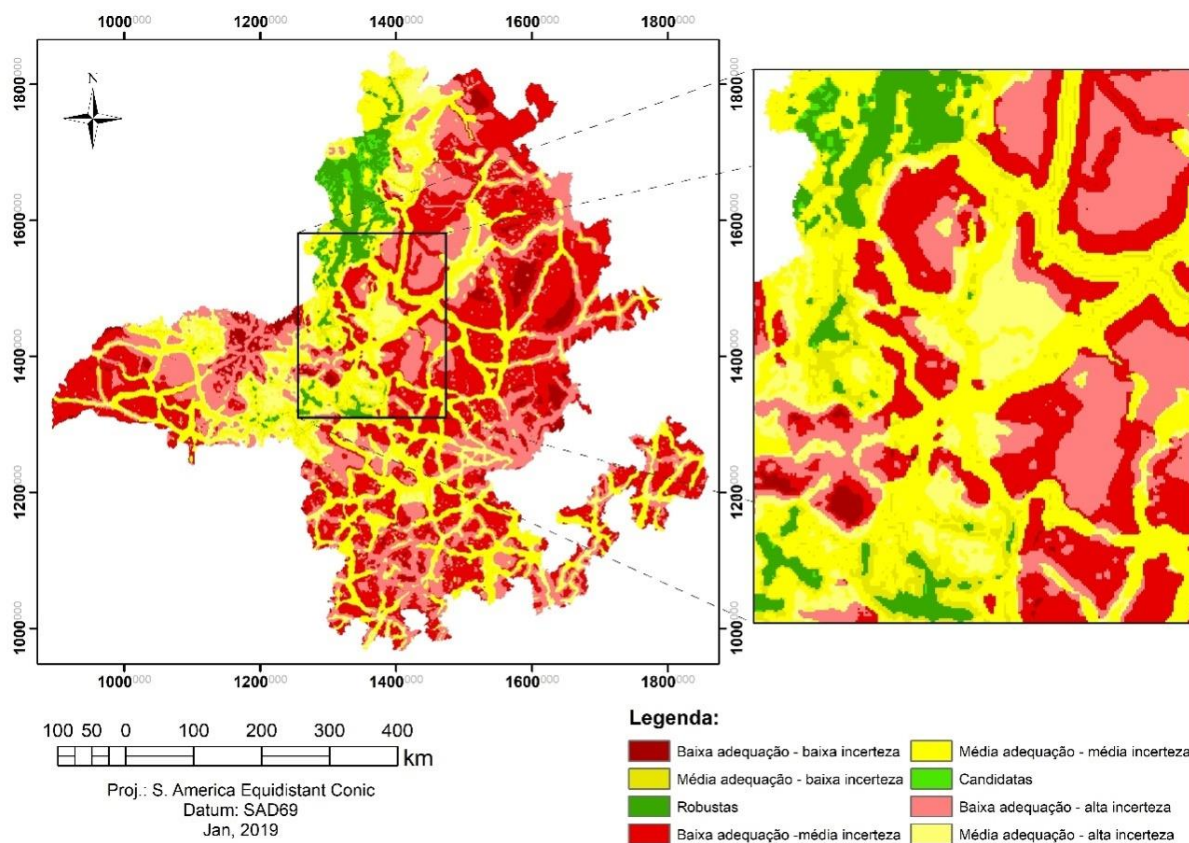


Figura 31. Áreas robustas, candidatas e inadequadas para instalação de um armazém graneleiro.

AP3.4. Aprofundamento na Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade (AS) apontou a OFER e a IGI como os critérios inserindo a maior incerteza ao modelo.

A IGI pode não exercer influência sobre a instalação de um novo armazém, já que, apesar de ter sido considerada uma competição em preço ao produtor díspar, são instalações com objetivos completamente diferentes, e que na realidade não competem entre si.

O critério OFER adiciona a maior incerteza ao modelo (elevado S) e apresenta a maior interação com as demais variáveis (elevado ST). Esses resultados recomendam fortemente a exclusão dessa variável do modelo.

Realmente, a OFER teve diversos problemas relativos à obtenção e preparação da informação, como também na definição da sua importância para o modelo. Em primeiro lugar, houve baixo consenso na opinião dos especialistas, resultando em grande amplitude entre as notas mínima e máxima, e conseqüentemente elevado DP. Além disso, a unidade espacial adotada não é a ideal para este tipo de análise. Há também o problema das bases de dados de armazenagem incompletas, a imprecisão relacionada a estimativa do giro de estoques, até erros nas informações de produção.

A oferta de armazenagem não varia abruptamente na divisa dos municípios. Ela é espacialmente distribuída, com regiões de déficit e excedente, ao longo de toda a área. Os dados obtidos permitiam a localização exata das unidades armazenadoras existentes, mas não das lavouras. Isso dificulta a aplicação de técnicas espaciais.

A diferença de área territorial entre as unidades espaciais é outra fonte de erro. Existem municípios com elevado déficit, mas também grande extensão territorial, e outros também com elevado déficit e menor extensão. Ao se realizar a conversão de polígono para *raster*, cada pixel é assume o valor de oferta que era de toda a área resultando numa superestimação da oferta. Isso ainda é acentuado e distorcido pela diferença de área das unidades espaciais.

Uma alternativa seria considerar a oferta de armazenagem em um ponto no centroide da área de cada município, e então interpolar essa oferta. Entretanto, isso também seria um delineamento artificial e com erro introduzido, pois os municípios possuem áreas diferentes, e a área interferiria na interpolação. Nesse caso, uma saída seria, primeiro dividir a oferta estimada para cada município pela respectiva área; e então interpolar ou fazer um kernel dos valores nos pontos de centroide de cada município.

AP3.5. Ranqueamento e identificação das áreas robustas e candidatas

O número de municípios por mesorregião e microrregião é apresentado na Tabela 11. A lista completa não foi inserida por ser muito extensa, mas pode ser visualizada através do [link do Google Drive](#):

https://drive.google.com/file/d/1pWxD5IvHCkHLf-ItzfULa90HnelOm_O/view?usp=sharing.

Tabela 11. Número de municípios candidatos e robustos por meso e microrregião do estado de Minas Gérias.

Mesorregião/Microrregião	nº municípios Candidatos	nº municípios Robustos
CAMPO DAS VERTENTES	33	34
BARBACENA	9	11
LAVRAS	9	9
SAO JOAO DEL REI	15	14
CENTRAL MINEIRA	30	27
BOM DESPACHO	12	11
CURVELO	11	9
TRES MARIAS	7	7
JEQUITINHONHA	15	5
CAPELINHA	7	5
DIAMANTINA	8	0
METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE	51	11
BELO HORIZONTE	12	0
CONCEICAO DO MATO DENTRO	4	0
CONSELHEIRO LAFAIETE	4	6
ITABIRA	2	0
ITAGUARA	4	1
OURO PRETO	1	1
PARA DE MINAS	5	1
SETE LAGOAS	19	2
NOROESTE DE MINAS	19	19
PARACATU	10	10
UNAI	9	9
NORTE DE MINAS	37	25
BOCAIUVA	4	3
GRAO MOGOL	1	1
JANUARIA	6	6
MONTES CLAROS	16	7
PIRAPORA	10	8

Tabela 12 **CONTINUAÇÃO**. Número de municípios candidatos e robustos por meso e microrregião do estado de Minas Gérias.

Mesorregião/Microrregião	nº municípios Candidatos	nº municípios Robustos
OESTE DE MINAS	43	34
CAMPO BELO	6	7
DIVINOPOLIS	11	3
FORMIGA	8	8
OLIVEIRA	9	7
PIUI	9	9
SUL/SUDOESTE DE MINAS	124	86
ALFENAS	12	8
ANDRELANDIA	6	9
ITAJUBA	9	3
PASSOS	14	13
POCOS DE CALDAS	13	11
POUSO ALEGRE	13	7
SANTA RITA DO SAPUCAI	12	7
SAO LOURENCO	15	5
SAO SEBASTIAO DO PARAISO	14	13
VARGINHA	16	10
TRIANGULO MINEIRO/ALTO PARANAIBA	65	60
ARAXA	10	10
FRUTAL	11	10
ITUIUTABA	6	5
PATOS DE MINAS	10	10
PATROCINIO	11	10
UBERABA	7	7
UBERLANDIA	10	8
VALE DO RIO DOCE	27	16
AIMORES	6	6
CARATINGA	17	10
GOVERNADOR VALADARES	2	0
IPATINGA	1	0
PECANHA	1	0
ZONA DA MATA	90	45
CATAGUASES	1	0
JUIZ DE FORA	22	2
MANHUACU	20	17
MURIAE	7	7
PONTE NOVA	16	4
UBA	13	2
VICOSA	11	13
Total Geral	534	362

AP4. Apêndice do Capítulo 4

AP4.1. Detalhamento da modelagem em rede

Nas figuras a seguir são exibidas informações sobre a rede utilizada no estudo. Na Figura 32 são apresentadas as classes das rodovias dentro do estado de Minas Gerais. A Figura 33 tem a rede final construída, que considerou também as principais rodovias de estados vizinhos para possibilitar a simulação de escoamento dos produtos para os principais portos exportadores das *commodities* agrícolas mineiras. As rodovias do estado de Goiás não foram incluídas, pois devido a questões tributárias dificilmente algum grão sairá de Minas para ser armazenado em Goiás, e o caminho mais viável economicamente para a exportação é na direção do oceano Atlântico, em algum porto marítimo do Sudeste ou Bahia.

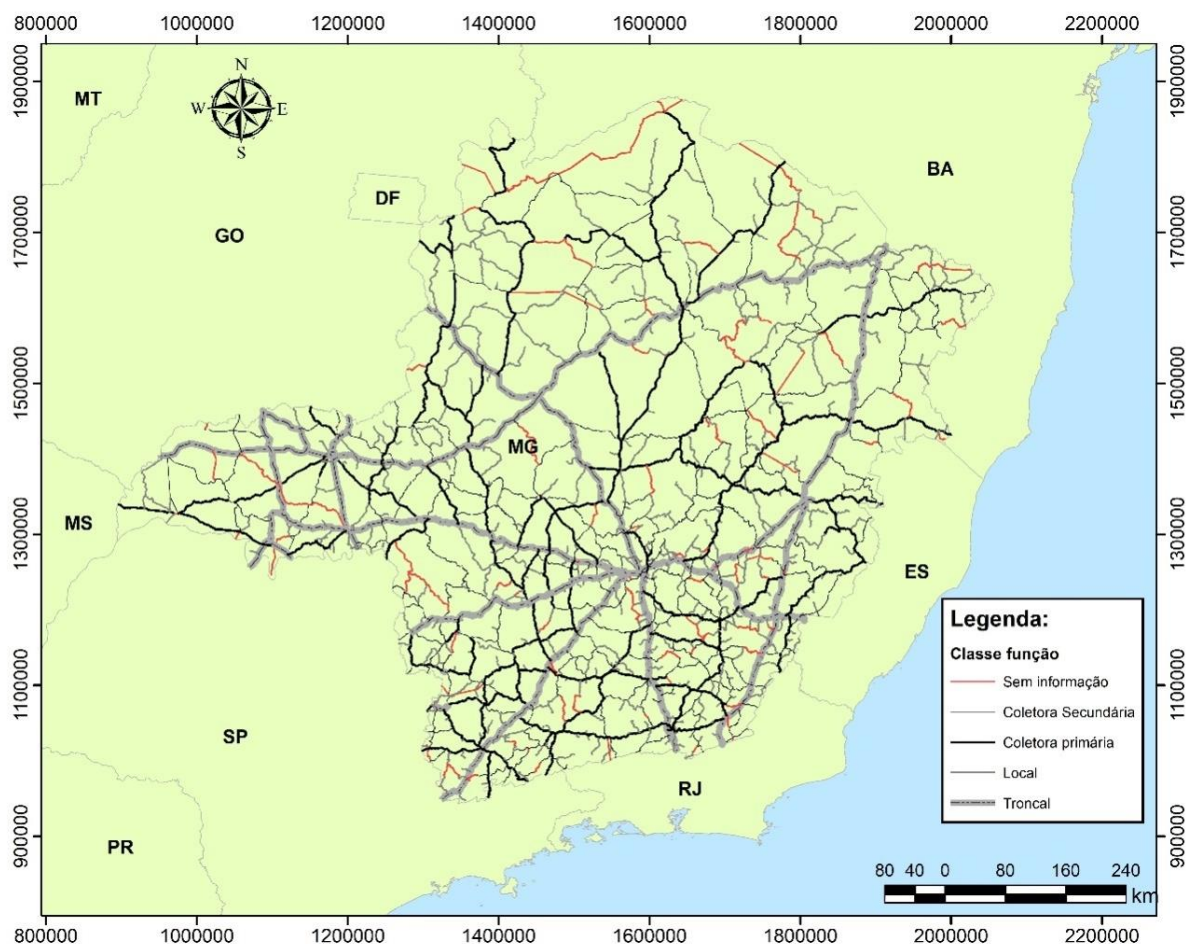


Figura 32. Classes de função das rodovias em Minas Gerais utilizadas na construção da rede topológica.

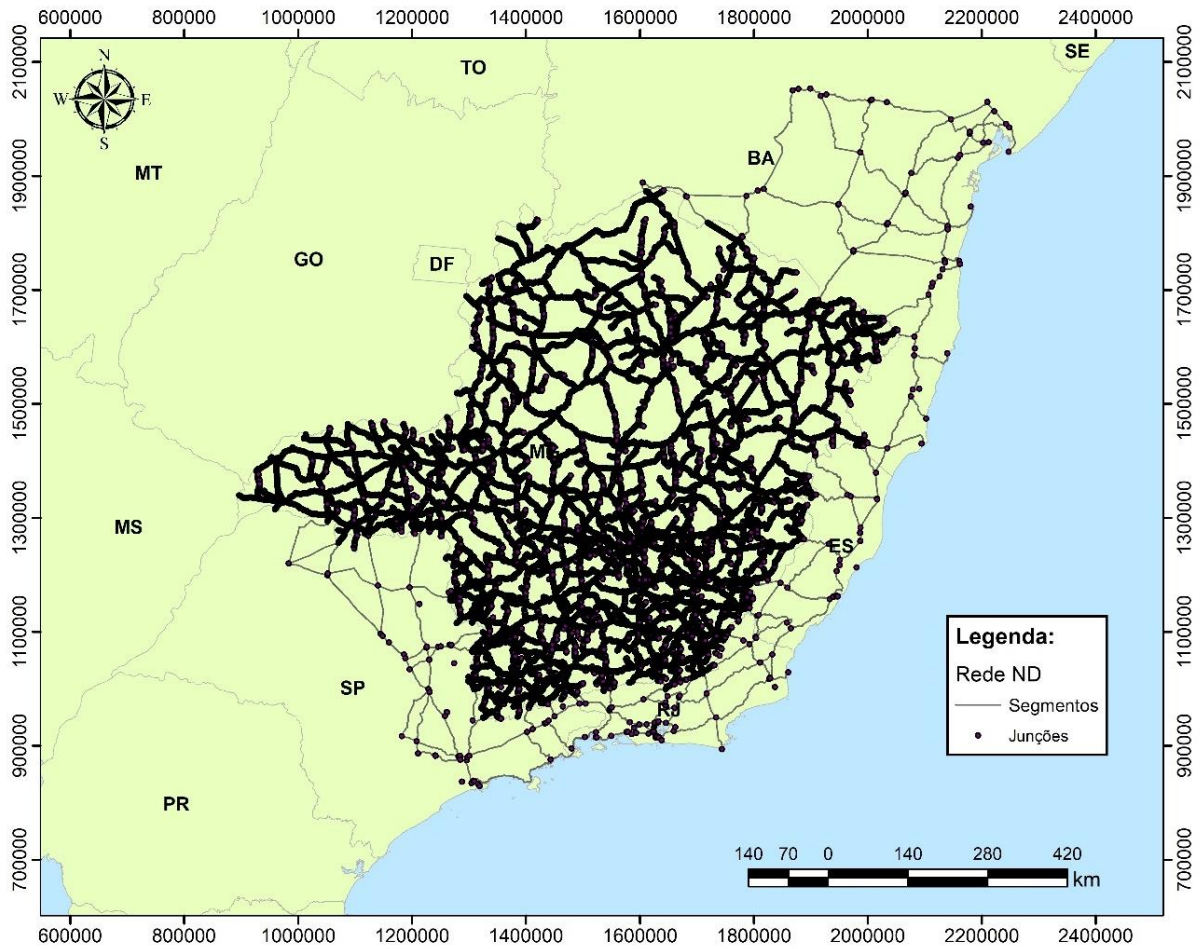


Figura 33. Rede topológica viária construída.

A Figura 34 mostra a área atendida pelo armazém B, localizado na BR-040 no município de Paracatu. Nessa figura o leitor pode entender um pouco melhor a metodologia e ver com detalhes os pontos de demanda atendidos por essa unidade, bem como as ligações entre os pontos e a unidade armazenadora de grãos.

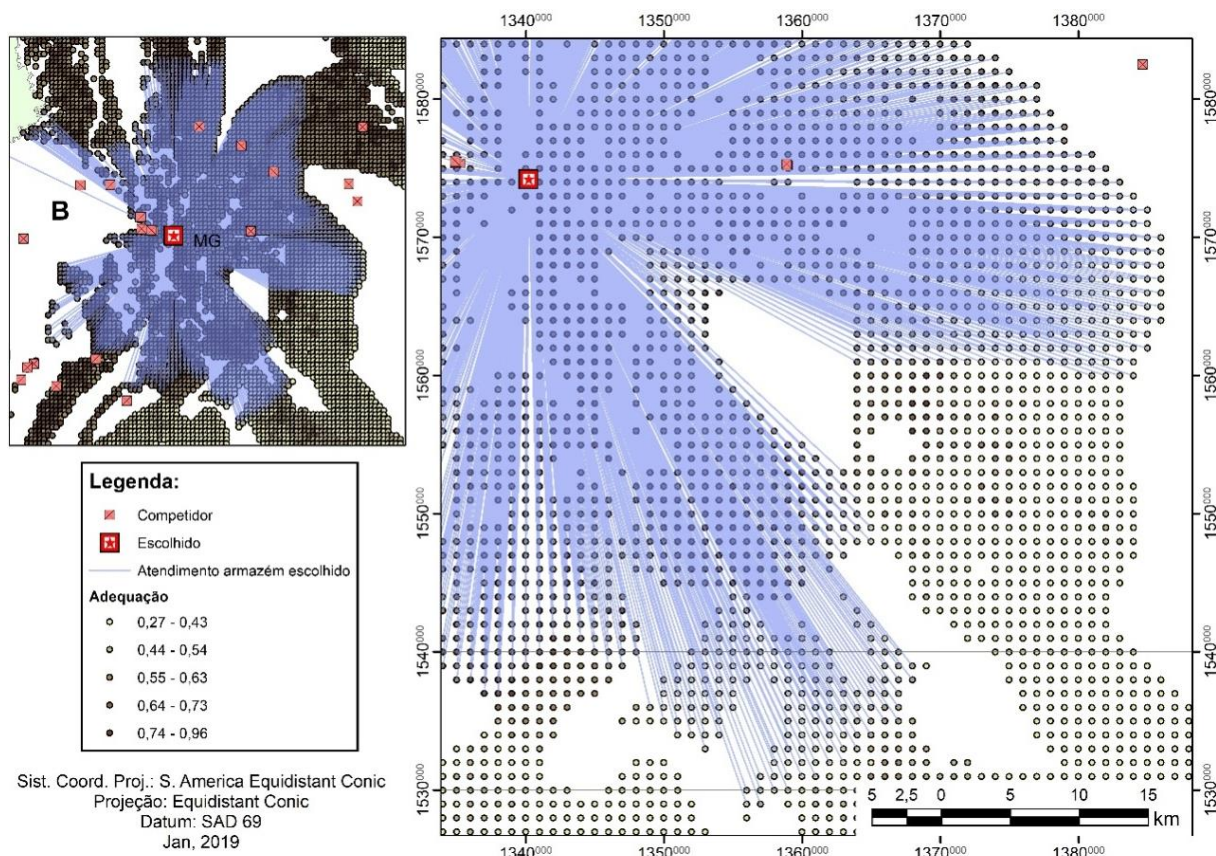


Figura 34. Detalhamento da demanda atendida pela unidade armazenadora B.

ANEXOS

AN1. Script iUSA v1

O script em Python pode ser baixado em:

<http://geo.msu.edu/extra/stsa/software.html>

AN2. Planilha AHPcalc

A planilha com macros AHPcalc 15.09.2018 pode ser baixada em:

<https://bpmsg.com/new-ahp-excel-template-with-multiple-inputs/>