



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21d/2023/02.15.14.51-TDI

**ANÁLISE ESPACIAL PARA A IDENTIFICAÇÃO E  
CARACTERIZAÇÃO DE FATORES AMBIENTAIS E  
SOCIOECONÔMICOS ASSOCIADOS AO CULTIVO DE  
MANDIOCA NO ESTADO DO PARÁ**

Flavia Domingos Pacheco

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Sensoriamento Remoto, orientada  
pela Dra. Maria Isabel Sobral  
Escada, aprovada em 15 de  
dezembro de 2022.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/48HJQK2>>

INPE  
São José dos Campos  
2022

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)  
Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
CEP 12.227-010  
São José dos Campos - SP - Brasil  
Tel.:(012) 3208-6923/7348  
E-mail: pubtc@inpe.br

**CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):****Presidente:**

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Coordenação-Geral de Ciências da Terra (CGCT)

**Membros:**

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação (CPG)  
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia, Tecnologia e Ciência Espaciais (CGCE)  
Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos - Coordenação-Geral de Infraestrutura e Pesquisas Aplicadas (CGIP)  
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon  
Clayton Martins Pereira - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21d/2023/02.15.14.51-TDI

**ANÁLISE ESPACIAL PARA A IDENTIFICAÇÃO E  
CARACTERIZAÇÃO DE FATORES AMBIENTAIS E  
SOCIOECONÔMICOS ASSOCIADOS AO CULTIVO DE  
MANDIOCA NO ESTADO DO PARÁ**

Flavia Domingos Pacheco

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Sensoriamento Remoto, orientada  
pela Dra. Maria Isabel Sobral  
Escada, aprovada em 15 de  
dezembro de 2022.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/48HJQK2>>

INPE  
São José dos Campos  
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Pacheco, Flavia Domingos.

P115a Análise espacial para a identificação e caracterização de fatores ambientais e socioeconômicos associados ao cultivo de mandioca no Estado do Pará / Flavia Domingos Pacheco. – São José dos Campos : INPE, 2022.

xxii + 126 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21d/2023/02.15.14.51-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2022.

Orientadora : Dra. Maria Isabel Sobral Escada.

1. Índice global de moran. 2. LISA. 3. Análise de regressão. 4. Regionalização. 5. Vegetação secundária. I.Título.

CDU 528.8:633.493(811.5)

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**  
Serviço de Pós-Graduação - SEPGR

**DEFESA FINAL DE DISSERTAÇÃO DE FLÁVIA DOMINGOS PACHECO**  
**REG. 35893/2020, BANCA Nº 334/2022**

No dia 15 de dezembro de 2022, por videoconferência, o(a) aluno(a) mencionado(a) acima defendeu seu trabalho final (apresentação oral seguida de arguição) perante uma Banca Examinadora, cujos membros estão listados abaixo. O(A) aluno(a) foi APROVADO(A) pela Banca Examinadora, por unanimidade, em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Mestra em Sensoriamento Remoto. O trabalho precisa da incorporação das correções sugeridas pela Banca Examinadora e revisão final pelo(s) orientador(es).

**Título: "Análise espacial para a identificação e caracterização de fatores ambientais e socioeconômicos associados ao cultivo de mandioca no Estado do Pará"**

**Membros da banca:**

Dr. Antonio Miguel Vieira Monteiro – Presidente – INPE

Dra. Maria Isabel Sobral Escada – Orientadora – INPE

Dr. Claudio Aparecido de Almeida – Membro Interno – INPE

Dra. Mariane Souza Reis – Membro Interno – INPE

Dra. Tatiana Deane de Abreu Sá – Membro Externo – EMBRAPA



Documento assinado eletronicamente por **Antonio Miguel Vieira Monteiro, Pesquisador**, em 20/12/2022, às 17:59 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mariane Souza Reis (E), Usuário Externo**, em 21/12/2022, às 00:16 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Claudio Aparecido de Almeida, Tecnologista**, em 21/12/2022, às 10:01 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Isabel Sobral Escada, Tecnologista**, em 21/12/2022, às 14:54 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tatiana deane de abreu sá (E), Usuário Externo**, em 24/01/2023, às 12:15 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.mcti.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador **10673035** e o código CRC **BF0311C0**.

---

**Referência:** Processo nº 01340.010156/2022-24

SEI nº 10673035

*“Eu gostaria de ser lembrado como um sujeito que amou profundamente o mundo e as pessoas, os bichos, as árvores, as águas, a vida”.*

PAULO FREIRE



*A todas as pessoas que creem e lutam  
pelo futuro da Amazônia, dedico*



## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo suporte financeiro.

Agradeço à minha orientadora, Dra. Maria Isabel Sobral Escada, que sempre me inspirou e me guiou pelos caminhos da pesquisa e do sensoriamento remoto sem perder de vista as questões sociais.

Agradeço aos membros da banca de defesa da proposta e da dissertação pelas importantes contribuições: Miguel Monteiro, Tatiana Sá, Cláudio Almeida, Mariane Reis e Camilo Daleles Renó.

Agradeço aos professores da ESALQ/USP e do INPE, que tiveram participação fundamental na minha formação e no meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Agradeço à minha mãe Adriana, meu pai Luís Fernando e meu irmão Lucas, que estiveram ao meu lado em todos os momentos e são minha melhor companhia. Agradeço pelo amor imensurável e principalmente por me ensinarem a valorizar a simplicidade. Todo o meu amor para vocês.

Agradeço à toda minha família, com quem divido minha história e origem.

Agradeço aos meus amigos do coração pela amizade sincera e pelo apoio, carinho e compreensão incondicionais: Bianca Nagasawa, Bianca Torres, Bruna de Sá, Bruna Juliani, Bruno Adorno, Dailza Emílio, Felipe Rodrigues, Jackeline Sousa, Jéssica de Andrade, Joyce Stenico, Jonas Ferreira, Letícia Tozzi, Lucas Garcia, Maíra Matias, Marcelly Coelho, Marli Paschoal, Mateus Miranda, Raphaela Pereira, Rebeca Silva e Ronnie Peguim. Dividir a vida com vocês é minha alegria e fortaleza.

Agradeço aos colegas do Laboratório de investigação em Sistemas Socioambientais (LiSS), sempre dispostos a contribuir no que lhes cabia e a oferecer apoio emocional durante os diversos desafios, em especial, Anielli Souza, Bruno Adorno, Danielle de Paula, Gisele Milaré e Maíra Matias.

Agradeço também ao LiSS pela oportunidade de ter uma vivência, mesmo que remota, em um laboratório de pesquisa. Agradeço pelos *Papos na janela*, um refúgio para quem vivenciou o mestrado junto à pandemia.

Agradeço aos colegas da PG-SER 2020 pela união e cooperação durante as aulas.

Agradeço a todas as pessoas que conheci na minha viagem pela Amazônia. Da realização de um sonho, nasceu o desejo de dedicar parte da minha trajetória a estudar essa região que para mim é símbolo de força e encanto.

Agradeço ao sagrado e à natureza pela vida e vontade de viver.

## RESUMO

A cultura da mandioca é representada por sistemas de cultivo de pequena escala, cuja produção tem grande importância para alimentação da população, mas também para sua identidade. Esse tipo de agricultura não é discriminado nas principais bases de dados de uso e cobertura da terra. O objetivo deste trabalho foi identificar padrões de distribuição espacial do cultivo de mandioca e determinar fatores ambientais e socioeconômicos associados a esse cultivo, caracterizando diferentes contextos de produção no estado e na região Oeste do Pará. Para a escala macro, correspondendo ao Estado do Pará, foi feita análise espacial para identificação de regimes espaciais da área colhida de mandioca e foi realizada análise de regressão para identificar os fatores associados aos regimes espaciais. Para a escala local, localizada na região Oeste do Pará, foi utilizada imagem Landsat-8/OLI para segmentação multiresolução e classificação por k-vizinho mais próximo. Após essa etapa, foi realizada regionalização via Skater, considerando diferentes contextos de uso e cobertura da terra. Foram gerados indicadores, representados por um espaço celular de 2x2 km, para a caracterização das regiões: i) indicadores de idade e proporção de área de vegetação secundária por área desmatada; ii) indicador de regime de terras – área das unidades de conservação, projetos de assentamento e imóveis registrados no CAR; iii) indicador de acesso potencial a mercados - tempo de viagem até centro urbano e disponibilidade de transporte; iv) indicador de infraestrutura de transporte e urbana – distância a estradas, rios e vilas; v) indicador síntese de cultivo de mandioca. A análise estatística utilizou teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Os resultados para a escala do Pará mostram que os fatores determinantes ao cultivo de mandioca apresentam variação nos regimes espaciais, indicando uma heterogeneidade intra-regional. Onde há menor cultivo de mandioca, se destacam projetos de assentamento, unidades de conservação de uso sustentável e imóveis rurais de até 4 ha. Nesses municípios, os sistemas agrários patronais concorrem com a agricultura camponesa de pequena escala, que fica restrita a áreas específicas, cuja terra e seus usos são assegurados via gestão e políticas públicas. Onde há maior cultivo de mandioca, destacam-se os diferentes estágios de vegetação secundária. Os resultados para a escala local mostram que a região mais preservada é justamente a mais expressiva em área de cultivo de mandioca, evidenciando que esses sistemas produtivos se integram à paisagem com menor impacto e são capazes de coexistir com a natureza. A região mais integrada aos mercados locais é a que tem dinâmica espacial que desfavorece a AGPE. Nessa região, que apresenta usos da terra mais intensificados, observa-se que também os sistemas de cultivo de mandioca são mais intensificados do ponto de vista do tempo de pousio. É necessário incentivar políticas públicas que reconheçam a importância e a heterogeneidade local e regional dos sistemas de produção relacionados ao cultivo da mandioca, tendo em vista a melhoria e o fortalecimento desta cadeia de produção.

Palavras-chave: Índice Global de Moran. LISA. Análise de regressão. Regionalização. Vegetação secundária. Intensificação.



**SPATIAL ANALYSIS FOR THE IDENTIFICATION AND  
CHARACTERIZATION OF ENVIRONMENTAL AND  
SOCIOECONOMIC FACTORS ASSOCIATED WITH CASSAVA  
CROP IN THE STATE OF PARÁ**

**ABSTRACT**

Cassava cultivation is represented by small-scale cultivation systems that are of great importance for feeding the population, but also for its identity. This type of agriculture is not discriminated in the main land use and land cover databases. The goal of this work was to identify patterns of spatial distribution of cassava cultivation and to determine environmental and socioeconomic factors associated with this cultivation, characterizing different production contexts in the state and in the western region of Pará. For the macro scale, corresponding to the State of Pará, a spatial analysis was performed to identify the spatial regimes of the cassava harvested area and a regression analysis was performed to identify the factors associated with the spatial regimes. For the local scale, located in the western region of Pará, a Landsat-8/OLI image was used for multiresolution segmentation and k-nearest neighbor classification. After this step, regionalization was performed via Skater, considering different contexts of land use and land cover. Indicators were generated, represented by a cellular space of 2x2 km: i) indicators of age and proportion of secondary vegetation area per deforestation area; ii) land regime indicator – area of conservation units, settlement projects and smallholders registered in the CAR; iii) indicator of potential access to markets - travel time to the urban center and availability of transport; iv) urban and infrastructure indicator – distance to roads, rivers and villages; v) synthesis indicator of cassava cultivation. Statistical analysis used the non-parametric Kruskal-Wallis test. The results for the scale of Pará showed that the determining factors for cassava cultivation show variation in spatial regimes, indicating an intra-regional heterogeneity. Where there is less cassava cultivation, settlement projects, sustainable use conservation units and rural properties of up to 4 ha stand out. In these municipalities, the employer's agrarian systems compete with small-scale agriculture, which is restricted to specific areas, where the land and its uses are assured by public policies. Where there is greater cassava cultivation, the different stages of secondary vegetation stand out. The results for the local scale showed that the most preserved region is precisely the most expressive in the area of cassava cultivation, showing that these productive systems are integrated into the landscape with less impact and are capable of coexisting with nature, guaranteeing their social reproduction. The region that is most integrated with local markets is the one with spatial dynamics that disfavor SSA. In this region, which presents more intensified land uses, it is observed that cassava cultivation systems are also more intensified with less fallow time. It is necessary to encourage public policies that recognize the importance and local and regional heterogeneity of production systems related to cassava cultivation, with a view to improving and strengthening this production chain.

Keywords: Global Moran Index. LISA. Regression analysis. Regionalization. Secondary vegetation. Intensification.



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1	Sistemas de cultivo de mandioca ilustrados . . . . . 10
2.2	Tipos de matriz de proximidade espacial. . . . . 19
2.3	Chave de decisão para escolha de modelo de regressão . . . . . 25
2.4	Regionalização via Skater. . . . . 27
3.1	Tamanho dos estabelecimentos com lavoura de mandioca (PA) . . . . . 29
3.2	Mapa de uso e cobertura da terra (PA). . . . . 30
3.3	Área de estudo: Oeste do Pará. . . . . 32
3.4	Mapa de uso e cobertura da terra (Oeste PA). . . . . 33
3.5	Tamanho dos estabelecimentos com lavoura de mandioca (Oeste PA) . . 34
4.1	Fluxograma: escala macro . . . . . 37
4.2	Fluxograma: escala local . . . . . 40
4.3	Dados utilizados para a classificação de uso e cobertura da terra e validação 41
4.4	Atributos utilizados para a regionalização . . . . . 44
5.1	Regimes espaciais a partir do LISA . . . . . 52
5.2	Modelos de regressão para o regime espacial <i>high high</i> . . . . . 54
5.3	Modelos de regressão para o regime espacial <i>low low</i> . . . . . 57
5.4	Quantidade de projetos de assentamento obtidos nos municípios <i>low low</i> 59
5.5	Matriz de confusão . . . . . 61
5.6	Exemplos de objetos com mistura espectral . . . . . 62
5.7	Mapa de uso e cobertura da terra do Oeste do Pará (2019) . . . . . 63
5.8	Experimentos de regionalização com quantidades diferentes de regiões . . 64
5.9	Regionalização da área de estudo . . . . . 65
5.10	Indicadores de sistemas produtivos de mandioca . . . . . 67
5.11	Distribuição espacial da vegetação secundária, por idade . . . . . 68
5.12	Exemplos de células com diversos valores para o ISCM . . . . . 71
5.13	Detalhe de células com divergência entre a classificação e o ISCM . . . . 72
5.14	Resultado do Teste de Kruskal-Wallis . . . . . 73
5.15	Boxplot: indicadores e AGPE, por região . . . . . 76
5.16	Gráfico de radar das regiões: indicadores, AGPE e floresta . . . . . 77
5.17	Infraestrutura, práticas econômicas e sistema de trocas. . . . . 80
5.18	Imóveis rurais cadastrados no CAR . . . . . 82
A.1	Análise de resíduos: High high completo . . . . . 109
A.2	Análise de resíduos: High high nordeste . . . . . 110

A.3	Análise de resíduos: Low low completo . . . . .	110
A.4	Análise de resíduos: Low low Sudeste . . . . .	111
A.5	Análise de resíduos: Low low Marajó . . . . .	111
B.1	Espacialização das variáveis significativas para o regime espacial <i>high high</i>	113
B.2	Espacialização das variáveis significativas para o regime espacial <i>low low</i>	116
C.1	Indicador de idade da vegetação secundária . . . . .	120
C.2	Indicador de área de vegetação secundária . . . . .	121
C.3	Indicador de acesso potencial a mercados locais . . . . .	122
C.4	Indicador de regime de terras . . . . .	123
C.5	Indicador de infraestrutura . . . . .	124
C.6	Indicador síntese de cultivo de mandioca . . . . .	125
C.7	Áreas de AGPE no Oeste do Pará . . . . .	126

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1	Classes de representação do <i>continuum</i> de intensidade do uso da terra. . . . . 11
2.2	Classes mistas de uso e cobertura da terra que englobam a AGPE. . . . . 16
2.3	Sensores remotos e suas principais características. . . . . 17
2.4	Descrição dos regimes espaciais a partir do LISA. . . . . 22
3.1	Dados do cultivo de mandioca nas mesorregiões do Pará. . . . . 31
3.2	Proporção das classes de uso e cobertura da terra do Oeste do Pará. . . . . 33
3.3	Dados do cultivo de mandioca para a escala local. . . . . 35
3.4	Dados utilizados para cada escala de análise. . . . . 35
4.1	Variáveis utilizadas para cálculo do acesso potencial a mercados locais. . . . . 47



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEDE	–	Análise exploratória de dados espaciais
AGLE	–	Agricultura de larga escala
AGPE	–	Agricultura de pequena escala
CAR	–	Cadastro Ambiental Rural
EMBRAPA	–	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EVI	–	<i>Enhanced Vegetation Index</i>
FLONA	–	Floresta Nacional
GEOBIA	–	<i>Geographic Object-Based Image Analysis</i>
HHC	–	<i>High high</i> completo
HHN	–	<i>High high</i> Nordeste
IAPML	–	Indicador de acesso potencial a mercados locais
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	–	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INCRA	–	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
ISCM	–	Indicador síntese de cultivo de mandioca
KNN	–	<i>K-nearest neighbor</i>
LISA	–	Índices locais de associação espacial
LLC	–	<i>Low low</i> completo
LLM	–	<i>Low low</i> Marajó
LLS	–	<i>Low low</i> Sudeste
LSA	–	<i>Large-scale agriculture</i>
MMA	–	Ministério do Meio Ambiente
OLS	–	<i>Ordinary least squares modeling</i>
PRODES	–	Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite
SAR	–	<i>Spatial autoregressive modeling</i>
SPCAR	–	<i>Conditional autoregressive modeling</i>
UC/US	–	Unidade de conservação de uso sustentável
VEGSEC	–	Vegetação secundária



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1 Objetivos . . . . .	5
1.2 Organização do trabalho . . . . .	5
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> . . . . .	<b>7</b>
2.1 Variedades e usos da mandioca . . . . .	7
2.2 Formas de cultivo de mandioca na Amazônia . . . . .	9
2.3 Fatores associados ao cultivo de mandioca . . . . .	13
2.4 Monitoramento e métodos para classificação . . . . .	14
2.4.1 Sistemas de monitoramento . . . . .	14
2.4.2 Classificação de imagens . . . . .	16
2.4.2.1 <i>Classificação de agricultura de pequena escala</i> . . . . .	17
2.5 Técnicas de análise espacial . . . . .	18
2.5.1 Índice Global de Moran . . . . .	20
2.5.2 Índices Locais de Associação Espacial (LISA) . . . . .	21
2.5.3 Modelo de regressão multivariada . . . . .	22
2.6 Métodos para regionalização . . . . .	25
<b>3 MATERIAIS</b> . . . . .	<b>29</b>
3.1 Descrição das áreas de estudo . . . . .	29
3.1.1 Estado do Pará . . . . .	29
3.1.2 Oeste do Pará . . . . .	31
3.2 Dados utilizados . . . . .	35
<b>4 METODOLOGIA</b> . . . . .	<b>37</b>
4.1 Escala macro: estado do Pará . . . . .	37
4.1.1 Análise espacial . . . . .	37
4.1.2 Análise de regressão . . . . .	38
4.2 Escala local: Oeste do Pará . . . . .	39
4.2.1 Processamento de imagens . . . . .	40
4.2.2 Regionalização via Skater . . . . .	43
4.2.3 Geração de indicadores para caracterização das regiões . . . . .	45
4.2.3.1 <i>Indicadores de vegetação secundária</i> . . . . .	45

4.2.3.2	<i>Indicador de regime de terras</i>	46
4.2.3.3	<i>Indicador de acesso potencial a mercados locais</i>	46
4.2.3.4	<i>Indicador de infraestrutura de transporte e urbana</i>	48
4.2.3.5	<i>Indicador síntese de cultivo de mandioca</i>	49
4.2.4	Análise estatística	49
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>51</b>
5.1	Análise espacial de dados geográficos: estado do Pará	51
5.1.1	Regimes espaciais	51
5.1.2	Análise de regressão	52
5.1.2.1	<i>High high</i>	53
5.1.2.2	<i>Low low</i>	56
5.2	Análise na escala local: Oeste do Pará	60
5.2.1	Classificação	60
5.2.2	Regionalização	63
5.2.3	Indicadores de sistemas produtivos de mandioca	66
5.2.4	Análise estatística	73
5.2.5	Caracterização das regiões em relação aos sistemas produtivos	74
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>87</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>91</b>
	<b>APÊNDICE A - DIAGNÓSTICO DA ANÁLISE DE RESÍDUOS</b>	<b>109</b>
	<b>APÊNDICE B - ESPACIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS NOS MODELOS DE REGIMES ESPACIAIS</b>	<b>113</b>
	<b>APÊNDICE C - ESPACIALIZAÇÃO DOS INDICADORES DE SISTEMAS PRODUTIVOS DE MANDIOCA</b>	<b>119</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de informação qualificada a partir de técnicas de sensoriamento remoto ainda tem muito espaço para avançar em muitas áreas de aplicação (NOVO, 2014), dentre elas, a Agricultura de Pequena Escala (AGPE). Porém, a invisibilização da AGPE se dá não apenas pelas limitações operacionais do sensoriamento remoto, Souza et al. (2019) pontuam também a falta de interesse dos tomadores de decisão, o que reflete em políticas econômicas excludentes. A AGPE não é discriminada nas principais bases de dados de uso e cobertura da terra e é incorporado em classes mais amplas ou classes mistas, tais como, mosaico de ocupação e vegetação secundária (SOUZA et al., 2019; ALMEIDA et al., 2016; SOUZA et al., 2020; IBGE, 2020). Além disso, os dados referentes aos sistemas de produção, tais como valor de produção (R\$), tamanho da área colhida (ha), quantidade produzida (t), são disponibilizados apenas em nível municipal nos levantamentos do Censo Agropecuário e da Produção Agrícola Municipal, ambos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A AGPE é responsável pelo cultivo de mandioca na Amazônia, cujo valor histórico vai além da alimentação: a mandioca contribui com o fortalecimento de tradições e vínculos sociais, produzindo redes de sociabilidade entre os sujeitos e transformando-se em bem material e simbólico (PICANÇO, 2017). O cultivo da mandioca e a fabricação de farinha e outros derivados formam, portanto, um sistema técnico-produtivo rural de base camponesa secular, herdado das civilizações indígenas e que cumpre importante função social (COSTA, 2012). É de grande relevância a diferenciação desse tipo de sistema, que supre importante parte das necessidades nutricionais da população local e compõe a base da economia regional da Amazônia (OLIVEIRA et al., 2017). Conhecer o uso da terra formado pelo cultivo de mandioca e seus padrões espaciais é essencial para que a análise da paisagem seja completa e sua representação cartográfica seja capaz de caracterizar as áreas desses sistemas de produção e seus agentes sociais, não apenas representando a agricultura industrial, produzida em larga escala (SOUZA, 2016).

Conforme explica Costa (2012), a mandioca se apresenta como uma atividade inclusiva e diversificada e está presente na formação histórica de estruturas camponesas na Amazônia. O cultivo da mandioca e a produção de farinha, assim como o cultivo de arroz, milho e feijão, foram responsáveis pela manutenção dos trabalhadores que se desligavam dos seringais. No Pará, esse movimento de campesinização se deu próximo a grandes cidades, especialmente Belém e Santarém, de maneira a abastecer os mercados locais com alimentos. O Pará é o estado que mais se destaca no cultivo de

mandioca e detém as maiores áreas de plantação do Brasil, sendo responsável por 17% da área total colhida e 22% do valor de produção do país (IBGE, 2017). Esse cultivo movimentava mais de R\$ 1,3 bilhão na economia local do Pará (IBGE, 2017). Estima-se que o cultivo de mandioca seja responsável por empregar mais de 200 mil pessoas, sendo potencialmente a maior fonte de emprego no Pará (FILGUEIRAS; HOMMA, 2016).

Os sistemas produtivos de mandioca não são homogêneos e podem apresentar diferentes características quanto às formas de produção, acesso potencial a mercados, ciclo de pousio, entre outros. Em uma escala mais ampla, considerando o estado do Pará, observa-se grande heterogeneidade na distribuição das áreas de cultivo da mandioca. Na parte Sul, nos municípios vizinhos ao estado do Mato Grosso, observa-se uma menor área colhida de mandioca<sup>1</sup> (IBGE, 2017). Por outro lado, os municípios da parte Nordeste apresentam maiores áreas colhidas de mandioca<sup>2</sup> (IBGE, 2017). Devido a esta heterogeneidade, a identificação de fatores associados ao cultivo da mandioca requer a realização de análises individualizadas para agrupamentos de municípios que apresentam maior e menor área colhida. Em escala local, para uma melhor compreensão desses fatores, também é importante trabalhar de forma regionalizada observando as áreas de maior/ menor ocorrência do cultivo de mandioca, bem como os diferentes fatores que podem estar associados a elas. Nesse sentido, a regionalização permite realizar uma análise dos padrões espaciais de cultivo de mandioca em diferentes contextos.

Na Amazônia, o cultivo de mandioca utiliza o pousio como estratégia agrícola, cuja duração é de 2 até 30 anos (LAUE; ARIMA, 2016). Durante esse período, a vegetação secundária atua na recuperação da fertilidade do solo ao reincorporar matéria orgânica, permitindo que a área fique apta para um novo ciclo agrícola (MORAN et al., 2000; RIBEIRO FILHO et al., 2013). Vale ressaltar que nem toda vegetação secundária é proveniente dessa prática. Porém, em determinados locais, como nas regiões ribeirinhas da Amazônia, a vegetação secundária, formada por áreas desmatadas em processo de regeneração natural (LAUE; ARIMA, 2016), pode indicar práticas de AGPE (SÁ et al., 2004). A importância da vegetação secundária é discutida por Costa (2016), Heinrich et al. (2021), que destacam sua participação na fixação e ciclagem de nutrientes, sequestro de carbono e na restauração de propriedades ecológicas de florestas tropicais.

---

<sup>1</sup> Cumaru do Norte (83 ha), Novo Progresso (85 ha) e Santana do Araguaia (150 ha).

<sup>2</sup> Acará (7.535 ha), Moju (5.497 ha), Baião (3.812 ha) e Cametá (3.654 ha).

Nesse trabalho, parte-se da premissa de que o contexto de uso da terra e de ocupação, em que os cultivos de mandioca se inserem, influenciam no nível de intensificação dessa produção, ou seja, nos locais onde há uma maior intensificação do uso da terra, espera-se que os ciclos de pousio de cultivo da mandioca sejam mais curtos. O conceito de intensificação aqui utilizado baseia-se nas definições de [Boserup \(1972\)](#), que considera a duração dos ciclos de pousio. Para a autora, quanto menor o período que uma área leva para voltar a ser cultivada, ou seja, quanto menor o período de pousio, maior a intensificação.

Em áreas de AGPE com cultivo de mandioca, a infraestrutura representada pela rede de estradas e pela proximidade com as cidades, bem como a presença de estabelecimentos rurais que concentram muita terra, podem afetar a dinâmica deste cultivo, encurtando os ciclos de produção. Isso foi observado em trabalhos de campo no Oeste do Pará, que demonstraram que nas áreas onde há maior intensificação do uso associado à sojicultura, as comunidades destinam maior parte da produção de mandioca à comercialização, enquanto as demais comunidades, em áreas de menor intensificação (e.g. áreas ribeirinhas, unidade de conservação) destinam a maior parte da produção de mandioca ao consumo ([SOUZA, 2016](#); [CAMILOTTI et al., 2020](#)). Isso se dá, devido à menor disponibilidade de acesso à terra, que leva a uma redução no tempo de pousio, visto que uma mesma área passa a ser utilizada com maior frequência ([JAKOVAC et al., 2017](#)). Somado a isso, a integração e melhor acesso aos mercados, por meio de infraestrutura de transporte, aumenta a possibilidade de atender às crescentes demandas ([JAKOVAC et al., 2017](#); [BRONDIZIO, 2004](#)). Essa intensificação do cultivo pode resultar em degradação e perda de fertilidade do solo ([RIBEIRO FILHO et al., 2013](#); [JUNQUEIRA et al., 2016](#)). Por outro lado, supõe-se que as áreas ribeirinhas ou as áreas localizadas em unidade de conservação de uso sustentável (UC/US), cujo acesso e uso da terra é permitido exclusivamente às comunidades locais ([MMA, 2020b](#)), registram menor intensificação. Com o menor potencial de acesso ao mercado, a produção é, em grande parte, destinada ao consumo da própria família, sendo o excedente eventualmente vendido para as comunidades do entorno ([SOUZA, 2016](#)). Vale mencionar, todavia, que [Camilotti et al. \(2020\)](#) identificaram em estudo no Oeste do Pará que as comunidades ribeirinhas que se encontram fora das Unidades de conservação e têm acesso à estrada apresentam perfil mais parecido com as comunidades de terra firme com acesso à estrada, no que diz respeito à extração de recursos florestais.

Para [Boserup \(1972\)](#), o processo de intensificação se baseia em tempo de pousio da terra. A autora não distingue terra cultivada de terra não-cultivada, pois es-

sas áreas, em sua concepção, formam o mesmo sistema, ou seja, tanto a área com cultivo, quanto a área em pousio são partes dos modos de produzir. A ênfase da intensificação recai sobre a frequência do cultivo, em que os intervalos de plantação e colheita em uma terra vão se encurtando até o ponto em que o novo plantio passa a ser realizado logo após a colheita, o que configura o maior nível de intensificação em sua concepção. Considerando isso, Jakovac et al. (2017) utilizaram a idade da vegetação secundária como *proxy* de intensificação de uso de terra para estudo de comunidades às margens do rio Tefé. Esse indicador é utilizado no corrente trabalho e foi utilizado em Escada (2003) e Alves et al. (2003). Costa (2016) sugere que a vegetação secundária formada pelo pousio deve ser considerada como um ativo da propriedade e a denomina de capoeira-capital.

As regiões com intensificação do uso demandam políticas de controle do processo de concentração de terra e de exclusão de pequenos produtores rurais (SOUZA, 2016). Por sua vez, as regiões com menor intensificação demandam políticas que garantam a inserção das comunidades em arranjos produtivos locais existentes ou potenciais (SOUZA, 2016). É desejável que as áreas de AGPE fiquem contidas nas áreas já desmatadas e que a intensificação decorra do desenvolvimento de tecnologias específicas com soluções locais, aumentando a produtividade, reduzindo o esforço de produção e dando a possibilidade de diversificação. Os diferentes contextos devem ser considerados durante a elaboração de políticas que visam o fortalecimento e o investimento na AGPE.

Isto posto, esse trabalho se propõe a investigar as áreas de ocorrência do cultivo de mandioca no estado do Pará e em escala local, na região Oeste do Pará, que inclui os municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos, e caracterizar contextos ambientais e econômicos, de maneira a contribuir com informação qualificada que possa ser utilizada para subsidiar políticas públicas orientadas para fortalecer a AGPE. Ressaltando, mais uma vez, sua relevância, por se tratar de um sistema inclusivo, que altera pequena parcela da cobertura florestal e que pode contribuir com a fixação de carbono, geração de renda e provisão de alimento. Assim, observando duas escalas de análise, uma que abrange o estado do Pará e outra em escala local, pretende-se responder às seguintes perguntas: *Como é o padrão de distribuição espacial do cultivo de mandioca no estado do Pará? Quais são os principais fatores associados ao cultivo de mandioca em regiões com distintos regimes espaciais? Como se caracterizam os sistemas produtivos de mandioca na região Oeste do Pará considerando diferentes contextos de uso e cobertura da terra?*

## 1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é identificar padrões de distribuição espacial do cultivo de mandioca e determinar fatores ambientais e socioeconômicos associados a esse cultivo, caracterizando diferentes contextos de produção no estado e na região Oeste do Pará. Para atingir esse objetivo, foram delineados os seguintes objetivos específicos:

- Identificar regimes espaciais de cultivo de mandioca no estado do Pará;
- Determinar fatores ambientais e socioeconômicos associados aos regimes espaciais de cultivo de mandioca, por meio da variável resposta *área colhida de mandioca*, a partir de análise de regressão multivariada;
- Em escala local, na região Oeste do Pará, caracterizar os sistemas produtivos de mandioca de acordo com diferentes contextos de uso e cobertura da terra em relação ao processo de intensificação, regime de terras, acesso potencial a mercados locais e infraestrutura de transporte e urbana;
- Identificar áreas de potencial ocorrência de cultivo de mandioca por meio de um indicador síntese para a escala local.

## 1.2 Organização do trabalho

Este trabalho está dividido em 6 capítulos. O capítulo 1 trata sobre a invisibilização e dificuldades de mapeamento da AGPE, a importância do cultivo de mandioca e a intensificação do uso da terra. Esse capítulo também discute brevemente os fatores associados ao cultivo de mandioca e apresenta os objetivos e perguntas.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, aborda os conceitos e bases científicas que sustentam este estudo. São discutidas as características do cultivo de mandioca, limitações do monitoramento, alternativas para o mapeamento com técnicas de processamento digital de imagens e de análise espacial.

O capítulo 3 apresenta os dados utilizados para cada escala de análise e faz a descrição das áreas de estudo: i) Escala macro - estado do Pará e ii) Escala local - Oeste do Pará.

O capítulo 4 apresenta os métodos selecionados. Para a escala do estado do Pará, foi utilizada técnica de análise espacial para detectar regimes espaciais e aplicar um modelo de regressão para obtenção dos fatores socioeconômicos e ambientais associados ao cultivo da mandioca. Para a escala local, foi utilizada representação celular

e método de regionalização para separar a área de estudo em diferentes contextos de uso da terra e, finalmente, foram elaborados indicadores que possibilitem caracterizar essas áreas potenciais de cultivo de mandioca, tais como intensificação, acesso potencial a mercado, regime de terras e infraestrutura.

O capítulo 5 apresenta os resultados encontrados, levando em consideração os objetivos, as perguntas formuladas a respeito dos sistemas produtivos de mandioca, sua distribuição espacial e os fatores associados nas duas escalas de análise. Também é apresentado o indicador síntese de cultivo de mandioca, apontando as áreas de maior potencial de ocorrência. Por fim, o capítulo 6 traz as conclusões, dando enfoque às principais ideias discutidas a partir das técnicas e descobertas do trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta Seção dá apoio à metodologia utilizada. Inicialmente, são apresentados os cultivares conhecidos genericamente como mandioca (*Manihot esculenta* Crantz): mandioca brava e mandioca mansa. A diferenciação entre esses dois tipos é importante no sentido de que isso interfere também na maneira como a mandioca é utilizada e consumida. São apresentadas as diferenças entre o cultivo em terra firme e em regiões ribeirinhas, bem como os fatores associados ao cultivo. É abordada também a dificuldade em mapear essas áreas devido ao seu tamanho e heterogeneidade, o que reflete em limitações no uso de dados de sistemas de monitoramento do uso e cobertura da terra, que não possibilitam discriminar com facilidade a AGPE. E, por fim, são descritos os conceitos e métodos propostos para cada escala de estudo, a partir de técnicas de análise espacial (Índice Global de Moran, LISA e análise de regressão) e regionalização (Skater).

### 2.1 Variedades e usos da mandioca

Ao utilizar o termo *mandioca*, são consideradas diversas variedades<sup>1</sup>, que são utilizadas para finalidades distintas. Essa seção traz um breve histórico da evolução da mandioca, observando a seleção das variedades utilizadas atualmente. São descritos produtos e subprodutos gerados por essas variedades, bem como a contribuição de cada uma delas à cadeia produtiva da mandioca e aos atores sociais envolvidos.

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma espécie nativa das Américas, ocorrendo desde o Norte da Argentina até o Sul dos Estados Unidos (FAO, 2013). Há estudos que indicam o Sudoeste da Bacia Amazônica como o centro de origem das variedades cultivadas, no entanto, não há consenso (ALVES-PEREIRA et al., 2018).

Estima-se que a mandioca selvagem (*Manihot esculenta* ssp. *flabellifolia*) tenha sido domesticada há 9 mil anos, quando os povos originários iniciaram seu cultivo para consumo próprio (FAO, 2013). Após essa domesticação inicial, pressões seletivas divergentes deram origem às variedades que são atualmente cultivadas: mandioca brava (mandioca, mandioca amarga, mandioca de indústria) e mandioca mansa (mandioca de mesa, macaxeira, aipim) (ALVES-PEREIRA et al., 2018).

Em seu trabalho, Alves-Pereira et al. (2018) encontraram evidências de que a mandioca mansa pertence a esse primeiro processo de domesticação, pois apresenta maior

---

<sup>1</sup> O termo *variedade* é adotado informalmente e não se refere à taxonomia, dado que não existe diferença botânica entre os dois tipos de mandioca (ALVES-PEREIRA et al., 2018; CHAVES, 2016).

divergência de genoma em relação à mandioca selvagem, cujo teor de toxicidade é muito alto. A mandioca brava, por sua vez, apresenta mais semelhanças genômicas com a selvagem, indicando um menor tempo decorrido desde a sua domesticação, que remonta a cerca de 4 mil anos (ALVES-PEREIRA et al., 2018). O que diferencia as duas variedades é o teor de ácido cianídrico (HCN) contido em suas raízes (MATTOS; CARDOSO, 2003; CUNHA; FARIAS NETO, 2016).

A mandioca mansa, por apresentar menor teor de toxicidade, pode ser consumida com processamento básico (descascamento e cozimento) (ALVES-PEREIRA et al., 2018; CUNHA; FARIAS NETO, 2016). Na região do Oeste do Pará, por exemplo, todas as 27 comunidades ribeirinhas estudadas por Affonso et al. (2016) cultivam essa variedade para consumo próprio e parte das comunidades faz venda regular de mandioca (22%), de farinha (19%) e venda esporádica de mandioca (4%), a depender da necessidade e quantidade excedente. Essas comunidades também cultivam a mandioca brava, sendo a produção inteiramente destinada à farinha. O consumo da mandioca brava requer maior cuidado quanto ao processamento para que não seja nociva (descascamento, maceração, trituração, prensamento) (CHISTE et al., 2010). Essa variedade é utilizada quase exclusivamente para a produção de farinha, mas também é destinada a beiju, tucupi, bebidas fermentadas, fécula, polvilho, entre outros (ALVES-PEREIRA et al., 2018; MATTOS; CARDOSO, 2003; AFFONSO et al., 2016; CUNHA; FARIAS NETO, 2016). A farinha produzida no Pará é também exportada para outros estados da região Norte, tais como Amazonas e Amapá, e também para a região Nordeste, em épocas de escassez.

Além das raízes, a folha da mandioca é também importante alimento no Pará, sendo utilizada para a preparação da maniçoba - principal prato típico consumido no Círio de Nazaré, maior festa religiosa do Brasil, e em outras festividades (MODESTO JUNIOR et al., 2019). Quando cultivada para essa finalidade, a variedade maniçobeira é mais eficiente, visto que possui mais folhas e com valores mais baixos de ácido cianídrico (CUNHA; FARIAS NETO, 2016; MODESTO JUNIOR et al., 2019). Em investigação sobre a economia da folha de mandioca<sup>2</sup> em Tracuateua da Ponta, comunidade de Santo Antônio do Tauá (PA), Nascimento (2019, p. 77) discorre sobre os "movimentos de mudança social e o dinamismo próprio do camponês em se reproduzir enquanto ser social num escopo que considera as diferentes formas e graus de inserção das unidades camponesas no mercado". Pensando nisso, o autor enfatiza a necessidade de reflexões sobre os mecanismos para a sustentabilidade e eficiência da AGPE, haja visto que sua existência é concreta e se manifesta com lógica econômica interna (NASCIMENTO, 2019). A título de exemplo, vale citar estudo de Modesto Ju-

nior et al. (2019), que verificou maior eficiência de empreendimento de maniva em Santo Antônio do Tauá, em comparação a outro empreendimento em Inhangapi e, com isso, pôde indicar melhores práticas<sup>3</sup>, bem como novos tópicos para futura investigação da eficiência. Nessa perspectiva, estudos sobre a produção de mandioca, seja qual for a finalidade (consumo *in natura*, farinha, folha etc), são importantes ao pontuar características e evidenciar a heterogeneidade existente, como demonstram Siviero e Lessa (2020) ao abordar o cultivo de diferentes variedades de mandioca por povos indígenas, populações locais e outros.

## 2.2 Formas de cultivo de mandioca na Amazônia

A mandioca é uma cultura que não tem exigência de tratamentos culturais como outras espécies comerciais e, além disso, pode ser mantida no solo até que seja interessante ao produtor realizar sua venda sob condições favoráveis (FILGUEIRAS; HOMMA, 2016). As formas de cultivo incluem o cultivo exclusivo da mandioca, cultivo em consórcio com outras culturas e dentro de sistemas agroflorestais, cultivo em leiras, em faixas adensadas e também em nível (FIALHO; VIEIRA, 2011; MODESTO JÚNIOR; ALVES, 2014), conforme ilustrado na Figura 2.1. O preparo da área consiste em "capinas, catação de raízes, coivaras ou enleiramentos dos restos vegetais e o coveamento ou sulcamento para o plantio das manivas-semente" (MODESTO JÚNIOR; ALVES, 2014, p. 37). Durante o cultivo, os autores enfatizam a necessidade de práticas que contribuam para evitar as perdas de solo e de água, tais como: capina em linhas alternadas, capina nas linhas e roçagem nas entrelinhas e uso de cobertura morta (*mulching*). Em linhas gerais, a mesma área é utilizada por 3 anos (2 ciclos) antes de ser abandonada para pousio (MODESTO JÚNIOR et al., 2019).

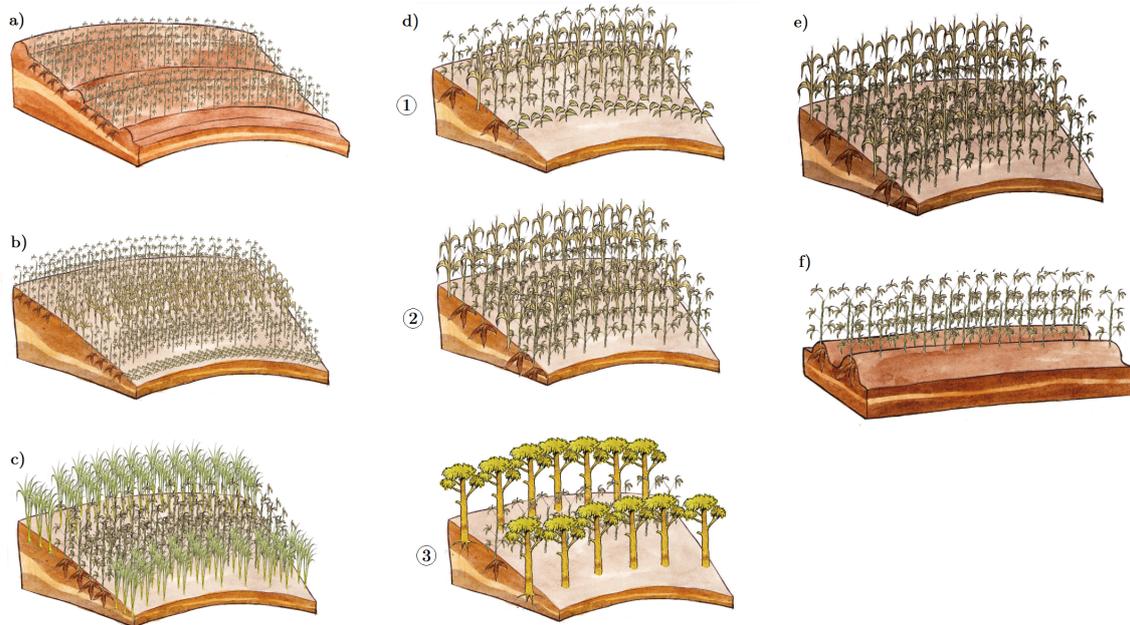
O pousio é utilizado na Amazônia como parte do sistema produtivo de mandioca, configurando-se em agricultura do tipo *shifting cultivation*, denominado como sistema de roçado na Amazônia, cuja estratégia de manejo está vinculada à formação de capoeira, desenvolvida por processos de regeneração (COSTA, 2016; KATO et al., 2004). Há duas maneiras de entender a vegetação secundária: i) uma expressão do desmatamento causado por uma prática agrícola mal sucedida e, portanto, carrega a responsabilidade pelo insucesso; ii) atribui à vegetação secundária a noção de mecanismo de restauração e pode ser vista como um ativo dentro do sistema de produção (COSTA, 2016). A partir da segunda concepção, entende-se que a capoeira pode fa-

---

<sup>2</sup> A folha de mandioca é conhecida regionalmente como maniva.

<sup>3</sup> As práticas indicadas neste estudo estão mais relacionadas às etapas de processamento da maniva e para sustentabilidade financeira. No entanto, sugere-se também a priorização do cultivo da variedade maniçobeira no lugar das variedades tradicionais.

Figura 2.1 - Sistemas de cultivo de mandioca.



- a) Plantio em nível: plantio segue as curvas de nível do terreno.
- b) Cultivo em faixas: a mandioca é plantada em faixas alternadas com outros cultivos, tais como arroz, feijão e milho.
- c) Cordões de contorno: plantio com faixas adensadas de culturas mais vegetativas, seguindo as curvas de nível (cana, capins e outros).
- d) Consorciação, policultivo ou cultivo múltiplo: sistemas de plantio com diferentes culturas em determinado espaço de tempo e, normalmente, com arranjos modificados em relação ao plantio de cultura solteira ou monocultivo.
- d.1) Fileiras simples consorciada com milho e feijão;
- d.2) Fileiras duplas consorciada com milho;
- d.3) Sistemas com culturas perenes ou fruteiras.
- e) Consorciação em fileiras alternadas: consorciar uma cultura entre duas fileiras simples de mandioca e outra não.
- f) Plantio em leirões ou camalhões: plantio da mandioca em leiras para reduzir o escoamento superficial das águas e a erosão do solo. Esse sistema facilita a colheita da mandioca e controla a aeração do solo em áreas com baixa drenagem, reduzindo a ocorrência de podridão radicular.

Fonte: Fialho e Vieira (2011).

zer do sistema produtivo como uma forma de produzir biomassa, sendo chamada de capoeira-capital por [Costa \(2016\)](#). O autor também introduz a capoeira-sucata, aquela associada a áreas onde não há mais condições de cultivo, pois houve degradação das relações solo-planta-clima como resultado do impacto das atividades agropecuárias realizadas de forma inadequada, do ponto de vista ambiental, e pelo uso intensivo. Portanto, na concepção desse autor, a capoeira-capital se trata de vegetação secundária produtiva e a capoeira-sucata se trata de vegetação degradada associada a sistemas produtivos em processo de intensificação. Sendo a duração do pousio um potencial indicador da intensificação do uso da terra dentro desses sistemas, pode-se utilizar definições de [Boserup \(1972\)](#), que estabelece categorias de intensificação de uso da terra a partir do tempo de pousio. Na [Tabela 2.1](#), são descritas classes de intensificação em ordem crescente, que inicia com os sistemas extensivos, com grandes períodos de pousio e finalizando com os sistemas mais intensificados, com períodos muito curtos de pousio ou pousio praticamente inexistente.

Tabela 2.1 - Classes de representação do *continuum* de intensidade do uso da terra.

Cultivo	Características	Pousio
Pousio longo ou florestal	Clareiras abertas em florestas, cultivadas por 1 ou 2 anos e abandonadas durante período longo suficiente para formar um novo estrato florestal	20 a 30 anos
Pousio arbustivo	A curta duração do pousio não permite o crescimento de uma nova floresta, mas a terra será coberta gradualmente por arbustos e pequenas árvores. O cultivo ininterrupto pode ter muita variação e durar de 2 a 8 anos	6 a 10 anos
Pousio curto	Durante o abandono, apenas capim ou mato rasteiro cobrirão os campos	1 a 2 anos
Anual	A terra é deixada em repouso por alguns meses entre a colheita e o plantio	<1 ano
Múltiplo	A mesma área suporta duas ou mais lavouras ano após ano e o repouso entre a colheita e plantio é desprezível	-

Fonte: [Boserup \(1972\)](#).

A intensificação tem sérias implicações tanto no sistema de produção, quanto no

ambiente, que pode ter impacto desde a invasão de lianas, até exaustão do solo, alterações no clima local, perda de resiliência florestal, entre outros (BOSERUP, 1972; JUNQUEIRA et al., 2016; JAKOVAC et al., 2015). A duração do pousio está diretamente relacionada às taxas de regeneração de vegetação secundária, o que indica a capacidade de recuperação da fertilidade do solo (KATO et al., 2004; SÁ et al., 2004). Jakovac et al. (2017) explica que as áreas de AGPE que permanecem após o início da ocupação pela agricultura de larga escala (AGLE) perdem tamanho, uma vez que a resposta dos agricultores ao impacto da intensificação é a redução da roça para que os esforços de capina sejam suficientes. Reverter essa tendência requer um planejamento e ordenamento territorial para que sejam evitadas as consequências negativas da intensificação a esses produtores, que enfrentam uma menor produtividade da roça e as áreas de cultivo perdem sua capacidade de regeneração, minando a resiliência do sistema como um todo.

Ao longo do rio Tefé, tributário do rio Amazonas, a duração do pousio praticado por comunidades ribeirinhas tem sofrido reduções, passando de duração média de 6,4 para 5,1 anos no período de 1984 a 2015 (JAKOVAC et al., 2017). Segundo os autores, a redução do período de pousio e aumento da frequência do corte e queima estão mais presentes nas áreas mais próximas das residências e ao redor de grandes vilas. Reis (2022) também observou na Região do Baixo Tapajós vegetação secundária com idade similar: cerca de 75% dos eventos de regeneração observados eram  $\leq 5$  anos. Alves et al. (2003) identificaram intensificação do uso da terra em uma região próxima à BR-364, em Rondônia, no período entre 1985 e 1995, cenário que se repetiu entre 1996 e 2000 em estudo de Caviglia-Harris (2005). Essa intensificação foi observada por meio de evidências de que a vegetação secundária havia sido substituída por pastagem e, portanto, o pousio deixou de ser praticado. Diferentes regiões da Amazônia apresentam essa dinâmica, onde o maior acesso à rede de estradas e mercados está associado a uma maior conversão dos sistemas extrativistas e de AGPE para sistemas de pecuária (NEPSTAD et al., 2001; SOARES-FILHO et al., 2004; CAMIOTTI et al., 2020).

Reverter essa tendência e evitar os impactos negativos da intensificação do uso da terra requer planejamento territorial, que considere restrições de uso em determinadas regiões, bem como requer o estabelecimento de políticas públicas que apoiem as atividades agrícolas familiar e de AGPE a partir do fortalecimento ou desenvolvimento da cadeia de mercado para seus produtos (JAKOVAC et al., 2017). Sabendo que os agricultores respondem a mudanças socioeconômicas e agroecológicas, entender os diferentes sistemas produtivos é crucial para a identificação de cami-

nhos sustentáveis para a AGPE na Amazônia, que reconheçam toda sua miríade (JUNQUEIRA et al., 2016).

### 2.3 Fatores associados ao cultivo de mandioca

São diversos os fatores associados ao cultivo de mandioca na Amazônia, à AGPE e à vegetação secundária. Perz e Skole (2003) encontraram evidências de que a presença de comunidades antigas tem efeito positivo na extensão de vegetação secundária. De maneira geral, essas comunidades estão localizadas em áreas de projetos de assentamento instituídas pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e em unidades de conservação de uso sustentável (UC/US) que praticam a agricultura, em especial, o cultivo de mandioca.

Os projetos de assentamento, disponibilizados no acervo fundiário do INCRA (2020), são áreas ocupadas por famílias que exploram a terra para sustento próprio, utilizando exclusivamente a mão-de-obra familiar. Entre Itaituba e Uruará, onde predominam projetos de assentamento, comunidades às margens da Transamazônica têm como principal uso da terra, além da pecuária, a agricultura para a produção de farinha, importante tanto para o consumo, quanto para renda (DAL´ASTA et al., 2014).

As UC/US, por sua vez, pertencem à categoria que admite a presença de moradores e permite que as populações tradicionais desenvolvam atividades que façam uso dos recursos naturais, desde que assegurada a perenidade dos recursos renováveis e dos processos ecológicos (MMA, 2020b). Em estudo com comunidades ribeirinhas do Oeste do Pará, inseridas em UC/US, verificou-se que todas praticavam o cultivo de mandioca para produção de farinha, tanto para consumo, quanto para venda (AFFONSO et al., 2016). Neste caso, em virtude das restrições impostas pelas regras de uso dessas UC, as famílias podem, de uma maneira geral, usar até 1,25 ha da área de capoeira e 0,5 ha floresta primária para produção agrícola (AFFONSO et al., 2016).

Outros fatores importantes associados ao cultivo e comercialização da mandioca são as estradas e acesso a mercados locais. A raiz da mandioca possui grande quantidade de água em sua composição, o que dificulta o seu armazenamento, transporte e sua comercialização, pois a raiz estraga rapidamente e isso torna as alternativas de venda dos produtores mais limitadas (VILPOUX, 2011).

Vale também mencionar fatores ambientais relacionados com as populações que cul-

tivam esse produto. A proximidade a corpos d'água, por exemplo, indica a presença de comunidades ribeirinhas, formadas por pequenos produtores rurais que cultivam lavouras para subsistência (SOUZA, 2016; OESTREICHER et al., 2014). Outros fatores relacionados com o contexto ambiental também podem estar associados às formas de cultivo: em paisagens com maior intensificação do uso da terra, espera-se que o cultivo de mandioca também seja mais intensificado e vice-versa, conforme discutido na seção anterior.

Por fim, os contextos de uso da terra devem ser considerados (floresta primária, agricultura anual e pastagem) ao realizar uma regionalização, para que se possa analisar os fatores associados aos diferentes sistemas produtivos de mandioca. As implicações da regionalização são melhor discutidas nas seções sobre [Métodos para regionalização](#) e [Regionalização via Skater](#).

## 2.4 Monitoramento e métodos para classificação

Ainda não existe um sistema de monitoramento de uso e cobertura da terra que disponibilize dados de AGPE. Então, para mapear esses sistemas produtivos, é possível utilizar métodos de classificação que contemplem, além das características espectrais, atributos espaciais do objeto formado pelo alvo de interesse, uma vez que essa classe apresenta feições geométricas e pequenas, podendo apresentar grande heterogeneidade dos elementos que a compõem.

### 2.4.1 Sistemas de monitoramento

Atualmente, são três os principais sistemas de monitoramento do uso e cobertura da terra na Amazônia: TerraClass (ALMEIDA et al., 2016), MapBiomias (SOUZA et al., 2020) e IBGE (IBGE, 2020). Todos esses sistemas de monitoramento utilizam imagens Landsat para a classificação e se apoiam em métodos automáticos e semiautomáticos. O sistema de monitoramento do IBGE apresenta dados de uso e cobertura da terra para o ano de 2000 e, a partir de 2010, foi adotada uma frequência bienal de novas publicações (IBGE, 2020). O MapBiomias é uma iniciativa que envolve um grupo de instituições e traz a proposta de apresentar uma série histórica para todo o território brasileiro. O projeto disponibiliza mapas de 1985 a 2021, que são anualmente revisados. Até o momento, existem sete coleções disponíveis e seus desenvolvedores reconhecem a possibilidade de "inconsistências espaciais nas classificações temáticas, na linha temporal e entre classes temáticas e temas transversais" (MAPBIOMIAS, 2021). O TerraClass, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa

Agropecuária (EMBRAPA) Amazônia Oriental, possui uma base de dados de uso e cobertura da terra consolidada para Amazônia e Cerrado, porém disponibiliza uma série histórica apenas a partir de 2004. Atualmente, estão disponíveis mapeamentos para a Amazônia para os anos de 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014. O projeto utiliza como referência as áreas indicadas como desmatamento pelo PRODES e realiza a classificação a partir dessa área (INPE; EMBRAPA, 2018).

A escolha por mapeamentos em maior escala leva à invisibilização de classes que exigem um maior detalhamento (SANTOS; ESCADA, 2018), fazendo com que esses tipos de uso e cobertura não apareçam de forma explícita em nenhum dos sistemas e sejam incluídos em classes mais amplas ou mistas (SOUZA et al., 2019; PENHA et al., 2013). Para o sistema de monitoramento proposto pelo IBGE, as áreas de AGPE são inseridas nas classes de *mosaico de ocupações em área florestal* e *mosaico de ocupações em área campestre*, que preveem uma ocupação mista de área agrícola, pastagem e/ou silvicultura, onde não é possível distinguir os elementos presentes (IBGE, 2020). Do mesmo modo, o MapBiomas também apresenta uma classe mista, denominada *mosaico de agricultura e pastagem*, cuja principal característica é a impossibilidade de distinção entre agricultura e pastagem (SOUZA et al., 2020). No caso do TerraClass, a AGPE era incorporada na classe de *mosaico de ocupações*, mas também podia estar presente na classe de *vegetação secundária* (SOUZA et al., 2019). A ocorrência da AGPE associada à *vegetação secundária* se deve em grande parte ao pousio e também à presença de culturas permanentes em sistemas agroflorestais, principalmente o cacau, que é plantado juntamente com espécies arbóreas, para garantir o sombreamento (MODESTO JÚNIOR; ALVES, 2014).

Observa-se que as classes que englobam a AGPE, apresentadas na Tabela 2.2, são classes com diversos tipos de uso e cobertura que não podem ser distinguidos, em parte, devido à resolução espacial das imagens utilizadas, mas também devido aos métodos de mapeamento. E, por isso, áreas menores que o tamanho mínimo de mapeamento e/ou que possuem uso e cobertura diversificados, passam a ser agregadas em uma única classe (SOUZA et al., 2019). O cultivo de mandioca nas regiões ribeirinhas do Oeste do Pará, por exemplo, tem lavouras que compreendem, em geral, áreas de 0,25 ha (SOUZA et al., 2019). Enquanto isso, o TerraClass adota uma área mínima mapeável de 6,25 ha (SOUZA, 2016) e o IBGE utiliza grade de células de 1 km<sup>2</sup> (IBGE, 2020). A Tabela 2.2 apresenta as descrições das classes que englobam a AGPE nos três sistemas de monitoramento, quase sempre classes mistas.

Tabela 2.2 - Classes mistas de uso e cobertura da terra que englobam a AGPE.

Sistema	Classe	Definição
TerraClass	Mosaico de ocupações	Associação de diversas modalidades de uso e cobertura que não podem ser discriminados devido à resolução espacial das imagens. Inclui agricultura familiar realizada de forma conjugada ao subsistema de pastagens
	Vegetação secundária	Áreas em processo avançado de regeneração da vegetação arbustiva e/ou arbórea após supressão total da vegetação florestal
MapBiomass	Mosaico de Agricultura e Pastagem	Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura
IBGE	Mosaico de Ocupações em Área Florestal	Ocupação mista de área agrícola, pastagem e/ou silvicultura associada ou não a remanescentes florestais, na qual não é possível uma individualização de seus componentes
	Mosaico de Ocupações em Área Campestre	Ocupação mista de área agrícola, pastagem e/ou silvicultura associada ou não a remanescentes campestres, na qual não é possível uma individualização de seus componentes

Fonte: Adaptado de Souza et al. (2019), Almeida et al. (2016), Souza et al. (2020) e IBGE (2020).

#### 2.4.2 Classificação de imagens utilizando classes relacionadas à AGPE

As características que devem ser observadas para a escolha da imagem mais adequada para o alvo de interesse são as resoluções espacial, temporal, espectral e radiométrica. São vários os sensores orbitais com diferentes características, cujos dados são de livre acesso, conforme mostra a Tabela 2.3. A escolha entre as imagens passa pelo *trade-off* do sensoriamento remoto: ao priorizar determinada resolução, perde-se qualidade em outra, e.g. detalhe vs. revisita.

Tabela 2.3 - Sensores remotos e suas principais características.

Satélite/ Sensor	Resolução			Operação	
	Espacial (m)	Temporal (dias)	Espectral ( $\mu\text{m}$ )		
Landsat(1-5)/MSS	68×83	16-18	4 bandas (0,50 a 1,10) <sup>4</sup>	6-8	1972 - 1999
Landsat(4-5)/TM	30 <sup>5</sup>	16	7 bandas (0,45 a 12,50)	8	1982 - 2013 <sup>6</sup>
Landsat-7/ETM+	30 <sup>3, 7</sup>	16	8 bandas (0,45 a 12,50)	8	1999 - atual <sup>8</sup>
Landsat-8/OLI	30	16	9 bandas (0,43 a 2,30)	12	2013 - atual
Landsat-8/TIRS	100	16	2 bandas (10,30 a 12,50)	12	2013 - atual
(Terra/Aqua)/MODIS	250-1000	1-2	36 bandas (0,40 a 14,38)	12	1999 - atual
Terra/ASTER	15-90	16	15 bandas (0,52 a 11,65)	8-12	1999 - atual <sup>9</sup>
CBERS(1-2b)/CCD	20	26	5 bandas (0,51 a 0,89)	8	1999 - 2010
CBERS(1-2b)/WFI	260	<5	2 bandas (0,63 a 0,89)	8	1999 - 2010
CBERS(1-2)/IRMSS	80-160	26	4 bandas (0,5 a 12,50)	8	1999 - 2008
CBERS-2b/HRC	2,7	130	1 band (0,50 a 0,80)	8	2007 - 2010
CBERS-4/PAN	5-10	26-52	4 bandas (0,51 a 0,89)	8	2014 - atual
CBERS-4/IRS	40-80	26	4 bandas (0,50 a 12,50)	8	2014 - atual
CBERS-(4-04A)/WFI	55-64	<5	4 bandas (0,45 a 0,89)	10	2014 - atual
CBERS(4-04A)/MUX	16,5-20	26-31	4 bandas (0,45 a 0,89)	8	2014 - atual
CBERS-04A/WPM	2-8	31	5 bandas (0,45 a 0,90)	10	2020 - atual
Sentinel-2/MSI	10-60	5	13 bandas (0,43 a 2,32)	12	2015 - atual
DOVE/PlanetScope <sup>10</sup>	3,5-4,77	1	4 bandas (0,45 a 0,86)	12	2016 - atual

Fonte: Adaptado de Reis et al. (2020).

#### 2.4.2.1 Classificação de agricultura de pequena escala

No caso da AGPE, a resolução espacial de maior detalhe é mais apropriada, por razões já discutidas na seção anterior, mas nem sempre é possível utilizar imagens com a melhor resolução espacial, seja por não serem gratuitas, seja pelo tempo de revisita longo, entre outros. Logo, imagens de média resolução espacial são utilizadas com métodos de classificação adequados para os alvos de interesse.

Uma vez escolhida a imagem, é preciso decidir entre a técnica de classificação a ser aplicada. A classificação não-supervisionada é aquela em que "os pixels são alocados em classes, sem que o usuário tenha conhecimento prévio de sua existência" e a classe à qual pertence cada pixel é determinada *a posteriori* (NOVO, 2014, p. 315). Já a classificação supervisionada é feita mediante a indicação de amostras pelo analista, ou seja, baseia-se em conhecimento prévio (NOVO, 2014).

Além disso, a classificação pode ser realizada pixel a pixel, por regiões ou ser orientada a objetos (GEOBIA), considerando também a informação contextual presente

<sup>3</sup> O sensor possuía banda termal para o Landsat-3

<sup>4</sup> 120 m para a banda termal

<sup>5</sup> Significante queda em número de observações após 2011

<sup>6</sup> 15 m para a banda pancromática

<sup>7</sup> Detecção de falhas a partir de mai. 2003

<sup>8</sup> Saturação da banda do infravermelho a partir de abr. 2008

<sup>10</sup> Os dados abertos são apenas os produtos *Mosaico*, cuja resolução espacial é de 4,77 m

nas imagens (BLASCHKE et al., 2000; GONZALEZ; WOODS, 2009). Para a classificação de uso e cobertura da terra de áreas com agricultura, o uso de GEOBIA é muito recomendado na literatura (MA et al., 2017). A classificação orientada a objetos permite a distinção entre alvos que possuem resposta espectral semelhante, mas diferem em relação a outros atributos, tais como textura ou forma (BLASCHKE, 2010; ZANOTTA et al., 2019). Essa abordagem requer a segmentação da imagem antes de realizar a classificação, i.e. as regiões encontradas devem ser capazes de compreender objetos inteiros na cena, sem subdivisões de alvos ou união de elementos distintos (BLASCHKE, 2010; BLASCHKE et al., 2000; MA et al., 2017; ZANOTTA et al., 2019).

Em estudos no estado do Pará, o uso de segmentação multirresolução<sup>11</sup> seguida da classificação por k-vizinho mais próximo (kNN), metodologia aqui chamada de kNN adaptado a objetos, resultou em maior exatidão global, acurácia do produtor e acurácia do usuário para a classe de AGPE (SOUZA et al., 2019; PORTO et al., 2020; PAULA, 2021). No trabalho de Souza et al. (2019), esse método retornou um acerto de 62% para a AGPE, enquanto os outros métodos (MAXVER e Distância de Bhattacharyya) não atingiram 8%. O kNN adaptado a objetos também teve a maior exatidão global, de 78%. A imagem utilizada foi RapidEye/REIS<sup>12</sup>, cuja resolução espacial é de 5 m. Porto et al. (2020) também usaram o kNN adaptado a objetos e conseguiram um acerto maior: 80% para a classe agricultura anual de pequena escala e exatidão global de 86%, utilizando imagem Landsat-5/TM, com resolução espacial de 30 m. Os trabalhos de Souza et al. (2019) e Porto et al. (2020) observaram partes dos municípios Baião, Cametá e Mocajuba, no Nordeste do Pará, sendo o primeiro para o ano de 2014 e o segundo para 2004.

## 2.5 Técnicas de análise espacial

A análise exploratória de dados espaciais (AEDE) é um conjunto de técnicas cuja finalidade é descrever e visualizar distribuições espaciais, identificar situações atípicas (*outliers*), encontrar padrões de associação espacial (*clusters*) e sugerir regimes espaciais ou outras formas de heterogeneidade espacial (ANSELIN, 1994).

Ao estudar determinado fenômeno, observar a sua distribuição espacial é uma das maneiras de compreender sua ocorrência. As unidades de análise - municípios, setores censitários, lotes - apresentam uma configuração espacial que traz informações

---

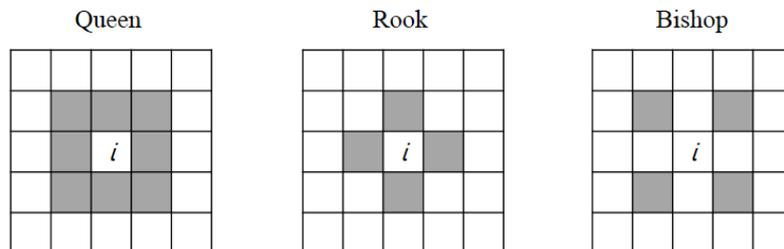
<sup>11</sup> O algoritmo de segmentação multirresolução é uma ferramenta disponível no *software eCognition Developer*.

<sup>12</sup> Os dados não são abertos, porém o Ministério do Meio Ambiente disponibiliza algumas imagens a órgãos conveniados, dentre eles, o INPE (MMA, 2020a).

relevantes para a análise, i.e. algumas unidades são vizinhas diretas, enquanto outras estão distantes no espaço (BAILEY; GATRELL, 1995). É muito provável que a ocorrência do fenômeno no local  $i$  esteja relacionada à ocorrência nas unidades vizinhas, em adição a outras relações que as regiões possam ter (BAILEY; GATRELL, 1995).

A relação entre uma variável em uma determinada localização e em uma localização vizinha influencia na construção de seu valor (BAILEY; GATRELL, 1995), o que implica em uma dependência espacial. Portanto, é preciso compreender os padrões existentes de maneira objetiva e mensurável (DRUCK et al., 2004). Nesse sentido, a análise espacial de dados geográficos incorpora a localização espacial do fenômeno de maneira explícita e, para tal, utiliza uma matriz de proximidade espacial (Figura 2.2). Essa matriz pode ser de diferentes tipos, de acordo com o critério que se deseja utilizar para definir vizinhança. Para a matriz *queen*, por exemplo, são considerados como vizinhos não somente os objetos que têm extensões de fronteira em comum, mas também aqueles que têm apenas vértices em comum. A matriz *rook* considera vizinhança apenas polígonos com extensões de fronteira em comum e a *bishop* considera apenas vértices em comum.

Figura 2.2 - Tipos de matriz de proximidade espacial.



Fonte: Bailey e Gatrell (1995).

Os tipos de dados utilizados em problemas de análise espacial correspondem à seguinte taxonomia (DRUCK et al., 2004):

- Eventos ou padrões pontuais: ocorrências identificadas como pontos localizados no espaço. Exemplo: localização de vilas.

- Superfícies contínuas: dados estimados a partir de amostras de campo e geralmente resultantes de levantamentos de recursos naturais. Exemplo: mapas geológicos.
- Áreas com contagens e taxas agregadas: dados associados a levantamentos populacionais, tais como censo e estatísticas de saúde. Geralmente, se referem a pontos no espaço, mas por questões de confidencialidade, são agregados em unidades de análise representadas por polígonos - setores censitários, municípios. Exemplo: dados censitários.

Para estimar a magnitude da autocorrelação espacial entre as áreas, podem ser utilizados o Índice Global de Moran (Subseção 2.5.1), bem como Indicadores locais de autocorrelação espacial (Subseção 2.5.2). A abordagem local é importante por ser capaz de evidenciar regimes de correlação espacial em diferentes sub-regiões, diferente da abordagem global, que retorna um resultado único para o conjunto de áreas.

### 2.5.1 Índice Global de Moran

O Índice Global de Moran calcula "o quanto o valor observado de um atributo numa dada região é independente dos valores desta mesma variável nas localizações vizinhas", i.e. verifica se existe autocorrelação espacial (BAILEY; GATRELL, 1995). Para que o índice possa ser calculado, é elaborada uma matriz de proximidade espacial que indica as vizinhanças entre as unidades de análise.

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (2.1)$$

em que:

$n$  = número de unidades de análise

$z_i$  = valor normalizado do atributo na unidade de análise  $i$

$z_j$  = valor normalizado do atributo para cada  $j$ -ésimo vizinho

$w_{ij}$  = pesos atribuídos a partir da conexão entre as áreas  $i$  e  $j$

Este índice, calculado pela Equação 2.1, retorna um resultado entre -1 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior a evidência de que existe um padrão espacial com autocorrelação positiva para a variável observada, i.e. uma determinada área possui valores

similares aos seus vizinhos, formando agrupamento espacial. Quanto mais próximo de -1, maior a evidência de que o padrão espacial é de dispersão. Resultados próximos de 0 indicam aleatoriedade na distribuição espacial para a variável em questão (ANSELIN, 1994).

Por fim, para sua validação, é preciso observar o teste de pseudo-significância a partir de  $p$  permutações dos valores dos atributos entre as áreas. Essas permutações formam novos arranjos espaciais que permitem a construção de uma distribuição empírica de  $I$ . Ao observar o  $I$  do arranjo original, é possível calcular o pseudo-valor-p e determinar a significância do resultado (DRUCK et al., 2004).

Apesar de útil na caracterização da região, uma medida global não é capaz de indicar máximos locais, onde a dependência espacial é ainda mais evidente. Para revelar os diferentes regimes de associação espacial em maior detalhe, são utilizados os Índices Locais de Associação Espacial (DRUCK et al., 2004).

### 2.5.2 Índices Locais de Associação Espacial (LISA)

Ao trabalhar com um número elevado de unidades de análise dentro de uma área de estudo, é muito provável que existam diferentes regimes de autocorrelação espacial em diferentes sub-regiões (DRUCK et al., 2004). Para identificar estes regimes espaciais, uma alternativa é utilizar indicadores locais de autocorrelação espacial, que contribuem com o conhecimento sobre os processos que dão origem à dependência espacial (BAILEY; GATRELL, 1995).

$$I_i = z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j \quad (2.2)$$

em que:

$n$  = número de unidades de análise

$z_i$  = valor normalizado do atributo na unidade de análise  $i$

$z_j$  = valor normalizado do atributo para cada  $j$ -ésimo vizinho

$w_{ij}$  = pesos atribuídos a partir da conexão entre as unidades de análise  $i$  e  $j$

O LISA (Equação 2.2) produz um valor específico para cada unidade de análise, observando seus vizinhos e, então, são identificados os agrupamentos espaciais locais onde o LISA é significativo (ANSELIN, 1995). A vantagem de se usar esse método é que o resultado irá indicar os agrupamentos, bem como as áreas de transição (Tabela 2.4), i.e. *clusters* espaciais indicando regiões com objetos de valores semelhantes

e *outliers* indicando regiões com objetos anômalos (ANSELIN; BERA, 1998).

Tabela 2.4 - Descrição dos regimes espaciais a partir do LISA.

Regime espacial	Descrição
High high	Área $i$ tem valor alto e os vizinhos também
Low low	Área $i$ tem valor baixo e os vizinhos também
High low	Área $i$ tem valor alto e os vizinhos têm valores baixos
Low high	Área $i$ tem valor baixo e os vizinhos têm valores altos

Fonte: Anselin (1995).

### 2.5.3 Modelo de regressão multivariada

A análise de regressão é utilizada para três propósitos principais: i) descrição, ii) controle e iii) predição de uma variável (NETER et al., 1983). Neste trabalho, a predição não compõe os objetivos, dado que o principal interesse está em determinar os fatores associados ao cultivo de mandioca. De maneira geral, modelo de regressão é uma maneira formal de expressar dois pontos importantes nas relações estatísticas (NETER et al., 1983):

- Tendência da variável resposta em variar de acordo com a(s) variável(is) explicativa(s).
- Dispersão das observações ao redor da curva com a relação estatística.

É importante ressaltar que os modelos de regressão não sugerem que a variável resposta depende da(s) variável(is) explicativa(s). Mesmo se constatada uma forte relação estatística entre as variáveis, não há implicação de que existe um padrão de causa e efeito entre elas (NETER et al., 1983). É apropriado discutir apenas sobre o quanto as variáveis explicativas são capazes de explicar as mudanças na variável resposta.

Considerando os modelos de regressão multivariados, que contêm mais de uma variável explicativa, bem como as técnicas de análise espacial previamente discutidas, são três as alternativas de modelos para identificar fatores associados a diferentes regimes espaciais:

- *Ordinary least squares* (OLS);
- *Spatial lag model* ou modelo SAR (*Spatial autoregressive modeling*);
- *Spatial error model*, aqui chamado de SPCAR (*Conditional autoregressive modeling*)<sup>13</sup>.

O modelo clássico OLS é sempre utilizado inicialmente como ponto de referência (ANSELIN, 2005; ANSELIN; BERA, 1998) e seus resíduos são checados para que se proceda para a escolha de outro modelo ou para prosseguimento da análise. Este modelo é aplicável quando não é identificada dependência espacial dos resíduos e, portanto, é suficiente uma relação estatística linear entre as variáveis. Quando a relação estatística não é linear, devem ser realizadas transformações da variável.

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1 \dots p} \beta_j X_j + \varepsilon \quad (2.3)$$

em que:

$Y$  = variável resposta

$\beta_0$  = intercepto populacional

$\beta_j$  = parâmetros de inclinação populacional

$X_j$  = valores das variáveis preditoras na  $j$ -ésima observação

$\varepsilon$  = erro aleatório independente e com variância constante

Quando os resíduos ( $\varepsilon$ ) do modelo clássico (Equação 2.3) apresentam dependência espacial, o modelo deixa de ser válido e, para corrigir isso, opta-se pelos modelos de regressão espacial, que capturam a dependência espacial ao adicionar um novo parâmetro ao modelo de regressão clássico (ANSELIN; BERA, 1998). O SAR atribui a dependência espacial à variável resposta  $Y$ , i.e. considera que a variável resposta na localidade  $i$  é afetada pelas localidades vizinhas (ANSELIN; BERA, 1998). O SPCAR atribui a autocorrelação espacial ao erro, o que significa que os efeitos espaciais são ruídos causados por variáveis não mensuradas pelo modelo (ANSELIN; BERA, 1998). Em outras palavras, entende-se que se fosse possível adicionar as variáveis certas para remover o erro do modelo, o espaço não importaria mais (ANSELIN; BERA, 1998).

$$Y = \rho WY + X\beta + \varepsilon \quad (2.4)$$

---

<sup>13</sup> Esse modelo aparece na literatura com a sigla CAR, porém neste trabalho optou-se por utilizar a sigla SPCAR para não haver confusão com o Cadastro Ambiental Rural, amplamente reconhecido pela sigla CAR.

em que:

$Y$  = variável resposta

$W$  = matriz de proximidade espacial

$WY$  = dependência espacial em  $Y$

$\rho$  = coeficiente espacial autoregressivo

$W\varepsilon$  = erro com efeitos espaciais

$$Y = X\beta + \rho W\varepsilon + \xi \quad (2.5)$$

em que:

$Y$  = variável resposta

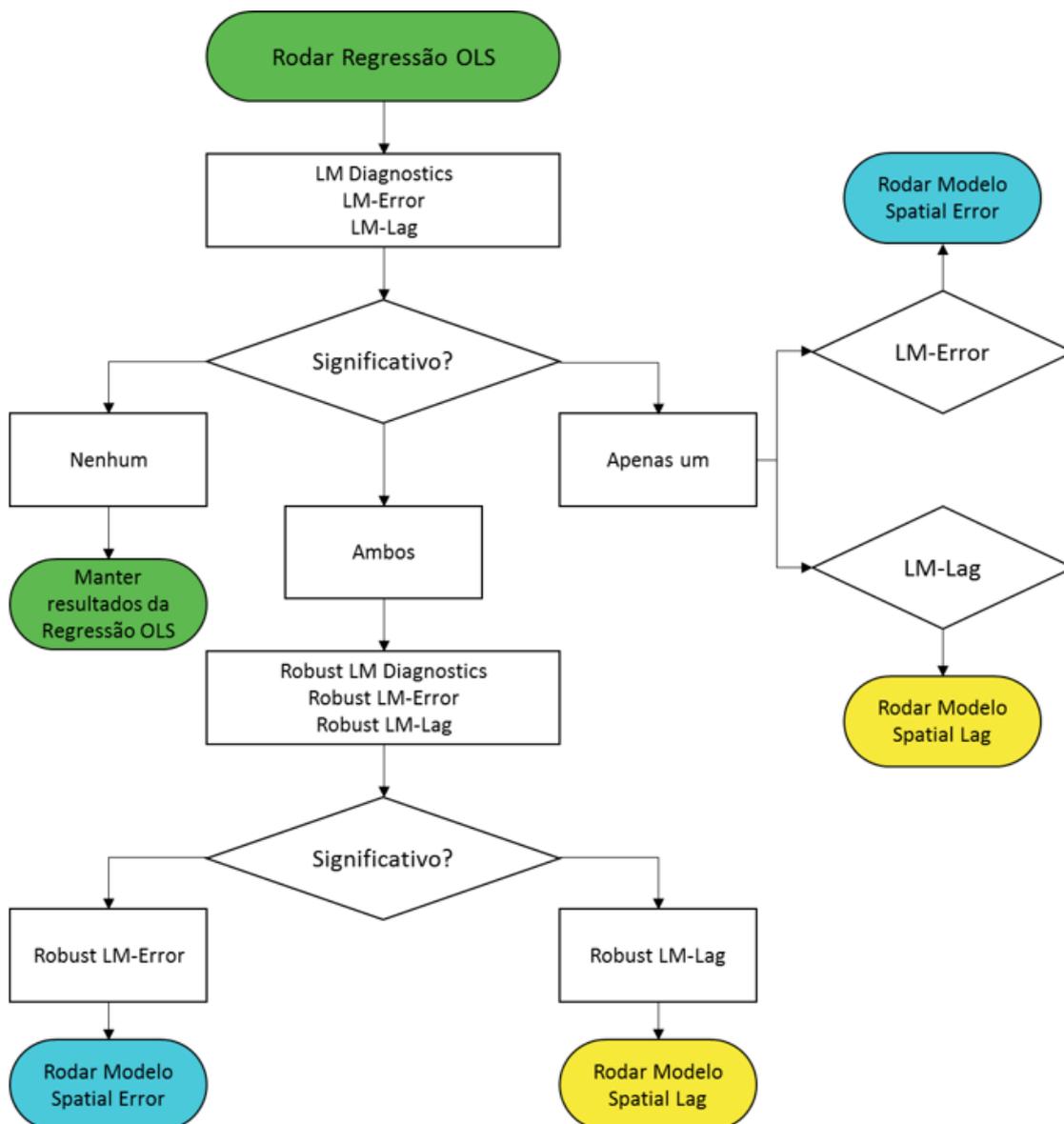
$\rho$  = medida de correlação espacial

$W\varepsilon$  = erro com efeitos espaciais

$\xi$  = componente do erro com variância constante e não correlacionada

A Equação 2.4 e Equação 2.5 representam os modelos de SAR e SPCAR, respectivamente. Em termos formais, os modelos são similares e diferem apenas quanto à motivação (DRUCK et al., 2004). A decisão entre o SAR e SPCAR é apoiada pelo Teste Multiplicador de Lagrange, que indica qual modelo é mais significativo estatisticamente (ANSELIN, 2005; ANSELIN; BERA, 1998) e segue a chave de decisão apresentada em Figura 2.3. Ambos os modelos espaciais são de efeitos globais, i.e. retornam parâmetros únicos para toda a região de interesse (ANSELIN; BERA, 1998). No entanto, quando se trata de regimes espaciais, como aqueles indicados pelo LISA (2.5.2), os modelos passam a ter efeitos locais, uma vez que são aplicados separadamente para cada sub-região formada (ANSELIN; BERA, 1998).

Figura 2.3 - Chave de decisão para escolha de modelo de regressão.



Fonte: Anselin (2005).

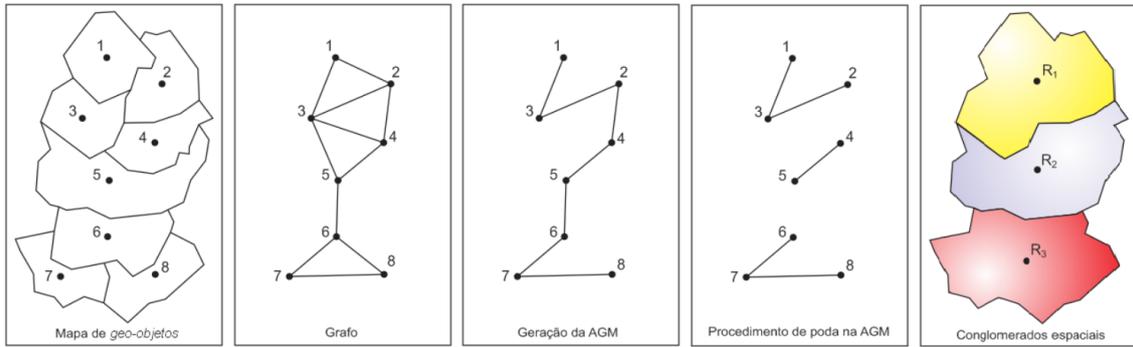
## 2.6 Métodos para regionalização

A regionalização se trata de uma técnica que é utilizada para a repartição do espaço, de maneira a identificar regiões internamente similares e diferentes entre si. Assim sendo, requer contiguidade espacial dos objetos de mesma classe (LAGE et al., 2001). São três as abordagens possíveis (ASSUNÇÃO et al., 2006):

- Regionalização em dois estágios independentes: no primeiro estágio, é realizada uma classificação a partir de atributos não-espaciais dos objetos. No segundo estágio, os agrupamentos são reavaliados ao observar as relações de vizinhança. Então, objetos de mesma classe, mas sem contiguidade espacial, passam a compor uma nova classe;
- Abordagem por componentes ponderadas: a similaridade entre os objetos é definida a partir de análise simultânea das relações de vizinhança e dos atributos não-espaciais, e.g. SAGE (*Spatial Analysis in a GIS Environment*);
- Abordagem explícita: o relacionamento de vizinhança é explicitado por meio de matrizes de contiguidade espacial, grafos, listas de objetos vizinhos, entre outros. Essa abordagem utiliza a análise de cluster adaptada para a aplicação com restrição da contiguidade espacial, e.g. AZP (*Automatic Zoning Procedure*), Skater (*Spatial "k"luster Analysis by Tree Edge Removal*).

Ao comparar a eficiência de diferentes métodos de regionalização, ASSUNÇÃO et al. (2006) constatou que a abordagem que utiliza a estrutura de vizinhança apresentou melhores resultados para regionalização de unidades socioeconômicas, i.e. malha municipal e malha de distritos. Mais especificamente, a regionalização via Skater teve desempenho superior dentro dessa abordagem, fornecendo um resultado com melhor repartição e em menor tempo de execução. Esse método faz uso de Árvore Geradora Mínima (AGM), que é construída a partir de grafo e leva em consideração medidas de similaridade entre geo-objetos a partir do conjunto de variáveis de interesse. Cada aresta da AGM tem um custo atribuído, que é calculado pelo coeficiente de similaridade ( $S$ ) e armazenado em uma matriz  $S_{n \times n}$ . Da mesma maneira, os  $p$  atributos de cada um dos  $n$  objetos são armazenados em uma matriz  $X_{n \times p}$  (LAGE et al., 2001; ASSUNÇÃO et al., 2006). Então, a AGM passa por uma poda das arestas e o procedimento de atribuição de custos é modificado para se obter regiões mais homogêneas e mais equilibradas quanto ao número de geo-objetos (LAGE et al., 2001). O custo é calculado pela diferença entre a soma dos quadrados dos desvios da árvore  $T$  e a soma de duas parcelas obtidas dos quadrados dos desvios (LAGE et al., 2001). As etapas para regionalização via Skater estão resumidas na Figura 2.4.

Figura 2.4 - Regionalização via Skater.



Fonte: Bailey e Gatrell (1995).



### 3 MATERIAIS

Esta seção faz uma contextualização das áreas de estudo para as duas escalas de análise (macro e local), observando principalmente as características quanto ao uso e cobertura da terra, bem como dados referentes ao cultivo de mandioca. Também são apresentados os dados utilizados para cada escala.

#### 3.1 Descrição das áreas de estudo

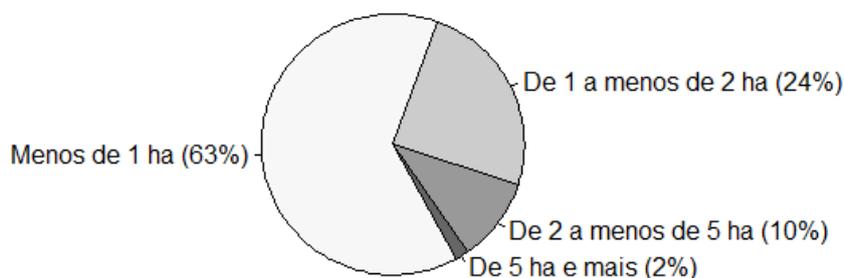
A análise de duas áreas de estudo servirá para a caracterização das áreas de cultivo de mandioca para a escala macro, englobando o estado do Pará, bem como para a escala local, englobando Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos, municípios do Oeste do Pará que têm importante contribuição nesse sistema de produção.

##### 3.1.1 Estado do Pará

A área de estudo determinada para a fase de análise para escala macro é formada pelo estado do Pará e os municípios constituem as unidades de análise.

No último censo agropecuário, realizado em 2017, cerca de 87% dos estabelecimentos agropecuários com lavoura temporária declararam o cultivo de mandioca, somando um total de 110.000 estabelecimentos (IBGE, 2017). Dentre os que declararam o cultivo de mandioca, 98% tinham tamanho inferior a 5 ha, conforme a [Figura 3.1](#). A lavoura temporária empregava mais de 330 mil pessoas (IBGE, 2017).

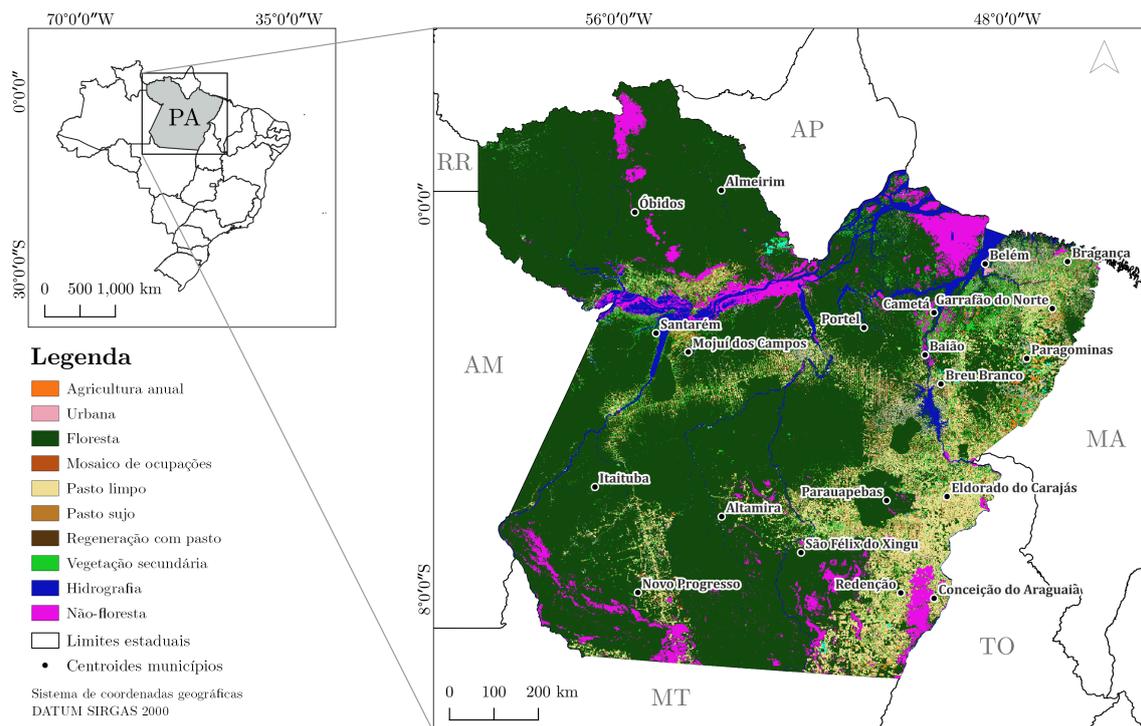
Figura 3.1 - Tamanho dos estabelecimentos agropecuários com lavoura de mandioca no estado do Pará.



Fonte: IBGE (2017).

Em termos de uso e cobertura (Figura 3.2), o Pará vivenciou períodos econômicos que tiveram impactos significativos, que estão associados ao uso intensivo dos recursos naturais, especialmente aqueles referentes a atividades agrícolas, pecuária e mineral (LÉLIS et al., 2016). Assim como as atividades associadas aos períodos das drogas do sertão e da borracha também deixaram impactos (CARDOSO; MÜLLER, 2008). Essa conjuntura com políticas agrárias e gestão de recursos naturais praticadas de forma desordenada no passado levaram à abertura de extensas áreas de terra e se consolidaram com práticas predatórias, incentivadas pela gestão pública (LÉLIS et al., 2016; BENATTI et al., 2008). Somado a isso, o contexto histórico de imigração rápida, incentivada pelo plano de integração durante a ditadura militar na década de 1970, mudanças da paisagem para exploração, grilagem e concentração de terras resultaram em conflitos agrários que foram se agravando ao longo do tempo (LOUREIRO; PINTO, 2005).

Figura 3.2 - Mapa de uso e cobertura da terra do estado do Pará, em 2014.



Fonte: INPE; EMBRAPA (2014).

Para Becker (2005, p. 83), no início do milênio, parte do Pará correspondia a parte

do trecho chamado de *arco do povoamento consolidado*, região, agora chamada de *desmatamento consolidado*. Ainda nos dias atuais, essa é uma das áreas mais dinâmicas, onde o incremento de desmatamento é mais acentuado, vide o desmatamento de 2021 nos municípios de Altamira (777 km<sup>2</sup>), São Félix do Xingu (585 km<sup>2</sup>) e Novo Progresso (421 km<sup>2</sup>) (INPE, 2022). A outra parte do estado, na *Amazônia central*, era a porção mais vulnerável da Amazônia, na concepção da autora, pois se tratava da região onde estavam localizadas duas frentes de ocupação: i) saindo de São Félix do Xingu, Sudeste do Pará, em direção ao rio Iriri, no Sudoeste; ii) trecho que se iniciava no extremo Norte do Mato Grosso rumo ao Pará, seguindo a rodovia Cuiabá-Santarém. As porções Sul e Leste do Pará têm predomínio de grandes fazendas de pecuária, mas em alguns trechos, tal como Novo Repartimento, os pequenos agricultores são predominantes. Da mesma maneira, ao longo da Transamazônica paraense, os pequenos agricultores são agentes importantes na ocupação e uso da terra, apesar de haver domínio de grandes e médias fazendas (FEARNSIDE, 2020).

As mesorregiões do Baixo Amazonas e Nordeste do Pará, por sua vez, se destacam pela AGPE e presença de vegetação secundária (CARVALHO et al., 2019; SOUZA, 2016; PAULA, 2021) e são as regiões onde estão localizados os municípios com as maiores áreas colhidas, valor de produção e quantidade produzida de mandioca (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Dados do cultivo de mandioca nas mesorregiões do Pará.

Mesorregião	Área colhida (ha)	Valor de produção (Mil reais)	Quantidade produzida (t)
Baixo Amazonas	17,649	210,186	142,434
Marajó	6,123	46,471	28,810
Metropolitana de Belém	5,383	100,627	65,805
Nordeste Paraense	73,320	832,631	683,799
Sudoeste Paraense	8,253	73,129	48,607
Sudeste Paraense	13,506	93,495	72,367

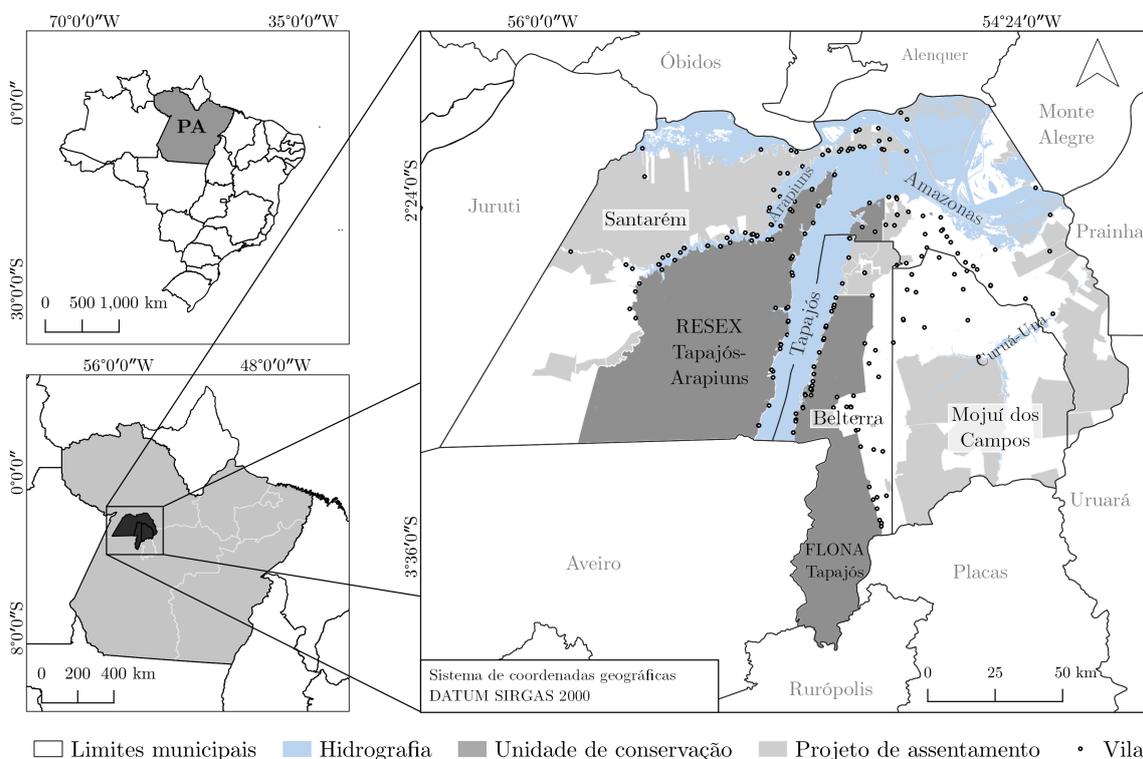
Fonte: IBGE (2017).

### 3.1.2 Oeste do Pará

A área de estudo na escala local corresponde aos municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos, cobrindo uma área de 27.285 km<sup>2</sup>. É importante destacar que esses municípios estão localizados na mesorregião do Baixo Amazonas, mas a

nomenclatura adotada neste trabalho é Oeste do Pará, alguns trabalhos também adotam a nomenclatura Sudoeste do Pará para a região (SOUZA, 2016; DAL'ASTA et al., 2014). Nesse território estão duas importantes UC/US: Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns e Floresta Nacional do Tapajós. Os projetos de assentamento, apresentados na Figura 3.3, são delimitados tanto pelo INCRA, quanto pelo Instituto de Terras do Pará (Figura 3.3). Os principais rios são o Amazonas, Tapajós, Arapiuns e Curuá-Una.

Figura 3.3 - Área de estudo: Oeste do Pará.



Fonte: Adaptado de Dal'Asta et al. (2014), INCRA (2020) e MMA (2018).

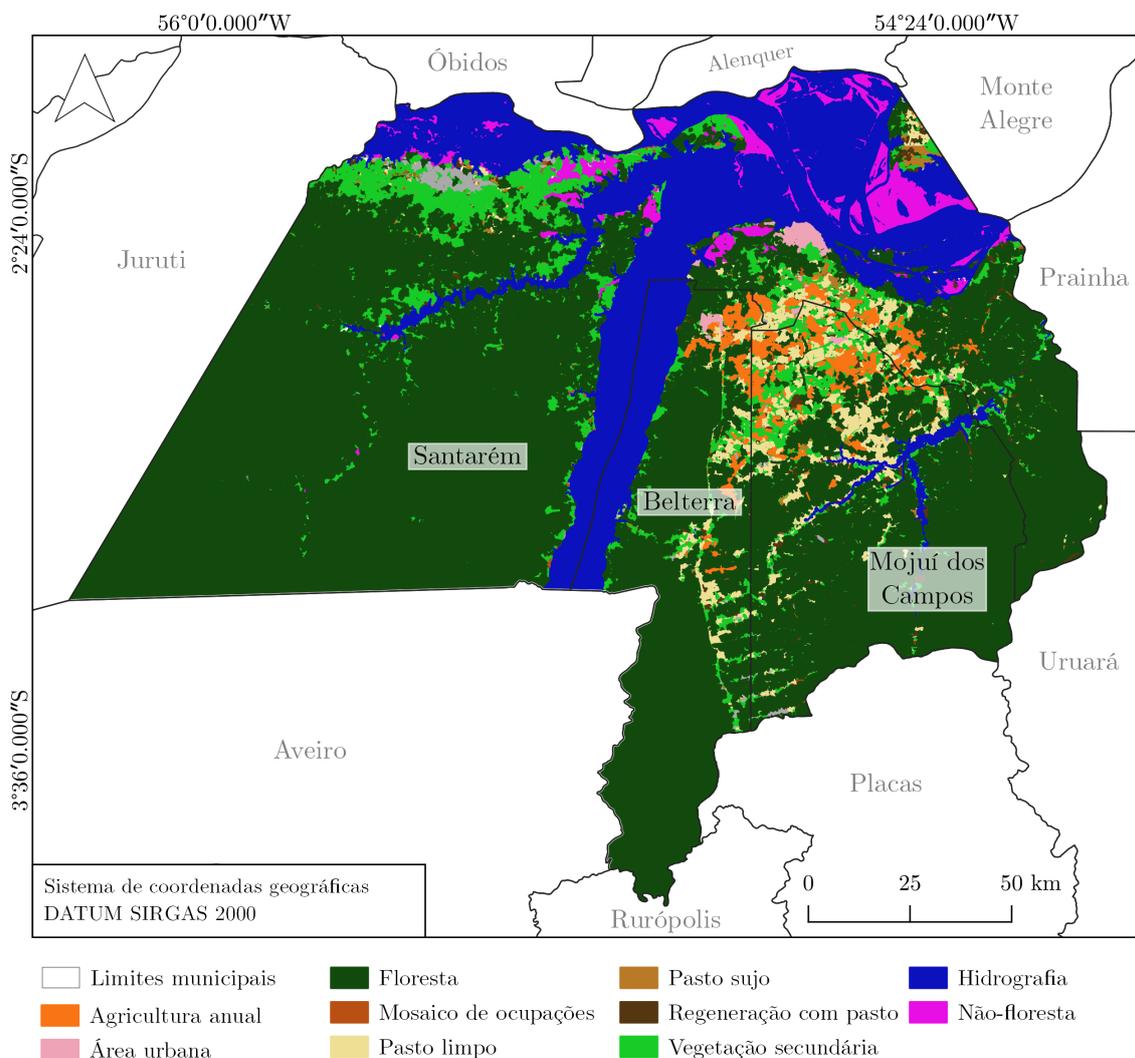
O uso e cobertura da terra nessa região (Tabela 3.2) se destaca pelas áreas contínuas de floresta primária, principalmente na margem Oeste do Tapajós. A vegetação secundária é mais presente nas regiões próximas aos corpos d'água, especialmente no trecho entre o rio Amazonas e rio Arapiuns, mas também pode ser observada próxima a áreas de AGLE (Figura 3.4). O território hoje composto por Santarém e Mojuí dos Campos foi avaliado por Lélis et al. (2016) e categorizado como região de conversão de uso da terra em razão de fatores econômicos atrelados especialmente às atividades agrícolas e pecuária.

Tabela 3.2 - Proporção das classes de uso e cobertura da terra do Oeste do Pará, em 2014.

Classe	Área	Classe	Área
Floresta	61,0%	Agricultura Anual	1,9%
Hidrografia	16,6%	Pasto Sujo	0,7%
Vegetação Secundária	9,5%	Mosaico de Ocupações	1,0%
Não Floresta	3,1%	Área Não Observada	0,7%
Pasto Limpo	3,4%	Área Urbana	0,4%
Regeneração com Pasto	1,5%	Outros	0,1%

Fonte: INPE; EMBRAPA (2014).

Figura 3.4 - Mapa uso e cobertura da terra do Oeste do Pará, em 2014.

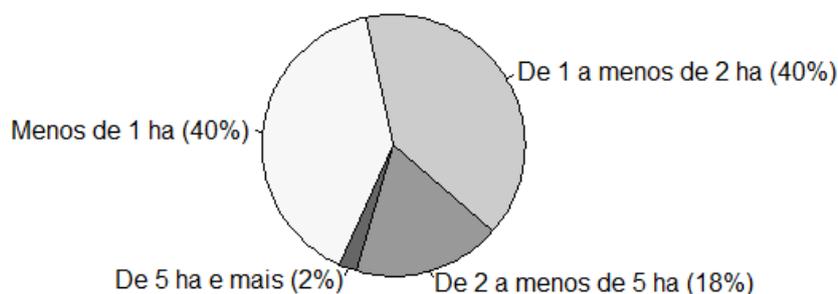


Fonte: INPE; EMBRAPA (2014).

As comunidades presentes nas regiões às margens dos rios Arapiuns e Tapajós cultivam mandioca em sistemas de roçado (SOUZA, 2016). O cultivo de mandioca e a produção de farinha eram as principais atividades geradoras de renda nas comunidades às margens do rio Arapiuns e representavam cerca de 70% da renda total, em 2013. Essa região tem a longa presença de comunidades indígenas e miscigenadas, algumas com mais de 150 anos (ESCADA et al., 2013). Por outro lado, o Planalto Santareno, segundo Souza (2016), possui *alto índice de diversidade de paisagem*, dado que a AGPE resiste às pressões da monocultura de soja, mantendo suas áreas de cultivo na paisagem em meio à AGLE.

Em relação ao cultivo de mandioca nesses municípios, se repete o mesmo padrão observado no estado do Pará: 98% da área colhida está em estabelecimentos agropecuários menores que 5 ha (Figura 3.5). Por sua vez, estes estabelecimentos agropecuários menores que 5 ha têm a maior parte da área destinada à cultura da mandioca (75%), seguida por milho (11%), melancia (5%), arroz (3%) e demais culturas (6%).

Figura 3.5 - Tamanho dos estabelecimentos agropecuários com lavoura de mandioca nos municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos.



Fonte: IBGE (2017).

O município de Santarém é o 8º maior em área colhida de mandioca no estado do Pará (IBGE, 2017). Apesar de Mojuí dos Campos e Belterra não estarem entre os maiores municípios produtores, ocupando, respectivamente, os 44º e 95º lugares, esses municípios têm importante contribuição local (Tabela 3.3). Isso porque fazem parte de uma área de contínuo ambiental, que forma a região do Planalto Santareno, portanto, ao analisar Santarém, é coerente também analisar esses municípios.

Tabela 3.3 - Dados do cultivo de mandioca para a escala local.

Município	Área colhida (ha)	Valor de produção (Mil reais)	Quantidade produzida (t)
Belterra	246	4.203	2.466
Mojú dos Campos	904	10.889	10.562
Santarém	3.507	40.698	34.175

Fonte: IBGE (2017).

### 3.2 Dados utilizados

O conjunto de dados utilizado para a identificação e análise dos padrões espaciais para cada escala de análise é apresentado na Tabela 3.4. Esse conjunto compreende dados de uso e cobertura obtidos com imagens de satélite e algumas variáveis de interesse (UC/US, projetos de assentamento, tamanho dos imóveis rurais), além de outros dados temáticos, de campo e do censo agropecuário.

Tabela 3.4 - Dados utilizados para cada escala de análise. L: Local; M: Macro; A: ambas.

Tipo	Dado	Anos	Escala
Dados cartográficos	Malha municipal	2017	M
	Sedes municipais	2017	A
Temáticos	Estradas	2019	L
	Desmatamento	2018	L
	Uso e cobertura da terra	2019	L
	Vegetação secundária	2000 a 2019	L
Imagem de sensores orbitais	Landsat-8/OLI	2018	L
	Órbita/ponto	228/62	-
Regime de terras	UC/US	2019	A
	Projeto de assentamento	2019	A
	Imóveis rurais	2022	L
Dados de campo	Tempo de viagem até centro urbano	2016	L
	Frequência de linha de transporte	2016	L
	Vilas	2016	L
Censo Agropecuário	Área colhida de mandioca (ha)	2017	M
	Área colhida de arroz (ha)	2017	M
	Área colhida de feijão (ha)	2017	M
	Área colhida de milho (ha)	2017	M
	Estabelecimentos agropecuários (nº)	2017	M

Foi utilizado dado de uso de cobertura da terra de Paula (2021), que havia classificado parte da área de estudo para o ano de 2019. Para a classificação do uso e cobertura da terra do restante da área de estudo, foi necessário utilizar apenas uma cena Landsat-8/OLI (órbita-ponto 228/062), no nível de reflectância de superfície, que já possui correção atmosférica (USGS, 2019). As imagens dessa órbita-ponto referentes ao ano de 2019 possuem muita cobertura de nuvem, então optou-se por utilizar cena de 2018.

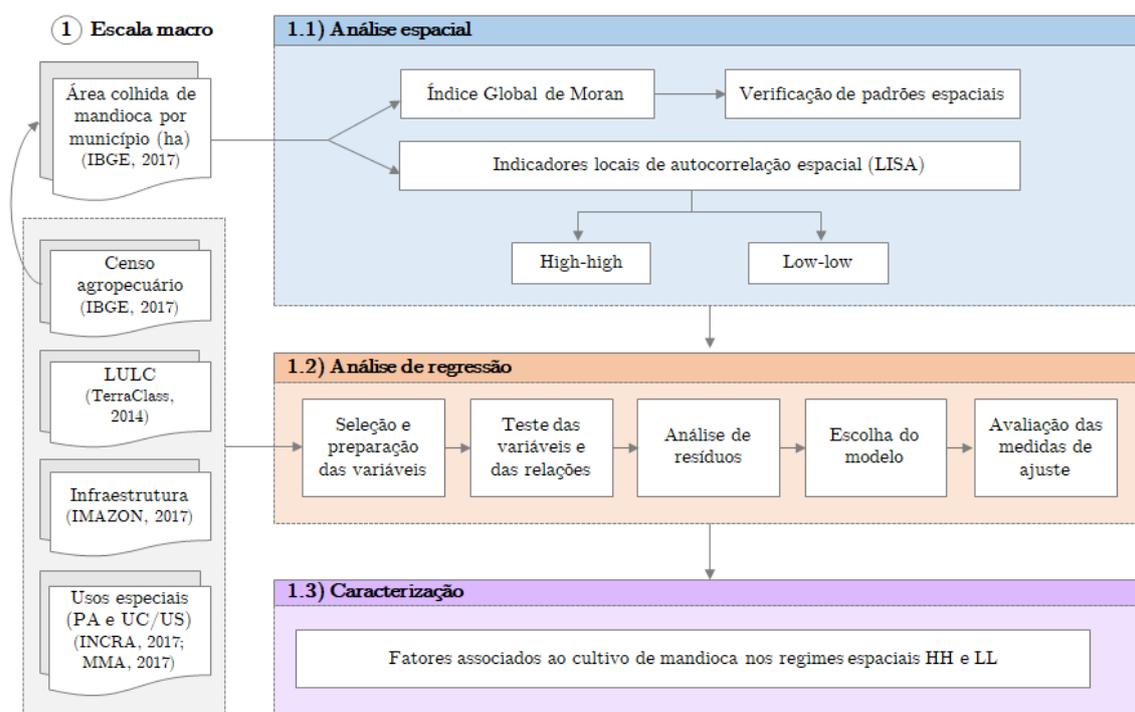
## 4 METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em duas etapas principais, correspondentes às escalas de análise. A etapa referente à **Escala macro: estado do Pará** corresponde à análise espacial e análise de regressão, enquanto a **Escala local: Oeste do Pará** corresponde à classificação de uso e cobertura da terra, regionalização a partir de contextos de uso e cobertura da terra e, finalmente, à análise das regiões a partir de indicadores relacionados à AGPE.

### 4.1 Escala macro: estado do Pará

As etapas para as análises na escala macro estão detalhadas na **Figura 4.1**.

Figura 4.1 - Fluxograma: escala macro.



HH: High high | LL: Low low

#### 4.1.1 Análise espacial para obtenção de regimes espaciais

Para a AEDE, optou-se pela abordagem utilizando áreas, isso porque foi utilizado o limite municipal como unidade de análise para que fosse possível usar os dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017) referentes ao cultivo de mandioca. Optou-se por

utilizar os dados do Censo Agropecuário por se tratarem de dados robustos e com metodologia consistente entre as diferentes edições. Os dados da Produção Agrícola Municipal, disponibilizados anualmente pelo IBGE (2021), apresentam consideráveis flutuações nos resultados e, por isso, não foram utilizados.

A variável resposta foi *área colhida de mandioca*, em hectares, por município. Essa variável foi escolhida após testes com outras variáveis relacionadas à mandioca (e.g. quantidade produzida, valor de produção). A *área colhida de mandioca* retornou resultado mais coerente com a literatura disponível (EMBRAPA, 2018; GUSMÃO et al., 2017), indicando as áreas de maior relevância para o cultivo de mandioca, assim como aquelas onde esse cultivo é menos expressivo.

Inicialmente, foi criada uma matriz de proximidade espacial de primeira ordem e do tipo *queen*, que considera como vizinhança todos geo-objetos que tocam a unidade de análise  $i$  (Figura 2.2). Para aplicação em polígonos irregulares (tais como as malhas municipais), a matriz *queen* é mais indicada, pois representa melhor a vizinhança ao considerar todos geo-objetos que tocam  $i$ , não comprometendo a vizinhança, caso existam erros de delimitação da unidade de análise (ANSELIN, 1995). Após esta etapa, calculou-se o Índice Global de Moran (Equação 2.1) e foram utilizadas 999 permutações para validação.

O LISA (Equação 2.2) foi utilizado e, a partir do seu resultado, foram selecionados os regimes espaciais *high high* e *low low* formados por municípios do estado do Pará. Os municípios de cada um dos regimes compuseram as amostras para a análise de regressão, descrita na próxima seção.

#### 4.1.2 Análise de regressão para obtenção de fatores associados ao cultivo de mandioca

Para a modelagem, a variável resposta foi a mesma utilizada para revelar os regimes espaciais: *área colhida de mandioca*. Para as variáveis explicativas, a abordagem utilizada como método de seleção foi por passos (*stepwise/forward*), i.e. as variáveis foram incluídas uma a uma, mantendo aquelas que melhoraram a capacidade explicativa do modelo (medida pelo AIC). Foram mantidas apenas as variáveis significativas e sem multicolinearidade, checadas por meio do  $R^2$ , fator de inflação da variância, gráfico de dispersão e valor-p.

$$z_i = \frac{(y_i - \bar{y})}{\sigma} \quad (4.1)$$

em que:

$z_i$  = valor padronizado

$y_i$  = valor da amostra  $i$

$\bar{y}$  = média

$\sigma$  = desvio padrão

Todas as variáveis foram padronizadas pela fórmula *z-score* (Equação 4.1) para que o efeito das diferentes escalas fosse removido. A escolha do melhor modelo para cada regime espacial foi realizada a partir da metodologia proposta por Anselin (2005), conforme se observa na Figura 2.3. Inicialmente foi aplicado o modelo OLS (Equação 2.3) e, após rodar o modelo de regressão clássica, foi verificada a dependência espacial dos resíduos por meio do Índice Global de Moran (Equação 2.1). Não havendo dependência espacial dos resíduos, o modelo OLS foi mantido. Para os demais casos, a escolha do modelo mais adequado foi feita observando o Teste Multiplicador de Lagrange, que indica o modelo espacial mais significativo: SAR (Equação 2.4) ou SPCAR (Equação 2.5). Após a escolha do modelo, uma nova análise de resíduos foi feita, observando as seguintes características:

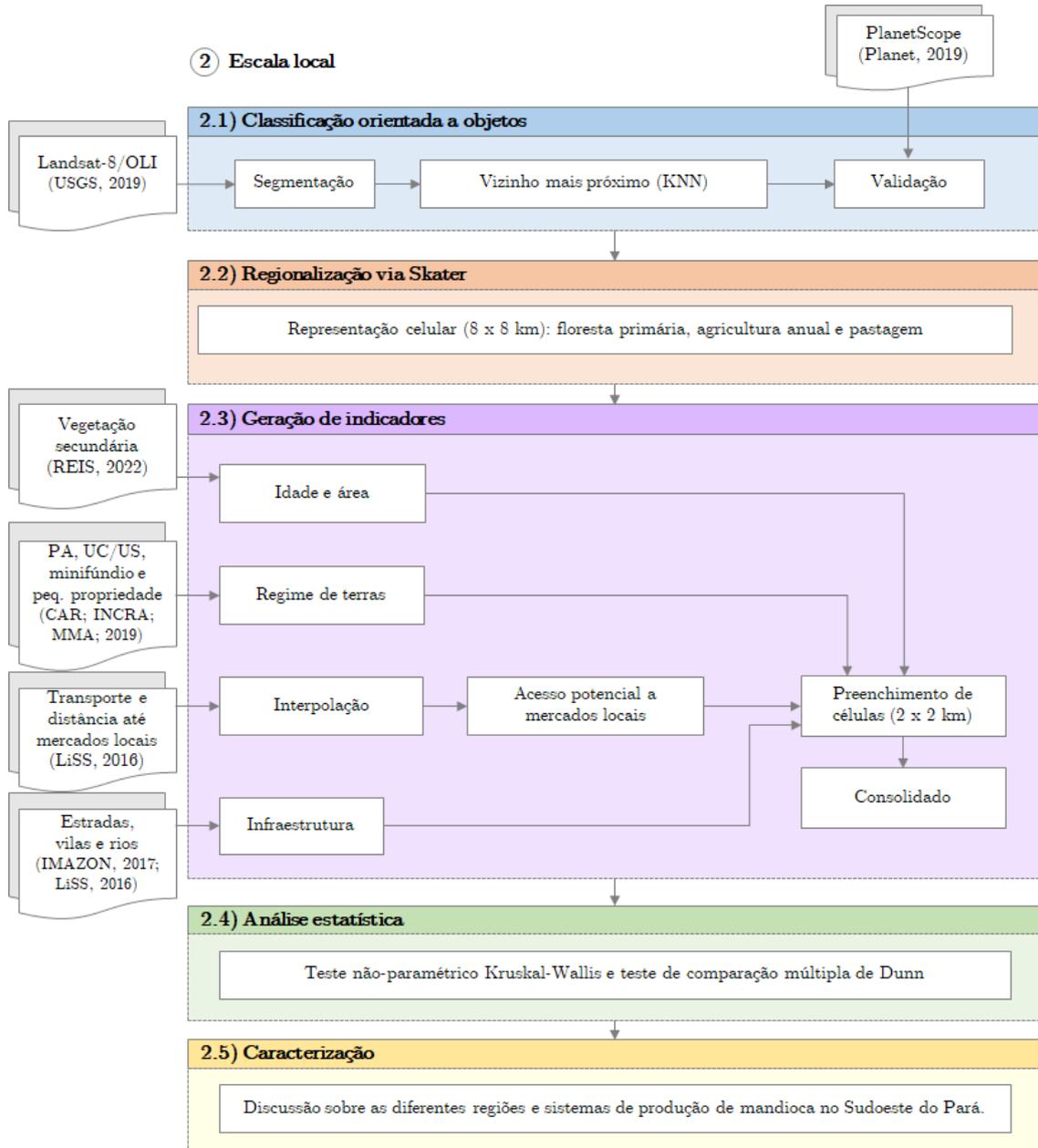
- Ausência de estrutura de dependência espacial: Índice Global de Moran;
- Homocedasticidade: Teste de Breusch-Pagan;
- Normalidade: Teste de Shapiro-Wilk;
- Ausência de outliers: Gráfico de Resíduos vs. Valores ajustados;
- Linearidade: Gráfico de Resíduos vs. Valores ajustados.

Por fim, foi realizada a verificação da qualidade dos modelos, observando perda de informação (*Akaike info criterion*) e ajuste (*Log likelihood*). A discussão dos modelos foi feita a partir das variáveis explicativas para cada regime espacial observado, levando em consideração o tipo de associação e a significância.

## 4.2 Escala local: Oeste do Pará

As etapas para essa escala são apresentadas no fluxograma da Figura 4.2 e são detalhadas nas seções a seguir.

Figura 4.2 - Fluxograma: escala local.

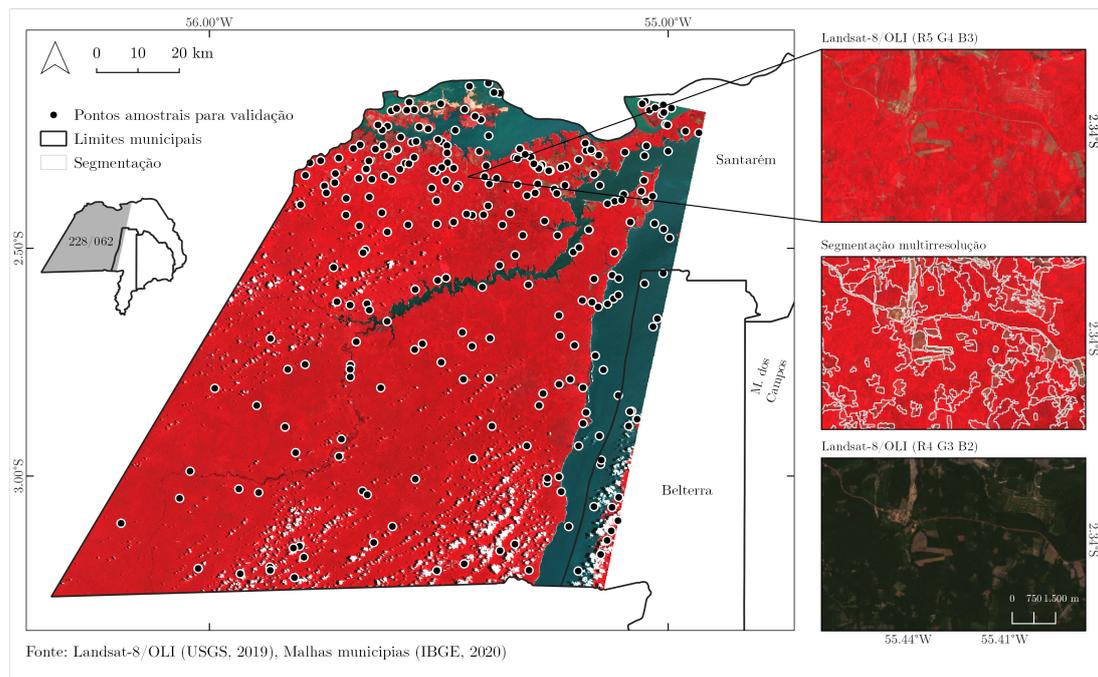


#### 4.2.1 Processamento de imagens

Parte do uso e cobertura da terra na área de estudo foi classificada em trabalho desenvolvido por Paula (2021)<sup>1</sup> e foi utilizada no presente trabalho, que empregou a mesma metodologia para classificar o restante da área.

A Figura 4.3 apresenta o recorte da cena utilizada (Landsat-8/OLI - Órbita-ponto 228/062) e a segmentação multirresolução em que foi feita a classificação orientada a objetos. São apresentados também os pontos amostrais distribuídos aleatoriamente entre as classes.

Figura 4.3 - Dados utilizados para a classificação de uso e cobertura da terra e validação.



Fonte: Adaptado de USGS (2019).

A imagem utilizada corresponde à reflectância de superfície do Landsat-8/OLI, descritas na Seção 3.2. Foi realizada a segmentação multirresolução da cena. Foram testados os valores de parâmetros usados por Souza et al. (2019) e Paula (2021) ao mapear AGPE. A partir disso, foram definidos os seguintes valores:

- Peso das camadas = 1. Define a importância de cada banda para a segmentação. Neste caso, todas as bandas terão a mesma importância;

<sup>1</sup> Paula (2021) classificou a bacia do Curuá-Una, que cobre o município de Mojuí dos Campos, parte de Santarém e de Belterra.

- Escala = 75. Define o tamanho dos polígonos;
- Forma = 0,6. Define o peso que a forma terá para a segmentação. Varia de 0 a 1, quanto maior o valor, menor a importância da cor para a segmentação. Esse valor prioriza a forma ao realizar a segmentação (Cor = 0,4);
- Compacidade = 0,5. Define o peso da compacidade para a segmentação. Varia de 0 a 1, quanto maior o valor, menor a importância da suavidade. Quanto mais compacto o objeto, mais próxima a borda do seu centro. Esse valor dá mesma importância à compacidade e suavidade (Suavidade = 0,5).

Para otimizar o resultado da segmentação, foi utilizado um filtro de diferença espectral, em que objetos vizinhos com resposta espectral semelhante foram mesclados em um único objeto. O valor desse filtro é em relação à máxima diferença espectral entre os segmentos. Ao aumentar o valor, são unidos segmentos com resposta espectral mais diferentes, i.e. fica menos restritivo. Ao diminuir o valor, são unidos segmentos com diferença espectral menor. Assim, se for utilizado um valor alto demais, objetos muito distintos podem ser unidos. Da mesma maneira, se utilizado um valor muito baixo, poucos objetos serão unidos e a segmentação não será melhorada. Os valores para esse filtro foram testados a partir dos valores aplicados por Paula (2021), que utilizou valores diferentes para cada cena, respeitando os padrões espaciais e espectrais específicos. Paula (2021) utilizou valores entre 55 e 90. Para o presente trabalho, o valor utilizado foi 80, capaz de unir polígonos vizinhos de mesma classe (e.g. floresta e hidrografia), mas sem unir polígonos de AGPE com outras classes.

Após a segmentação, foi realizada a classificação por meio do algoritmo kNN, utilizando as bandas 4 (R), 3 (G), 2 (B) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*). As classes de uso e cobertura da terra para a cena classificada são: *área urbana*, *AGPE*, *hidrografia*, *área não observada*, *floresta* e *vegetação secundária* <sup>2</sup>.

Posteriormente, foi aplicada uma máscara contendo as classes de uso e cobertura do PRODES (INPE, 2019) referentes a *floresta*, *não-floresta* e *hidrografia* para compatibilizar os dados e diminuir erros de classificação (PAULA, 2021).

O resultado final da classificação foi validado a partir de pontos de amostragem aleatória estratificada, coletados usando o Google Earth Pro, a própria cena Landsat/OLI utilizada na classificação e imagens PlanetScope, que foram utilizados para

---

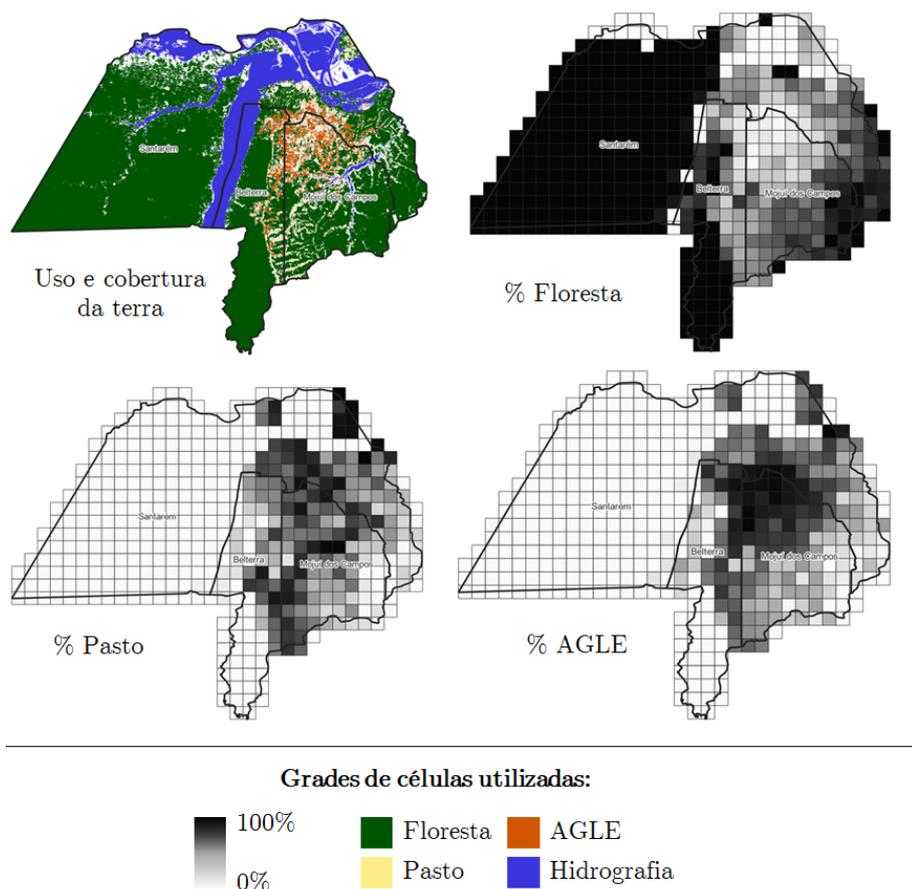
<sup>2</sup> A classe de AGLE não foi incluída, pois está presente apenas no trecho já classificado por Paula (2021).

gerar a matriz de confusão e índices de exatidão global. A validação usando pontos como amostras considera os objetos como sendo de uma única classe, portanto, a classificação pode estar apenas correta ou incorreta. Porém, a existência de objetos mistos pode diminuir a acurácia da classificação, mas não necessariamente aparecer durante a validação (MA et al., 2017). A validação por meio de objetos é uma área de pesquisa em ascensão (RADOUX et al., 2011; BLASCHKE, 2010), enquanto isso, a maioria dos trabalhos que realizam classificação orientada a objetos ainda utiliza a validação por pontos (MA et al., 2017). Considerando isso, o uso de parâmetros de escala com valor adequado ao menor objeto de interesse e a aplicação de filtro de diferença espectral foram as estratégias utilizadas para reduzir objetos mistos, sem que a quantidade final de objetos fosse desnecessariamente grande.

#### **4.2.2 Regionalização via Skater**

A regionalização teve como objetivo delimitar áreas com predominância de diferentes usos e coberturas da terra e avaliar como a AGPE se caracteriza nesses diferentes contextos. Para a construção dessa análise, foi utilizada uma grade de células de 8 x 8 km. O uso de grade de células é um recurso de mediação da estrutura da paisagem, portanto, o tamanho das células deve ser capaz de representar as estruturas ali presentes. Nessa etapa, a regionalização da paisagem foi realizada para encontrar nesses territórios as regiões de produção. Foram utilizados os seguintes atributos de interesse, em porcentagem: floresta primária, agricultura anual, pastagem e distância a rios (Figura 4.4).

Figura 4.4 - Atributos utilizados para a regionalização.



O tamanho de célula tem como referência o trabalho de Souza (2016), que analisou padrões espaciais de uso e cobertura da terra na mesma região e determinou essa representação celular de maneira empírica ao observar a área de influência no entorno das comunidades, mapas de uso e cobertura da terra, bem como dados de campo indicando que moradores dessas comunidades distam em até 8 km das áreas de cultivo agrícola.

Para a regionalização, foram utilizadas distância euclidiana e matriz de proximidade espacial do tipo *queen* de primeira ordem. O número de grupos utilizados foi definido após testes com diferentes valores, até ser obtido um resultado com melhor interpretação das regiões geradas (NEVES, 2003), sendo o valor final igual a 4. Para a regionalização, foram consideradas apenas as células que tinham sobreposição com hidrografia inferior a 80%. Esse valor utilizado foi definido a partir de testes. Esse limiar em 80% foi capaz de excluir as células predominantemente cober-

tas com hidrografia e não eliminar células com presença das margens dos rios, onde se encontram áreas com cultivo de mandioca.

Essas regiões foram analisadas e discutidas a partir de estatística não-paramétrica (Subseção 4.2.4), observando os indicadores e a classificação de uso e cobertura da terra. Os testes estatísticos foram utilizados para verificar se há evidências de que os indicadores se diferenciam nas regiões reveladas. O uso de estatística não-paramétrica foi o mais apropriado, dada a quantidade limitada de amostras nas regiões e a impossibilidade de identificar o tipo de distribuição dos dados para cada indicador (SIEGEL, 1995).

### 4.2.3 Geração de indicadores para caracterização das regiões

Essa etapa diz respeito à geração de indicadores que foram utilizados para discutir as regiões identificadas a partir da [Regionalização via Skater](#). Esses indicadores foram manipulados em uma grade de células de 2 x 2 km. Esse tamanho de grade foi testado em estudo preliminar sobre distribuição espacial e possibilidade de ocorrência de mandioca nos municípios de Belterra, Mojuí dos Campos, Santarém e Aveiro. Para essa etapa, a grade de células foi utilizada para observar propriedades diferentes das mencionadas anteriormente na [Regionalização via Skater](#). Na etapa anterior, as células mediavam a estrutura da paisagem para que fossem reveladas as regiões, já nessa etapa as células foram utilizadas para mediar as unidades de produção, por meio de indicadores. Assim sendo, as grades de células com diferentes tamanhos são necessárias para mediar e revelar informações com granularidades distintas.

#### 4.2.3.1 *Indicadores de vegetação secundária*

Os indicadores de vegetação secundária foram gerados utilizando a idade da vegetação secundária em 2019 e a proporção de área de vegetação secundária por área desmatada. Os dados utilizados foram cedidos em formato matricial por Reis (2022) para o intervalo de 2000 a 2019 e foram convertidos para formato vetorial. O indicador de proporção considerou a vegetação secundária presente em 2019 em relação à área desmatada. Portanto, o valor máximo 1 significa que toda a área desmatada era vegetação secundária em 2019.

Para determinar a idade da vegetação secundária, os dados de 2000 a 2019 foram sobrepostos e foi observada a continuidade da área ao longo dos anos. Para a manipulação na grade, foi considerada a média de idade ponderada por área. Dessa maneira, foi atribuído maior peso à idade da vegetação secundária com maior área

na célula. Para a discussão, foram considerados os mesmos estágios sucessoriais utilizados na escala macro, com os seguintes intervalos: i) inicial: de 0 a 3 anos; ii) intermediária: 3 a 10 anos; iii) avançada > 10 anos.

#### **4.2.3.2 *Indicador de regime de terras***

Para compor esse indicador, foram utilizados os seguintes dados de entrada: UC/US, projetos de assentamento, minifúndio e pequena propriedade. Esses dados foram unidos e foi feito preenchimento de células considerando a porcentagem de sobreposição em relação à área da célula.

Para obter a informação quanto ao tamanho dos imóveis rurais, foram utilizados os dados declarados no CAR (MMA, 2021) e classificados a partir da definição do INCRA (2022). O módulo fiscal para os municípios estudados equivale a 55 ha e a fração mínima de parcelamento equivale a 4 ha, portanto, tem-se os seguintes tamanhos:

- Minifúndio: imóvel rural com área inferior à fração mínima de parcelamento, i.e. < 4 ha;
- Pequena Propriedade: imóvel com área entre a fração mínima de parcelamento e 4 módulos fiscais, i.e. entre 4 e 220 ha.

Em relação à sobreposição das áreas declaradas, foi utilizada a metodologia desenvolvida por Matias (2022), em que são priorizadas as classes de menor tamanho. Os polígonos são unidos de acordo com o tamanho do imóvel. Depois, a exclusão das áreas sobrepostas é feita tendo como prioridade a classe de menor tamanho. Por exemplo: se há sobreposição entre um minifúndio e uma pequena propriedade, o minifúndio será mantido, enquanto a pequena propriedade permanecerá apenas com a área que não sobrepõe o minifúndio.

#### **4.2.3.3 *Indicador de acesso potencial a mercados locais***

Os dados utilizados nesse indicador pertencem ao banco de dados criado a partir de expedições de campo na região, realizadas pelo Laboratório de investigação de Sistemas Socioambientais do INPE (AMARAL et al., 2009; ESCADA et al., 2013; DAL´ASTA et al., 2014; AFFONSO et al., 2016). Foram consideradas as vilas onde foram aplicados questionários durante pesquisa de campo, além disso foram acrescentadas as sedes dos municípios, que aqui são tratadas como os mercados locais. Ao todo, foram uti-

lizados 64 pontos, sendo 61 comunidades e 3 correspondentes às sedes municipais. Foi feita a exclusão de uma comunidade *outlier*, restando 63 pontos.

Esse indicador é composto por duas variáveis: *tempo de viagem até o centro urbano mais próximo* e *frequência de linha de transporte coletivo*. O cálculo final utilizou a média ponderada, dado que a *frequência de linha de transporte* tem maior importância na métrica de acesso potencial a mercados locais em virtude do produtor ter mais alternativas para o escoamento da produção (SOUZA, 2016). Portanto, *tempo de viagem* teve peso 0,25 e *frequência de transporte* teve peso 0,75.

$$IAPML = \text{Frequência de transporte} * 0,75 + \text{Tempo de viagem} * 0,25 \quad (4.2)$$

Para *tempo de viagem*, não há distinção quanto ao meio de transporte utilizado, são incluídas informações de uso de barco, rabeta, moto, carro etc. Em relação à frequência de transporte, foram utilizadas informações de transportes coletivo, seja fluvial ou terrestre (SOUZA, 2016).

O valor 0 representa locais isolados, onde não há transporte de linha e 1 representa maior acesso aos mercados locais, com tempo de viagem inferior a 1 hora e linhas diárias de transporte (SOUZA, 2016), conforme apresentado na Tabela 4.1. São considerados como centros urbanos as sedes municipais de Santarém, Mojuí dos Campos e Belterra.

Tabela 4.1 - Variáveis utilizadas para cálculo do acesso potencial a mercados locais.

Valor atribuído	Tempo de viagem (h)	Frequência da linha de transporte (viagens/semana)
0	Não se desloca	Nenhuma linha
0,2	>12	-
0,3	>6 até 12	-
0,5	>4 até 6	1 a 2
0,7	>1	3 a 5
1	<= 1	Diariamente

Fonte: Souza (2016).

Foi utilizada a interpolação ponderada pelo inverso do quadrado da distância, em

que pontos amostrais são ponderados durante a interpolação para que a influência de um ponto em relação a outro reduza, conforme se distanciam. O preenchimento de células foi realizado usando o valor médio.

#### 4.2.3.4 *Indicador de infraestrutura de transporte e urbana*

Esse indicador é composto pela distância mínima das células em relação a estradas de qualquer tipo, estradas pavimentadas, rios, cidades e vilas. Os dados de estrada são provenientes da base de dados do [IMAZON \(2022\)](#), os dados de cidades e vilas são os mesmos pontos utilizados na construção do indicador anterior, apresentado na Seção 4.2.3.3 e, por fim, os dados de hidrografia foram gerados na classificação de uso e cobertura da terra.

O preenchimento de células foi feito considerando a média ponderada das distâncias mínimas em relação aos itens supracitados. Portanto, quanto maior o valor, maior a distância da célula até a infraestrutura mais próxima.

$$Z = \frac{(X - \mu)}{\sigma} \quad (4.3)$$

em que:

$Z$  = valor normalizado

$X$  = valor da amostra

$\mu$  = média

$\sigma$  = desvio padrão

Os valores foram normalizados, conforme [Equação 4.3](#), de maneira a colocá-los em um intervalo de 0 a 1.

$$\text{Infraestrutura} = 1 - \text{valor normalizado da média das distâncias} \quad (4.4)$$

Para esse indicador ficar análogo aos demais e ter a mesma interpretação ao ser diretamente relacionado ao cultivo de mandioca, o valor final foi subtraído de 1 ([Equação 4.4](#)). Os valores representam a ideia de que quanto mais próximo de 1, maior a infraestrutura e quanto mais próximo de 0, menor.

#### 4.2.3.5 *Indicador síntese de cultivo de mandioca*

O *indicador síntese de cultivo de mandioca* (ISCM) foi construído para revelar as áreas potenciais de cultivo de mandioca. A partir dos resultados dos indicadores anteriores comparados à classificação de uso e cobertura da terra, foram selecionados para compor o ISCM: *regime de terras*, *idade da vegetação secundária* e *proporção de vegetação secundária*. Os valores dos indicadores foram normalizados (Equação 4.3). Adicionalmente, foi utilizada também *distância a rios*:

$$\text{Distância a rios} = 1 - \text{valor normalizado da distância} \quad (4.5)$$

Foi realizada uma média simples dos valores. Células com mais de 80% de sobreposição com floresta, hidrografia e/ou não-floresta, tiveram o valor final zerado, para as demais células, foi realizado o cálculo:

$$\text{ISCM} = (\text{regime de terras} + \text{proporção vegetação secundária} + \text{idade vegetação secundária} + \text{distância a rios}) / 4 \quad (4.6)$$

#### 4.2.4 *Análise estatística*

A análise estatística foi realizada considerando as regiões em relação aos *indicadores de vegetação secundária*, *regime de terras*, *acesso potencial a mercados locais*, *infraestrutura* e *ISCM*.

Para a comparação, em relação às regiões encontradas pelo Skater, foi utilizado o teste não-paramétrico Kruskal-Wallis (KW), que indicou se as regiões se diferem em relação aos indicadores supracitados e à classificação (SIEGEL, 1995). Para tal, foram observadas as seguintes hipóteses:

- $H_0$ : as  $k$  populações tendem a apresentar valores similares da variável em questão;
- $H_1$ : pelo menos duas das  $k$  populações tendem a apresentar valores da variável em questão diferentes entre si.

Para assegurar a independência das amostras, a aplicação do teste KW foi feita para 25 sub-amostras de cada região e o processo foi repetido 1.000 vezes. O resultado final observou a média das medianas de  $H$  e a probabilidade do valor-p ser menor

que o nível de significância adotado. Quando a maioria das observações teve valor-p menor que o nível significância, foi considerado que há evidências de que os grupos diferem entre si.

O Teste de Dunn de comparações múltiplas faz a comparação par a par e permite identificar quais grupos se diferem dos demais. Apesar do Teste de Dunn ser um *post hoc* do KW, eles não testam as mesmas estatísticas. Enquanto o KW testa a mediana, o Dunn testa a média (DUNN, 1964). Como os indicadores têm distribuições assimétricas, analisar a média não é representativo. Portanto, optou-se por utilizar apenas o KW, que é um teste mais robusto e, complementarmente, usar os gráficos de radar e boxplot para apoiar a discussão quanto aos indicadores e à AGPE.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse capítulo está organizado da seguinte maneira: a [Seção 5.1](#) apresenta os resultados para a escala do Pará. A partir da [Subseção 5.2.1](#), são apresentados os resultados para a análise na escala local, iniciando pela classificação. Em seguida, são apresentadas as regiões, os indicadores construídos e a análise estatística. Por fim, a [Subseção 5.2.5](#) traz a caracterização das regiões em relação aos indicadores.

### 5.1 Análise espacial de dados geográficos: estado do Pará

Essa seção apresenta os resultados do LISA, que identificou os regimes espaciais, e traz a análise de regressão para cada regime espacial completo<sup>1</sup> e por região<sup>2</sup> do Pará, considerando onde há os maiores valores de área colhida de mandioca (regime espacial *high high*), assim como aqueles onde há valores baixos (regime espacial *low low*). Por fim, é discutido como os fatores se associam ao cultivo de mandioca em cada regime espacial. A análise de resíduos é apresentada no [Apêndice A](#). As variáveis utilizadas nos regimes espaciais são apresentadas espacializadas no [Apêndice B](#).

#### 5.1.1 Regimes espaciais

Os regimes espaciais formados a partir do LISA para valores de área colhida de mandioca (ha) são apresentados na [Figura 5.1](#). O regime espacial *high high* está presente no Nordeste do Pará e Baixo Amazonas, o que vai de encontro com o trabalho de [Carvalho et al. \(2019\)](#), que verificaram que a AGPE no Pará está presente principalmente nessas mesorregiões. Além disso, o Nordeste do Pará<sup>3</sup>, região de ocupação histórica, atualmente apresenta *hotspot* também de vegetação secundária ([CARVALHO et al., 2019](#); [CORDEIRO et al., 2017](#)). Já o regime espacial *low low* é encontrado na mesorregião do Marajó, mas tem maior destaque no Sudeste do Pará<sup>4</sup>, mesorregião com ocupação mais recente, que ainda apresenta fronteira ativa de desmatamento e predomina pastagem na paisagem ([CARVALHO et al., 2019](#)), ocupando mais de 24.500 km<sup>2</sup>, i.e. cerca de 40% da área dos municípios desse regime espacial ([INPE; EMBRAPA, 2014](#)). Conforme [Alves et al. \(2005\)](#) elucidam, no Sudeste do Pará, são raras as propriedades que cultivam mandioca.

---

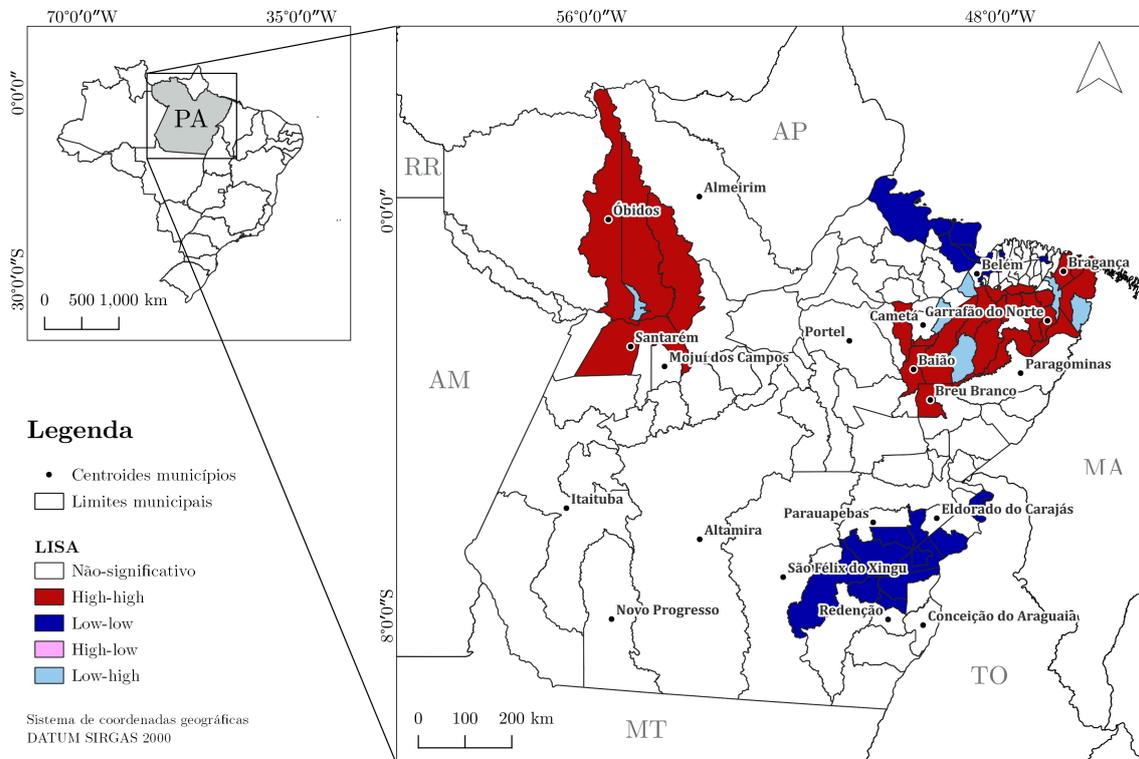
<sup>1</sup> *High high* e *low low* com todos os municípios que representam esses regimes espaciais.

<sup>2</sup> *High high* apenas com municípios do Nordeste do Pará, *low low* apenas com municípios do Marajó e *low low* apenas com municípios do Sudeste.

<sup>3</sup> *High high*: regime espacial formado pelos municípios Acará, Alenquer, Augusto Corrêa, Baião, Bragança, Breu Branco, Bujaru, Capitão Poço, Concórdia do Pará, Garrafão do Norte, Ipixuna do Pará, Irituia, Mocajuba, Moju, Monte Alegre, Nova Esperança do Piriá, Óbidos, Oeiras do Pará, Ourém, Santarém, São Domingos do Capim, São Miguel do Guamá, Tomé-Açu e Viseu.

<sup>4</sup> *Low low*: regime espacial formado pelos municípios Água Azul do Norte, Ananindeua, Bannach, Brejo Grande do Araguaia, Cachoeira do Arari, Canaã dos Carajás, Chaves, Cumaru do

Figura 5.1 - Regimes espaciais revelados pelo LISA, utilizando valores de *área colhida de mandioca* (ha).



### 5.1.2 Análise de regressão

Para ambos os regimes espaciais, i.e. *high high* e *low low*, o modelo mais adequado foi *spatial lag* para os regimes espaciais completos e o *ordinary least squares* para os regionais. Ao adicionar o coeficiente de autocorrelação espacial nos modelos completos, a capacidade explicativa dos modelos aumentou, assim como a quantidade de informação perdida reduziu. Além disso, os resíduos deixaram de ter dependência espacial. Para os modelos regionais, não houve necessidade de adotar modelo espacial, visto que ao restringir as amostras a um número reduzido de municípios contíguos, deixou de haver dependência espacial e, assim, os modelos *ordinary least squares* foram adequados para a análise.

Norte, Curionópolis, Ourilândia do Norte, Palestina do Pará, Pau D'Arco, Piçarra, Primavera, Rio Maria, Salvaterra, Santa Bárbara do Pará, Santo Antônio do Tauá, São Geraldo do Araguaia, São João da Ponta, Sapucaia, Soure e Xinguara.

### 5.1.2.1 *High high*

O regime espacial *high high* teve uso e cobertura da terra como principais fatores associados à área colhida de mandioca. Tanto o modelo completo, quanto o do Nordeste tiveram importante participação da vegetação secundária em diferentes estágios. Ambos os modelos tiveram associação negativa com pasto limpo e cacau. O modelo *high high* completo também teve associação com milho e feijão, sendo a primeira negativa e a última positiva.

$$\begin{aligned} acm_{HHC} = & -0,44 + 0,04 \beta_0 - 0,28 \text{ paslim} + 0,31 \text{ feijao} - 0,4 \text{ cacau} \\ & - 0,46 \text{ milho} + 0,83 \text{ vegesec\_inic} + 0,86 \text{ vegesec\_avan} \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} acm_{HHN} = & -0,35 \text{ paslim} - 0,41 \text{ cacau} + 0,76 \text{ vegesec\_inic} \\ & + 0,52 \text{ vegesec\_intermed} \end{aligned} \quad (5.2)$$

em que:

acm = área colhida de mandioca (ha)

cacau = área colhida de cacau (ha)

feijao = área colhida de feijão (ha)

milho = área colhida de milho (ha)

paslim = pasto limpo (ha)

vegesec\_inic = vegetação secundária de 0 a 3 anos (ha)

vegesec\_intermed = vegetação secundária de 3 a 10 anos (ha)

vegesec\_avan = vegetação secundária > 10 anos (ha)

Os modelos estimados para o regime espacial *high high* são apresentados na [Equação 5.1](#) (completo) e [Equação 5.2](#) (Nordeste). A [Figura 5.1.2.1](#) apresenta a análise estatística dos resultados.

Figura 5.2 - Modelos de regressão linear multivariada e *spatial lag* para área colhida de mandioca no regime espacial *high high*.

<b>High high completo (Spatial lag)</b>			<b>High high Nordeste (OLS)</b>		
Variável	beta	valor-p	Variável	beta	valor-p
paslim	-0,28 ± 0,09	0,004 **	paslim	-0,35 ± 0,15	0,030303 *
feijao	0,31 ± 0,09	7,2E-04 ***	cacau	-0,41 ± 0,16	0,018281 *
cacau	-0,40 ± 0,10	6,63E-05 ***	vegsec_inic	0,76 ± 0,16	2,7E-04 ***
milho	-0,46 ± 0,13	5,20E-04 ***	vegsec_intermed	0,52 ± 0,15	0,003336 **
vegsec_inic	0,83 ± 0,10	8,88E-16 ***			
vegsec_avan	0,86 ± 0,12	1,19E-12 ***			
Pseudo R <sup>2</sup> : 0,83			R <sup>2</sup> : 0,74		
-			R <sup>2</sup> Ajustado: 0,67		
AIC: 42,19			AIC: 40,70		
log-likelihood: -12,09			log-likelihood: -14,35		
Significativo a: * 0,05 **0,01 ***0,001					

cacau = área colhida de cacau (ha)

feijao = área colhida de feijão (ha)

milho = área colhida de milho (ha)

paslim = pasto limpo (ha)

vegsec\_inic = vegetação secundária de 0 a 3 anos (ha)

vegsec\_intermed = vegetação secundária de 3 a 10 anos (ha)

vegsec\_avan = vegetação secundária > 10 anos (ha)

Os três estágios de vegetação secundária foram significativos para os regimes espaciais *high high*, sendo a *vegetação secundária inicial* significativa tanto para o regime completo, quanto para o Nordeste. Os municípios com os maiores valores de área colhida de mandioca são aqueles com maior área de vegetação secundária: Acará e Moju. Por outro lado, a menor área de vegetação secundária está em Ourém, que também possui menor área colhida de mandioca.

A vegetação secundária está presente, principalmente, nas áreas onde a ocupação está, historicamente, mais bem estabelecida no Pará (CORDEIRO et al., 2017). A persistência da vegetação secundária nestas áreas é atribuída ao fato dos proprietários possuírem renda diversificada, que provém de lavoura permanente, lavoura perene, produtos não-agrícolas e produtos da floresta secundária (CARVALHO et al., 2019). Esse estágio sucessional desempenha importante papel na manutenção da produtividade desses sistemas produtivos, já que essas áreas são utilizadas para as culturas de ciclo curto para a lavoura por 2 ou 3 anos. Posteriormente, as áreas são abandonadas e voltam a ser utilizadas após período de pousio de 5 a 10 anos (CORDEIRO et al., 2017), podendo chegar a até 30 anos (LAUE; ARIMA, 2016).

Vale enfatizar que a *vegetação secundária intermediária* aparece apenas no regime *high high* Nordeste. A partir do momento em que é considerado o regime completo, i.e. incluídos Santarém e municípios vizinhos, a *vegetação secundária avançada* passa a ser significativa em vez da *intermediária*. Áreas de vegetação secundária mais antigas têm mais biodiversidade e apresentam maior resiliência, sendo mais capazes de se recuperar de distúrbios (LENNOX et al., 2018). Da mesma maneira, as áreas mais jovens também têm relevante contribuição e são chave para a mitigação das mudanças climáticas. Portanto, é importante assegurar a preservação da vegetação secundária em seus diversos estágios sucessionais com seus também diversos potenciais (HEINRICH et al., 2021).

As culturas associadas à *área colhida de mandioca* no regime espacial *high high* foram cacau, milho e feijão. O cultivo de feijão foi o único que teve associação positiva com o cultivo de mandioca. Dos 24 municípios *high high*, apenas Oeiras do Pará não tem área colhida de feijão (IBGE, 2017). Cerca de 95% da área colhida de feijão nesses municípios está em estabelecimentos agropecuários menores que 5 ha (IBGE, 2017). Assim como a mandioca, o cultivo de feijão também é expressivo no Nordeste do Pará e é cultivado pela AGPE, havendo inclusive o consórcio das duas culturas (NICOLI et al., 2006; BARBOSA et al., 2010; MODESTO JÚNIOR et al., 2012; SIVIERO; LESSA, 2020), geralmente em áreas mais altas e com melhor drenagem (MODESTO JÚNIOR; ALVES, 2014).

Os cultivos de cacau e milho tiveram associação negativa com o cultivo de mandioca. Para os regimes *high high*, de fato, o cultivo de cacau não é expressivo: 14 dos 24 municípios têm área colhida registrada no IBGE (2017), porém cerca de 80% dessa área está presente em apenas 3 municípios: Tomé-Açu (45%), Mocajuba (24%) e Baião (10%). Além disso, apenas 10% da área colhida de cacau está em estabelecimentos agropecuários menores que 5 ha, que são justamente aqueles onde ocorre a maior parte do cultivo de mandioca. Apesar de ter municípios com importante contribuição para o cultivo de cacau, a maioria dos municípios do regime espacial *high high* não tem participação expressiva. A cacauicultura está presente principalmente na região de Medicilândia, ao longo da Transamazônica, onde está o "*polo cacaueiro*", responsável pela maior parte da produção do Pará (IBGE, 2017).

O milho, apesar de também ser cultivado em estabelecimentos de pequena escala nos municípios *high high*, está muito mais associado à pastagem, formando arranjos espaciais de integração lavoura-pecuária. A partir de meados de 1995, houve expansão do plantio de milho nas microrregiões São Félix do Xingu, Redenção e Itaituba,

marcando um deslocamento da área colhida de milho do Nordeste do Pará para o Sudeste e Sudoeste (HOMMA, 2022). O milho é cultivado nessas paisagens para ser utilizado como ração animal para alimentar o gado. Diante disso, além do cultivo de milho, a variável pasto limpo também teve associação negativa com o cultivo de mandioca. A pecuária bovina ocupa extensas áreas no Sudeste e Sudoeste do Pará, ao longo da Transamazônica. Essa dinâmica espacial foi se formando com o incentivo de políticas iniciadas na década de 60, e.g. construção de rodovias (Belém-Brasília e Transamazônica), incentivos fiscais etc. Na década de 90, com a instalação de frigoríficos e novos incentivos fiscais e econômicos, o Sudeste e Sudoeste Paraense foram se consolidando como regiões com predomínio de rebanho bovino (IBGE, 2017; HOMMA, 2022). Atualmente, o Sudeste forma um *hotspot* de pastagem: propriedades e rebanhos bovinos são maiores e o manejo das pastagens é mais intensivo, em parte como resultado do aumento da demanda dos grandes frigoríficos industriais, cujas operações estão concentradas nesta região (CARVALHO et al., 2019).

#### 5.1.2.2 *Low low*

O regime espacial *low low* teve como principais fatores associados à área colhida de mandioca as áreas de usos especiais e tamanho dos estabelecimentos agropecuários.

$$acm_{LLC} = -0,62 + 0,03 \beta_0 + 0,52 \text{ estmen4ha} + 0,42 \text{ feijao} + 0,3 \text{ assent} + 0,74 \text{ mosaico} - 0,65 \text{ agri\_anu} \quad (5.3)$$

$$acm_{LLM} = -2 e^{-18} + 0,59 \text{ estrada} + 0,53 \text{ estmen4ha} \quad (5.4)$$

$$acm_{LLS} = 1,28 e^{-16} + 0,93 \text{ uc\_us} + 0,39 \text{ assent} \quad (5.5)$$

em que:

$acm$  = área colhida de mandioca (ha)

$agri\_anu$  = agricultura anual (ha)

$assent$  = projeto de assentamento (ha)

$estmen4ha$  = número de estabelecimentos de até 04 ha

estrada = extensão de estradas oficiais (km)  
 feijao = área colhida de feijão (ha)  
 mosaico = mosaico de ocupação (ha)  
 uc\_us = unidade de conservação de uso sustentável (ha)

Os modelos estimados para o regime espacial *low low* são apresentados na Equação 5.3 (completo), Equação 5.4 (Marajó) e Equação 5.5 (Sudeste). A Figura 5.1.2.2 apresenta a análise estatística dos resultados.

Figura 5.3 - Modelos de regressão linear multivariada e *spatial lag* para área colhida de mandioca no regime espacial *low low*.

Low low completo ( <i>Spatial lag</i> )			Low low Marajó (OLS)			Low low Sudeste (OLS)		
Variável	beta	valor-p	Variável	beta	valor-p	Variável	beta	valor-p
estmen4ha	0,52 ± 0,056	2,2E-16 ***	estmen4ha	0,53 ± 0,157	0,03 *	assent	0,93 ± 0,1	3,2E-06 ***
feijao	0,42 ± 0,059	1,2E-12 ***	estrada	0,59 ± 0,157	0,02 *	uc_us	0,39 ± 0,1	0,003 **
assent	0,31 ± 0,067	5,3E-06 ***						
mosaico	0,74 ± 0,083	2,2E-16 ***						
agri_anu	-0,65 ± 0,083	3,6E-15 ***						
Pseudo R <sup>2</sup> : 0,93			R <sup>2</sup> : 0,92			R <sup>2</sup> : 0,90		
-			R <sup>2</sup> Ajustado: 0,88			R <sup>2</sup> Ajustado: 0,88		
AIC: 18,61			AIC: 8,81			AIC: 13,63		
log-likelihood: -1,30			log-likelihood: -0,40			log-likelihood: -2,82		
Significativo a: * 0,05 **0,01 ***0,001								

agri\_anu = agricultura anual (ha)  
 assent = projeto de assentamento (ha)  
 estmen4ha = número de estabelecimentos de até 04 ha  
 estrada = extensão de estradas oficiais (km)  
 feijao = área colhida de feijão (ha)  
 mosaico = mosaico de ocupação (ha)  
 uc\_us = unidade de conservação de uso sustentável (ha)

A única cultura significativa para os municípios dos regimes *low low* foi o feijão. Assim como nos municípios *high high*, a associação foi positiva. São 13 os municípios que têm cultivo de feijão, sendo mais de 95% em estabelecimentos menores que 5 ha (IBGE, 2017). À vista disso, a variável *estabelecimentos agropecuários de até 4 ha* também teve associação positiva, reforçando a importância da AGPE para ao cultivo de alimentos essenciais à dieta da população, ainda que em uma paisagem predominantemente ocupada por atividade pecuária.

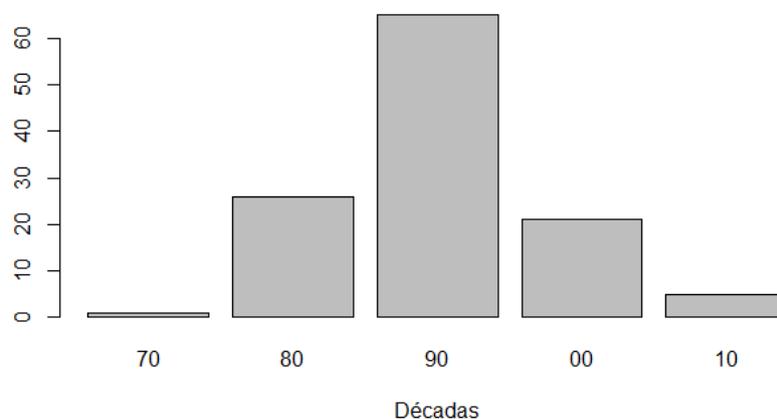
A agricultura anual, classe do TerraClass (INPE; EMBRAPA, 2014) que identifica e mapeia agricultura mecanizada de larga escala, teve associação negativa com o cultivo de mandioca nesse regime espacial. A agricultura de larga escala está pre-

sente na paisagem desses municípios, apesar de haver predomínio da pastagem como cobertura da terra.

Esse contexto espacial dos municípios *low low* formam uma paisagem onde a AGPE concorre com arranjos produtivos patronais. Nesse sentido, o maior destaque para esse regime espacial está na contribuição dos projetos de assentamento (LLC e LLS) e UC/US (LLS), que tiveram associação positiva com cultivo de mandioca nesses municípios e evidencia a importância de mecanismos de políticas públicas que assegurem a presença desse sistema produtivo na paisagem.

Os projetos de assentamento da reforma agrária são, por natureza, territórios para instalação de agricultores familiares. Ao todo, são 118 projetos de assentamento nos municípios do regime espacial *low low*, sendo 108 no Sudeste (INCRA, 2020). As unidades da reforma agrária que surgiram especificamente no Sudeste Paraense foram impulsionadas pela resistência na terra: a ocupação surgiu dos próprios trabalhadores, que permaneciam na terra onde moravam/ trabalhavam até adquirirem direito sobre ela (HEREDIA et al., 2003). Nos municípios *low low* existem assentamentos datados de 1977 em diante (INCRA, 2020), sendo a década de 90 o momento em que houve maior quantidade de obtenção de projetos de assentamento (Figura 5.4). A reforma agrária, assumida em totalidade pela esfera federal com a criação do INCRA, passou a ser também escopo da esfera estadual, com a maior autonomia do estados a partir da Constituição de 1988.

Figura 5.4 - Quantidade de projetos de assentamento obtidos nos municípios *low low*.



Fonte: INCRA (2020).

Se tratando de UC/US, nos municípios do regime espacial *low low* Sudeste há apenas duas: Área de Proteção Ambiental Carajás e Floresta Nacional (FLONA) Lago de Santa Isabel, que se localizam nos municípios de Canaã dos Carajás e São Geraldo do Araguaia, respectivamente (MMA, 2018). Esses dois municípios possuem as maiores áreas colhidas de mandioca (IBGE, 2017). Populações em territórios como esses garantem sua reprodução social por meio de atividades diversificadas, entre elas a agricultura, pesca e extrativismo, conforme Ribeiro e Lima (2018). Nesse sentido, a contribuição das UC/US aos sistemas produtivos de mandioca em municípios onde sistemas patronais predominam na paisagem corrobora com o que Sansolo (2020, p. 222) manifesta ao dizer que esses são "territórios de resistência ao modelo de desenvolvimento que desconsidera a biodiversidade da Amazônia e das populações que lá residem e vivem da terra e dependem da floresta e dos rios". A existência de sistemas produtivos de AGPE em meio aos demais usos da terra se deve também à sua capacidade de gerar resultado socioeconômico em uma paisagem mais diversa, coexistindo com áreas de floresta (RIBEIRO; LIMA, 2018). Num contexto onde a pecuária, o cultivo de grãos em larga escala e o desmatamento existem numa tendência de crescimento, as UC/US devem ter um papel central dentro da política ambiental (CAVIGLIA-HARRIS, 2005), pois são instrumentos que asseguram a permanência da AGPE e do cultivo de mandioca na paisagem, conforme foi observado para os

municípios do regime espacial *low low* no Sudeste do Pará.

Por fim, os municípios do regime espacial *low low* Marajó tiveram fatores significativos relacionados à estrutura fundiária: pequenas propriedades (até 4 ha) e extensão de estradas. Essa região é formada por muitas ilhas e tem poucas estradas, porém as estradas que existem lá se localizam justamente em Cachoeira do Arari e Salvaterra, que são os dois municípios com mais *área colhida de mandioca* dentro desse regime espacial. Além disso, esses dois municípios são também os únicos que possuem áreas quilombolas (INCRA, 2020), o que pode estar relacionado às pequenas propriedades. Esses territórios são ocupados por populações que investem na terra o seu trabalho por meio do cultivo das plantas, roças e quintais (CARDOSO, 2015).

Na seção seguinte serão apresentados os resultados da análise na escala local, englobando desde a classificação das imagens até a caracterização das regiões reveladas.

## **5.2 Análise na escala local: Oeste do Pará**

A análise em escala local incluiu os municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos. Para essa análise, foi realizada classificação de imagens, regionalização via Skater e foram construídos indicadores para caracterização das regiões quanto aos padrões espaciais. As seções seguintes apresentam os resultados e as discussões com apoio da literatura.

### **5.2.1 Classificação**

Os resultados da validação da classificação do uso e cobertura da terra de parte da área de estudo são apresentados na [Figura 5.5](#). Foram utilizadas 50 amostras para cada classe, exceto *área urbana* que, apesar de ter sido incluída na classificação, não teve área suficiente para a seleção de mais do que 5 pontos.

Figura 5.5 - Matriz de confusão para validação da classificação.

		Referência						Acurácia usuário		
		Floresta	Hidrografia	Não-floresta	AGPE	VEGSEC	Área urbana	Solo exposto	n	
Classificação	Floresta	45				5			50	90%
	Hidrografia		49	1					50	98%
	Não-floresta	3		39	4	4			50	78%
	AGPE			2	30	15		3	50	60%
	VEGSEC				1	45	4		50	90%
	Área urbana		1			1	3		5	60%
	Solo exposto			7	12	8		23	50	46%
n		48	50	49	47	78	7	26	Exatidão global	
Acurácia produtor		94%	98%	80%	64%	58%	43%	88%	77%	

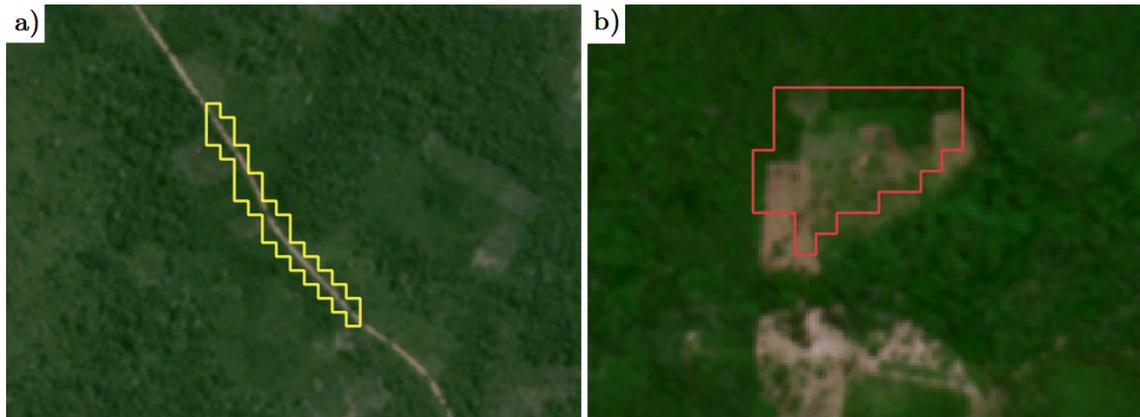
A exatidão global foi de 77%, porém é importante dar ênfase ao desempenho do mapeamento de cada classe. Floresta e hidrografia foram as classes com os maiores valores de acurácia do produtor e do usuário, isso se deve à aplicação da máscara, que removeu os ruídos dessas áreas. Não-floresta também fazia parte da máscara, mas não retornou uma acurácia tão alta quanto as classes anteriores. Vegetação secundária teve bom resultado para acurácia do usuário, porém isso não ocorreu para a acurácia do produtor, uma vez que houve bastante confusão com AGPE e também solo exposto.

A AGPE, alvo de interesse, alcançou acurácia do usuário de 60% e acurácia do produtor igual a 64%. Esses valores, apesar de medianos, são condizentes com outros trabalhos similares, que obtiveram acurácia com valores a partir de 62% (SOUZA et al., 2019; PACHECO et al., 2021).

A maior confusão na classificação foi entre AGPE e vegetação secundária: 15 pontos (30%) classificados como AGPE, eram, na verdade, vegetação secundária. Essa confusão entre as classes é bastante explorada na literatura e se deve ao fato de que ambas as classes possuem respostas espectrais semelhantes (PACHECO et al., 2021; PAULA, 2021; SOUZA et al., 2019; RUFIN et al., 2022). Por outro lado, áreas que são AGPE foram erroneamente classificadas principalmente como solo exposto. Essa classe era formada por faixas de areia às margens dos rios e também estradas de terra. Contudo, os polígonos que formaram essas classes tinham mistura de classes, já que que por vezes incluíam alguns pixels do entorno com vegetação, conforme exemplificado na Figura 5.6. A confusão entre áreas de agricultura e solo exposto também é tratada na literatura e alguns trabalhos optam por separar a agricul-

tura em diversas classes: com solo exposto, com plantio, em pousio etc (PAULA, 2021; SANTOS et al., 2019). Nesses trabalhos, a separação em sub-classes foi aplicada exclusivamente para agricultura de larga escala.

Figura 5.6 - Exemplos de objetos da segmentação com mistura espectral, englobando mais de uma classe de uso e cobertura da terra.



a) Segmento classificado como solo exposto, onde aparece trecho de estrada de terra, porém inclui pixels das bordas com floresta

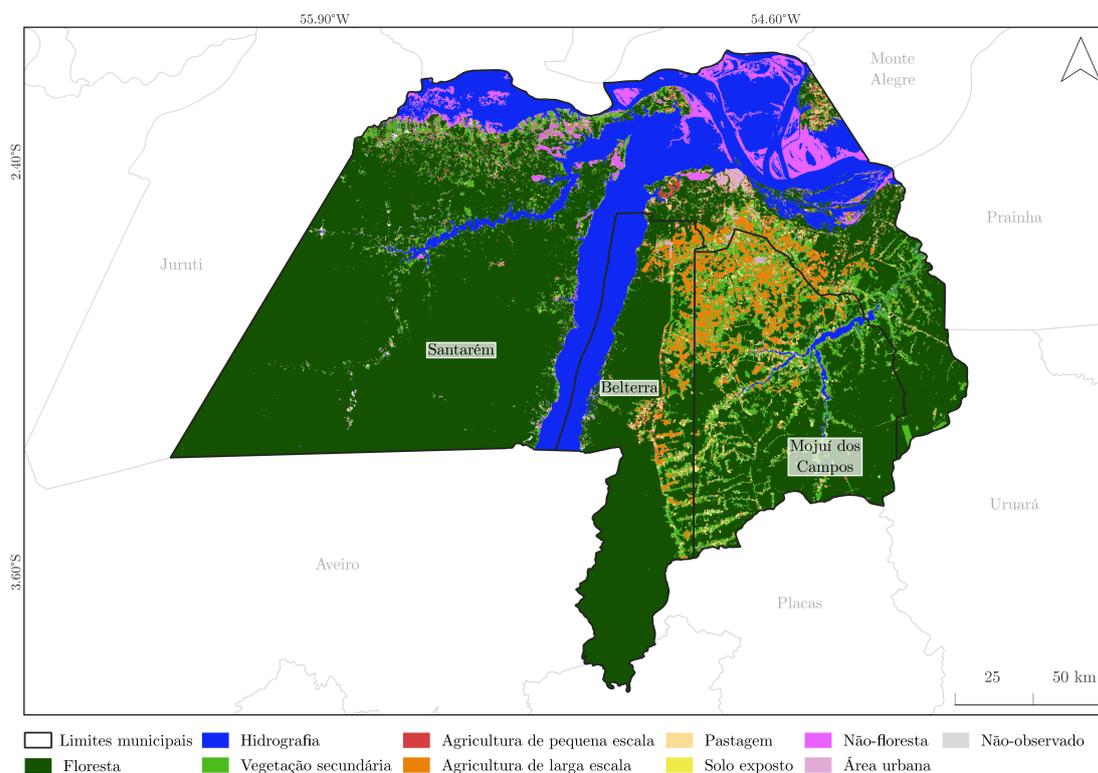
b) Segmento classificado como AGPE referente a uma área onde há diferentes fases desse sistema produtivo: solo exposto, cultivado e vegetação.

Fonte: Basemap Planet (2019).

A confusão de AGPE com vegetação secundária e solo exposto não se deve exclusivamente à resposta espectral similar entre as classes. Ambas as classes fazem parte dos sistemas de cultivo da AGPE, seja após a colheita (solo exposto) ou no pousio (vegetação secundária). Portanto, conforme exemplificado anteriormente, polígonos de AGPE também podem incluir essas duas classes. Diante disso, é importante incluir atributo espacial referente à forma e tamanho dos objetos para separar quando essas classes não estão dentro da AGPE. Áreas de AGPE têm suas bordas mais próximas ao centro (maior compacidade), são menos alongadas e menores que objetos de fragmentos de vegetação secundária (PACHECO et al., 2021) e solo exposto.

A Figura C.7 apresenta o mapa de uso e cobertura da terra, com a união da classificação realizada neste trabalho e a classificação realizada por Paula (2021).

Figura 5.7 - Mapa de uso e cobertura da terra do Oeste do Pará, em 2019.



Fonte: Adaptado de Paula (2021).

As classes de uso e cobertura da terra foram utilizadas de maneira distinta nas diferentes etapas, a saber:

- Floresta primária, agricultura de larga escala e pastagem foram utilizadas para a etapa de regionalização;
- AGPE foi utilizada para a análise dos sistemas produtivos associados ao cultivo de mandioca.

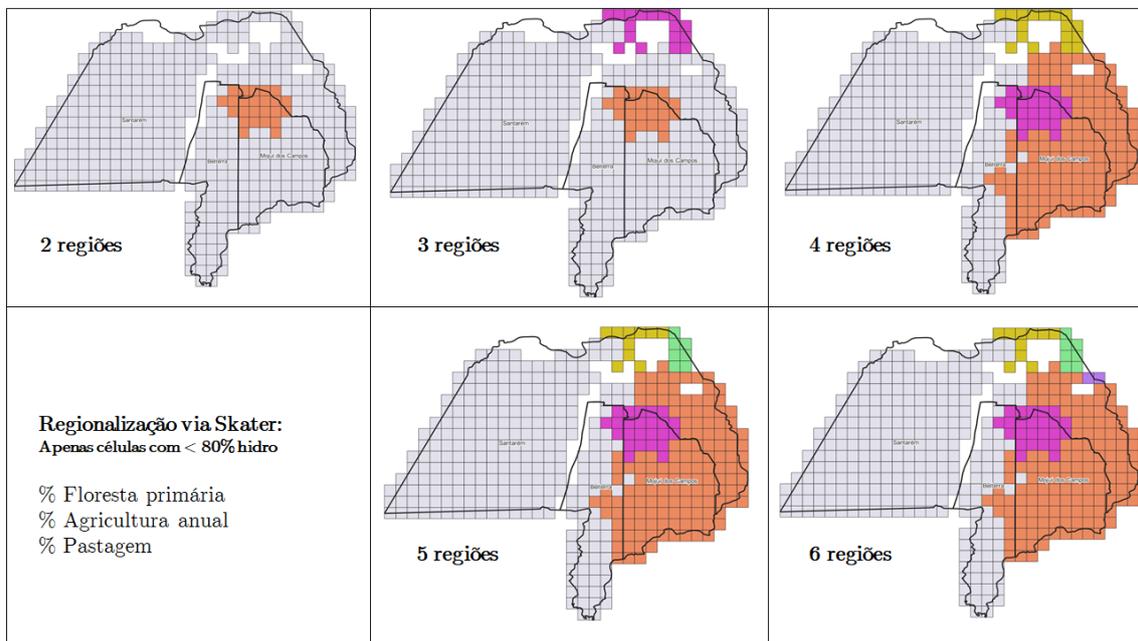
### 5.2.2 Regionalização

Nesta seção são apresentados os resultados da regionalização via Skater realizada para delimitar as áreas onde predominam os principais usos da terra na região: floresta, agricultura de larga escala e pastagem. Foram realizados experimentos com 2 a 10 regiões. Nesse experimento, iniciou-se com 2 grupos e foram sendo adicionadas

mais regiões e verificando, de forma empírica, o número de regiões mais adequado.

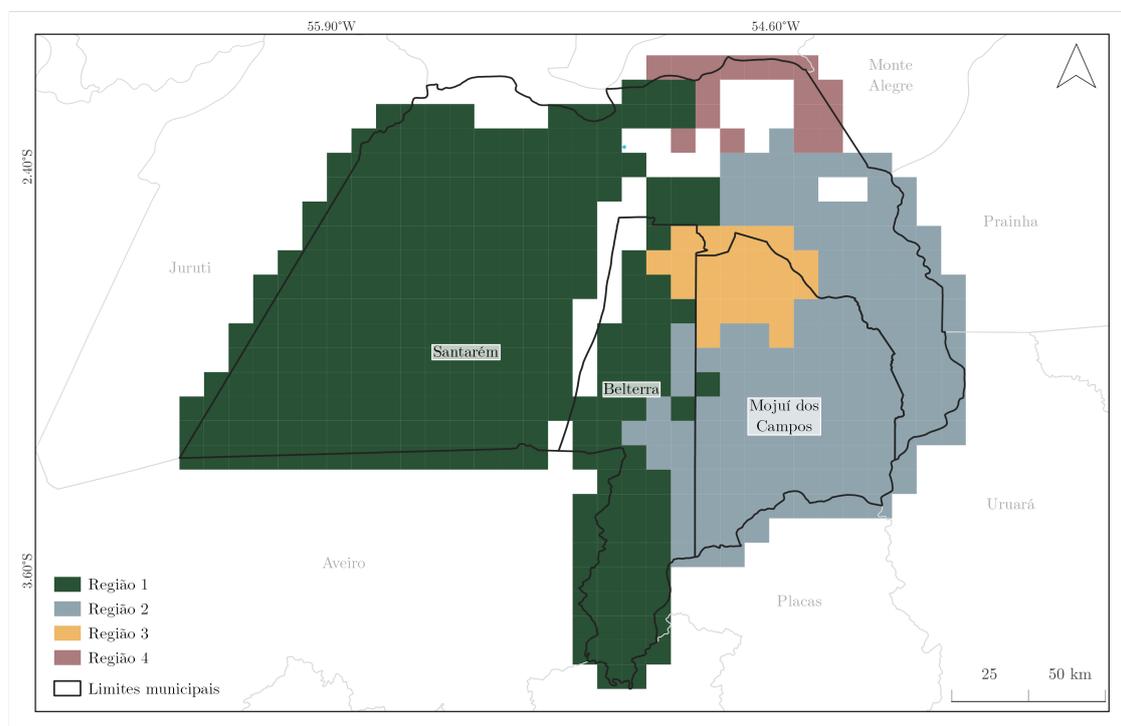
A região do Planalto Santareno é a primeira a surgir ( $n = 2$ ) e se manteve estável conforme aumentou a quantidade de regiões (Figura 5.8). As áreas de floresta primária também formaram um grupo estável a partir de  $n = 4$  e formaram a maior região. A região ao redor do Planalto Santareno é sub-dividida em regiões menores a partir de  $n = 5$  e tornam-se muito pequenas e sem significado.

Figura 5.8 - Experimentos de regionalização com quantidades diferentes de regiões.



A regionalização com  $n = 4$ , apresentada na Figura 5.9, foi a que apresentou maior coerência com os trabalhos realizados na área de estudo (AMARAL et al., 2009; ESCADA et al., 2013; AFFONSO et al., 2016; LISS, 2014; DAL'ASTA et al., 2014) em relação aos padrões observados em campo e, portanto, foi a regionalização escolhida nesse trabalho.

Figura 5.9 - Regionalização da área de estudo.



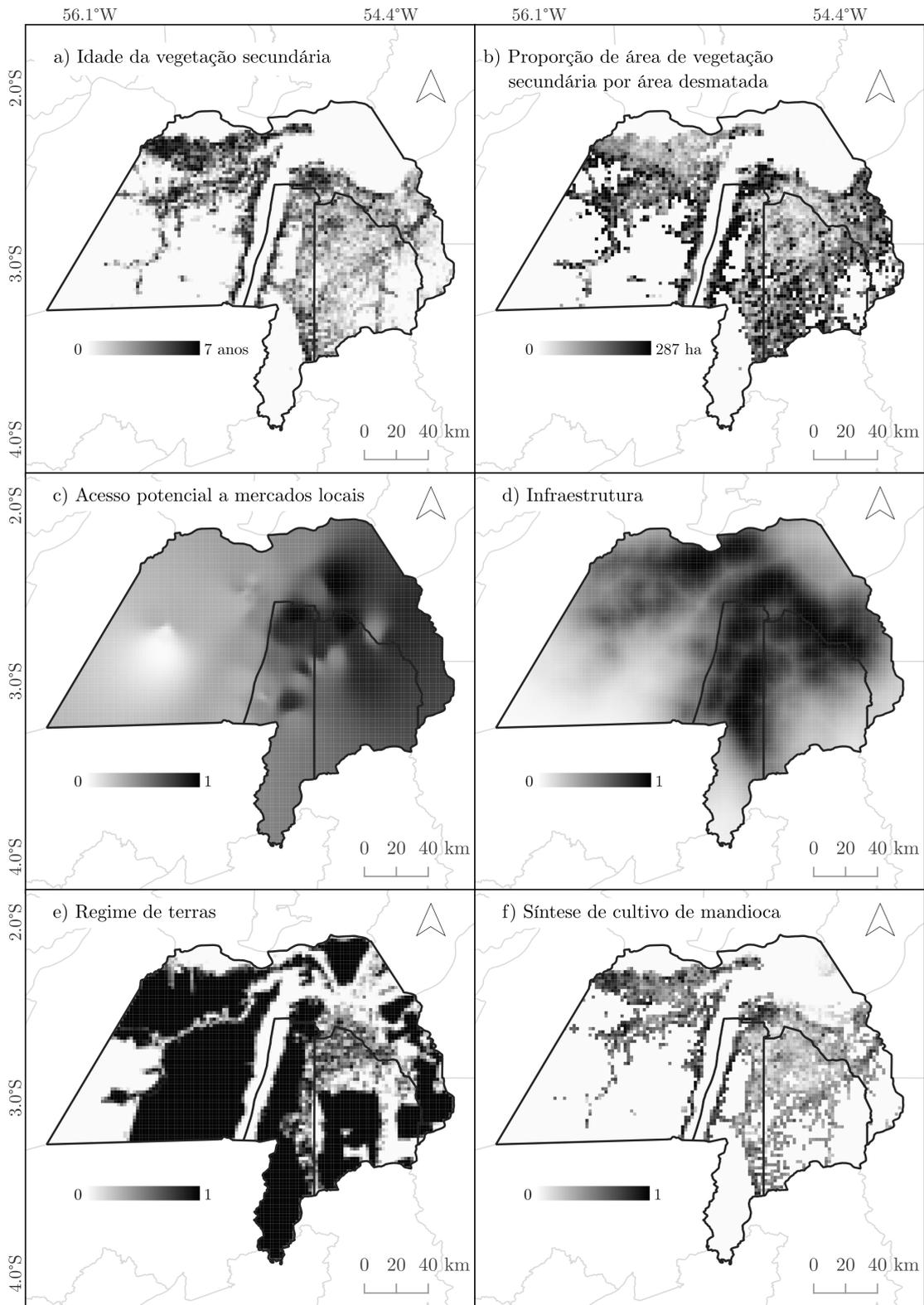
As regiões reveladas pelo método têm as seguintes características em relação às variáveis utilizadas:

- Região 1: Com presença de floresta primária em maciços florestais em toda sua extensão. Não tem presença de agricultura de larga escala e a pastagem aparece apenas em pequenas áreas onde a pecuária é realizada junto a outras atividades de pequena escala;
- Região 2: Paisagem que tem a presença de agricultura anual de larga escala e pastagem, mas ainda tem áreas contínuas de floresta primária com importantes remanescentes;
- Região 3: A agricultura anual de larga escala é o principal uso da terra, cobrindo grandes extensões. A pastagem também está presente, mas é menos expressiva. A floresta primária é fragmentada em pequenas áreas;
- Região 4: Com pequenas manchas de uso e cobertura da terra diversos, e.g. pastagem e floresta, porém a principal cobertura é hidrografia e não-floresta.

### 5.2.3 Indicadores de sistemas produtivos de mandioca

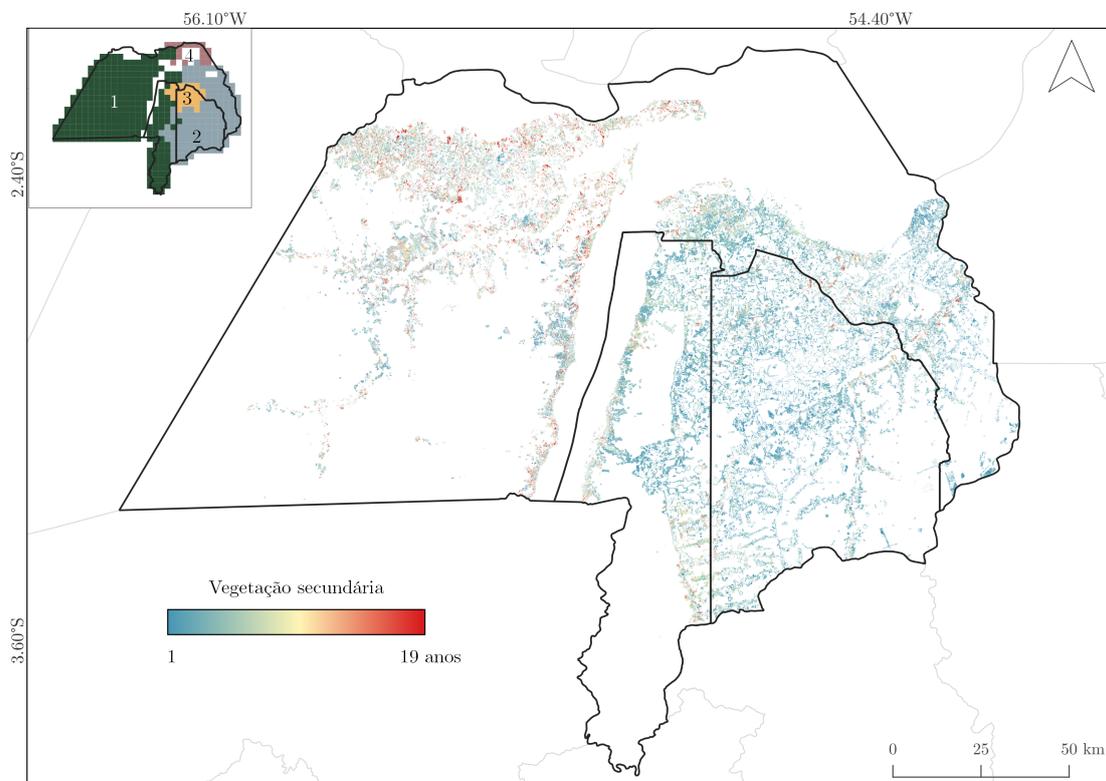
A [Figura 5.10](#) traz a espacialização dos indicadores nas células. Para ver em maior detalhe, os mapas são apresentados individualmente no [Apêndice C](#). Os indicadores aqui propostos foram concebidos para entender o contexto espacial dos sistemas produtivos de mandioca e, só então, provocar discussões a partir da observação das regiões identificadas. Nesta Seção, os resultados dos indicadores são apresentados, assim como as limitações e maiores contribuições de cada um. A discussão sobre o comportamento dos indicadores nas regiões é feita na [Subseção 5.2.5](#).

Figura 5.10 - Indicadores de sistemas produtivos de mandioca.



Os *indicadores de vegetação secundária*, construídos a partir de dados cedidos por Reis (2022), permitiram gerar uma base com idade de vegetação secundária entre 1 e  $\geq 19$  anos (Figura 5.11). Ao extrair esses dados para as células, considerando a média ponderada por área, o valor máximo foi de 7 anos, isso porque há mais área de vegetação secundária jovem do que avançada, então a média ponderada por área puxou os valores para baixo. A separação da vegetação secundária em dois indicadores permite abordar duas questões: a intensificação do uso da terra e o uso de pousio como parte do sistema produtivo.

Figura 5.11 - Distribuição espacial da vegetação secundária, por idade.



Fonte: Adaptado de Reis (2022).

Para a construção do *indicador de acesso potencial a mercados*, foi removida uma das comunidades que apresentava valor muito diferente das comunidades vizinhas, considerada como *outlier*. Essa vila, apesar de estar próxima a Santarém, tinha uma frequência de linha entre 1 e 2 vezes na semana. Considerando que a frequência de linha tem maior peso no cálculo do indicador, o valor final foi muito inferior quando comparado às vilas vizinhas<sup>5</sup>.

As células na margem esquerda do rio Tapajós e próximas ao rio Arapiuns retornaram valores similares. O *indicador de acesso potencial a mercados* dessas células foi homogeneizado durante a interpolação das amostras. Ainda que esta região contenha metade das amostras (33), elas não estão espacialmente distribuídas.

A construção desse indicador passa por uma limitação do dado. A maior dificuldade em trabalhar com esse indicador é pela baixa quantidade de amostras (63). Para um indicador mais representativo, é necessário usar uma amostragem melhor distribuída, diminuindo a influência dos *outliers* e ressaltando as diferenças de acesso potencial a mercado ao longo do território. Entretanto, a utilização de mais amostras implica na inclusão de maior quantidade de amostras coletadas em campo. Aqui, é importante enfatizar que mesmo com limitação, o indicador foi capaz de revelar as estruturas de acesso potencial ao mercado nas regiões, assim como observado por Souza (2016).

O *indicador de regime de terras* se propõe a representar estruturas que favorecem a presença de sistemas produtivos relacionados com a AGPE. Nesse sentido, foram incluídos usos e coberturas da terra que pressupõem a existência de roças/ capoeiras. Mais uma vez, é importante enfatizar a importância das UC/US e projetos de assentamento ao proporcionar a reprodução da AGPE nos municípios. Para essa escala local, com trechos da paisagem onde a AGPE concorre com a sojicultura e trechos onde a AGPE fica próxima à floresta, esse indicador pode substanciar discussão sobre esses espaços como instrumento de manutenção à reprodução da AGPE.

O *indicador de infraestrutura de transporte e urbana* foi construído a partir das distâncias até rios e estradas, considerando que esses meios de deslocamento estão associados ao escoamento da farinha e da mandioca até os mercados locais.

Tanto as comunidades ribeirinhas quanto as de terra firme usam mais de uma modalidade de transporte. Para um deslocamento mais rápido a maiores distâncias, comunidades ribeirinhas utilizam rabetas<sup>6</sup>, intercalando com transportes terrestres para alcançar grandes centros (AMARAL et al., 2009). As comunidades de terra firme passam a utilizar barcos e rabetas durante o período mais chuvoso, pois o transporte terrestre é interrompido, marcando uma sazonalidade no uso do transporte.

Ao considerar distância a rios e estradas, o indicador assume que o deslocamento é

---

<sup>5</sup> Tempo de viagem: 1 a 4 horas = 0,5  
Frequência de linha de transporte: 1 a 2 x na semana = 0,7  
Indicador de acesso =  $(0,75*0,5)+(0,25*0,7) = 0,55$

<sup>6</sup> Tipo de barcos com motor e hélice traseira não muito profunda, usados em rios de pouca profundidade (AMARAL et al., 2009).

possível assim que a pessoa alcança esses espaços, o que implicaria em existir portos em todos os trechos de rio e isso é irreal. Apesar disso, o indicador foi construído como uma maneira de simplificar e captar os processos que ocorrem dentro das regiões e das células. Assim, sem o dado dos trapiches e portos onde barcos e rabetas são atracados, a alternativa encontrada foi utilizar o próprio rio como referência.

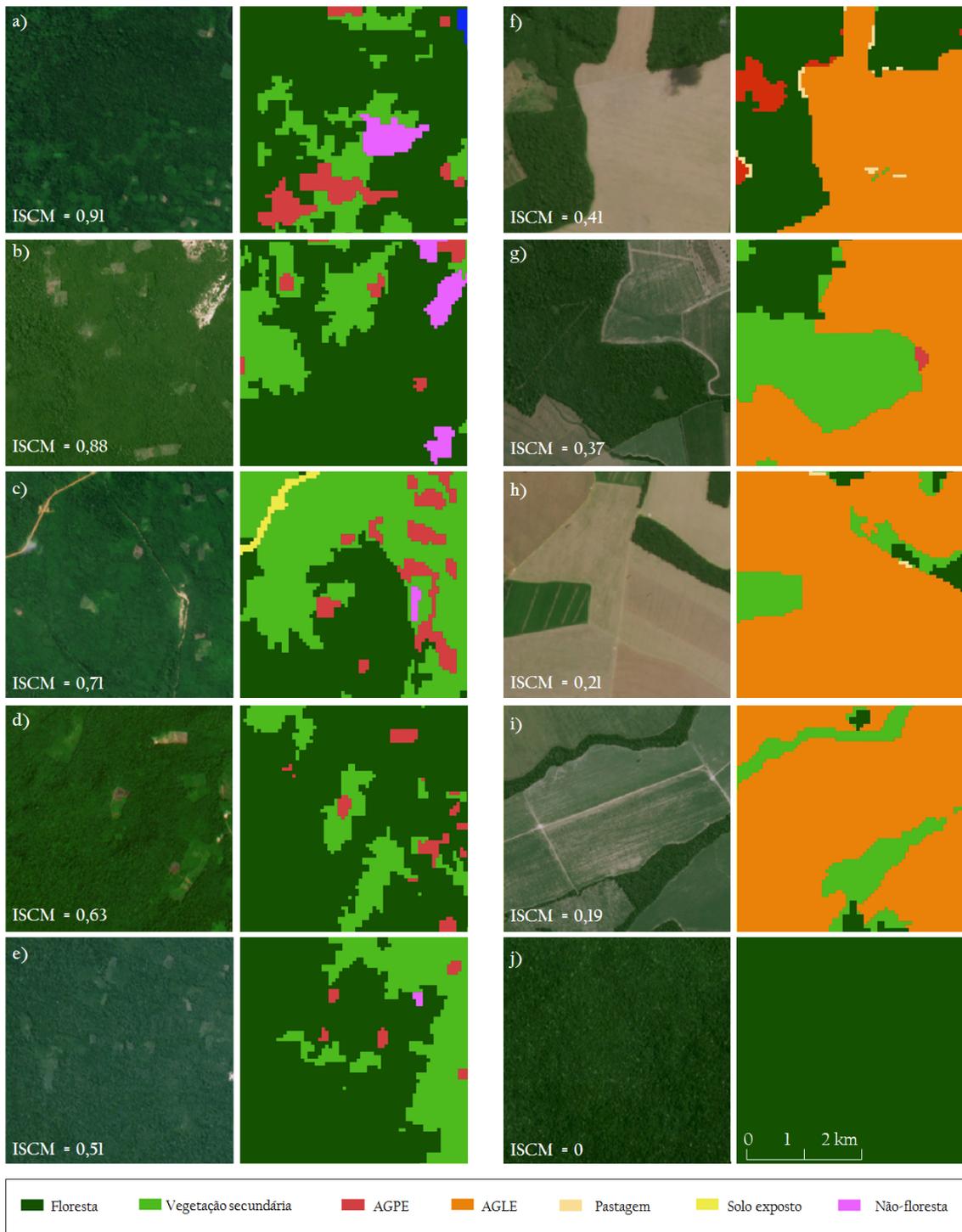
Todavia, ao atribuir o mesmo peso para rios e estradas, os valores finais ficaram muito próximos. Para melhor representar a capacidade de deslocamento e escoamento nas células e regiões, sugere-se a construção do indicador com maior peso às estradas, dada a maior facilidade e rapidez do transporte terrestre.

Por fim, o *ISCM* foi construído a fim de apresentar uma síntese dos indicadores anteriores. A proposta desse indicador foi espacializar áreas de ocorrência de cultivo de mandioca por inferência. Com exceção do dado de vegetação secundária, que foi gerado por Reis (2022), todos os demais estão disponíveis nas bases de dados oficiais para toda a Amazônia: UC/US, projetos de assentamento, minifúndio, pequena propriedade e hidrografia. Para gerar esse indicador para outras regiões da Amazônia, existe dado público disponível de vegetação secundária, porém o mais recente é para o ano de 2014.

O indicador se mostrou muito robusto e seus resultados tiveram aderência aos dados de uso e cobertura da terra, conforme exemplificado na [Figura 5.12](#). Na margem esquerda do Arapiuns, o indicador tem muita concordância com a classificação, onde estão concentrados os valores mais altos.

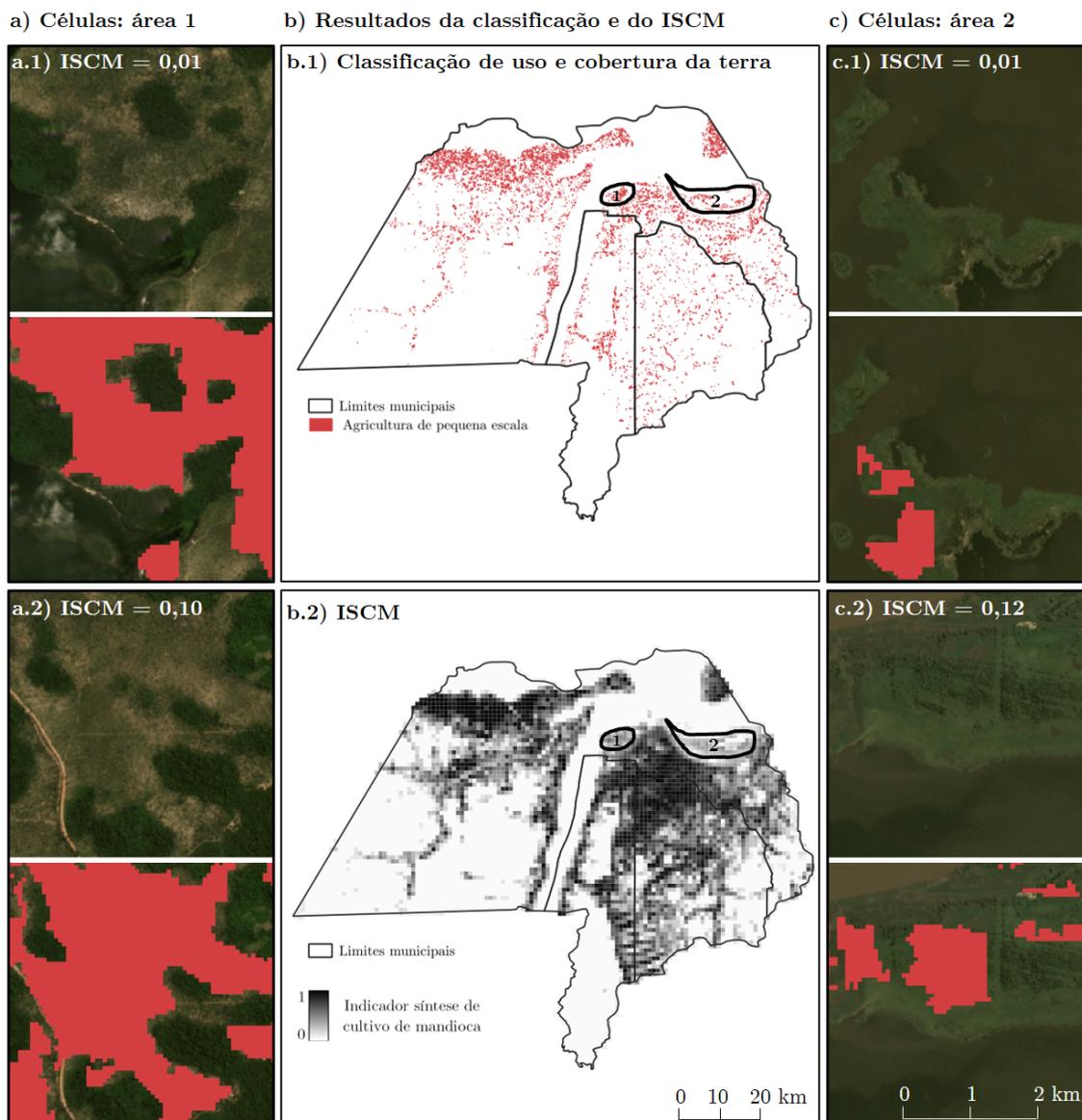
Em algumas regiões, houve divergência entre o indicador e a classificação de AGPE. Áreas próximas à sede de Santarém foram classificadas como AGPE erroneamente na classificação de uso e cobertura da terra, porém no indicador, as células apresentam valores mais baixos nessas região. Ao verificar imagens de satélites dessas áreas, de fato, a classe de uso e cobertura não é AGPE ([Figura 5.13](#)). Essa divergência, portanto, se trata de um problema com a classificação, que foi refinada com o uso da máscara para redução dos ruídos, porém não passou por edição manual.

Figura 5.12 - Exemplos de células com diversos valores para o ISCM.



Fonte: Basemap Planet (2019).

Figura 5.13 - Detalhe de células com divergência entre a classificação e o ISCM.



As áreas com divergência estão destacadas em amarelo: As células (a.1) e (a.2) se localizam na área 1 destacada à esquerda e são áreas de não-floresta. As células (c.1) e (c.2) se localizam nas células à direita e são áreas alagáveis. Em (b.1) e (b.2) estão os resultados de classificação de uso e cobertura da terra e o Índice Síntese de Cultivo de mandioca, respectivamente.

Fonte: Basemap Planet (2019).

### 5.2.4 Análise estatística

As regiões foram comparadas em relação aos indicadores apresentados na Seção anterior. Para tal, foram realizados testes estatísticos para verificar se havia evidências de que as regiões eram distintas. O resultado do teste é apresentado na Figura 5.14. Vale frisar que não foram utilizadas as mesmas células para todos os indicadores, dadas as suas diferentes características. Os indicadores foram estimados nas células, obedecendo-se aos seguintes critérios:

- *Acesso potencial a mercados, infraestrutura e regime de terras*: estimativa realizada para todas as células;
- *VEGSEC* e *AGPE*: estimativa realizada apenas para as células com a presença das classes vegetação secundária e AGPE;
- *ISCM*: foi estimado apenas para as células que apresentaram proporção de área das classes floresta e/ou hidrografia e/ou não-floresta <80%.

O teste de Kruskal-Wallis (KW) foi significativo para todos os indicadores e para a AGPE (Figura 5.14). Considerou-se significativo quando o *p-valor* foi menor que o  $\alpha$  em mais de 50% das 1.000 repetições. Portanto, os indicadores de *idade da vegetação secundária*, *proporção de vegetação secundária*, *acesso potencial a mercados locais*, *infraestrutura* e também *AGPE* foram significativos a 0,1%. Os indicadores de *regime de terras* e *ISCM* foram significativos a 5%.

Figura 5.14 - Resultado do Teste de Kruskal-Wallis.

Indicador	KW (mediana)	p-valor (mediana)	Nível de significância		
			0.001***	0.01**	0.05*
Idade da vegetação secundária	16.40	0.0009	51%	86%	97%
Proporção de vegetação secundária	18.33	0.0004	67%	93%	98%
Acesso potencial a mercados locais	17.91	0.0005	60%	86%	97%
Regime de terras	10.52	0.0146	14%	43%	72%
Infraestrutura	18.17	0.0095	63%	87%	95%
Síntese de cultivo de mandioca	9.09	0.0282	10%	33%	63%
AGPE	29.97	0.0002	96%	99%	100%

Nota: Para os níveis de significância, é apresentada a % em que as repetições foram significativas.

O KW retorna um resultado único para todos os grupos e não permite distinguir quais grupos são estatisticamente diferentes. Porém, com esses resultados, é possível afirmar que há evidências de que, para todos os indicadores e AGPE, ao menos uma região é diferente das demais.

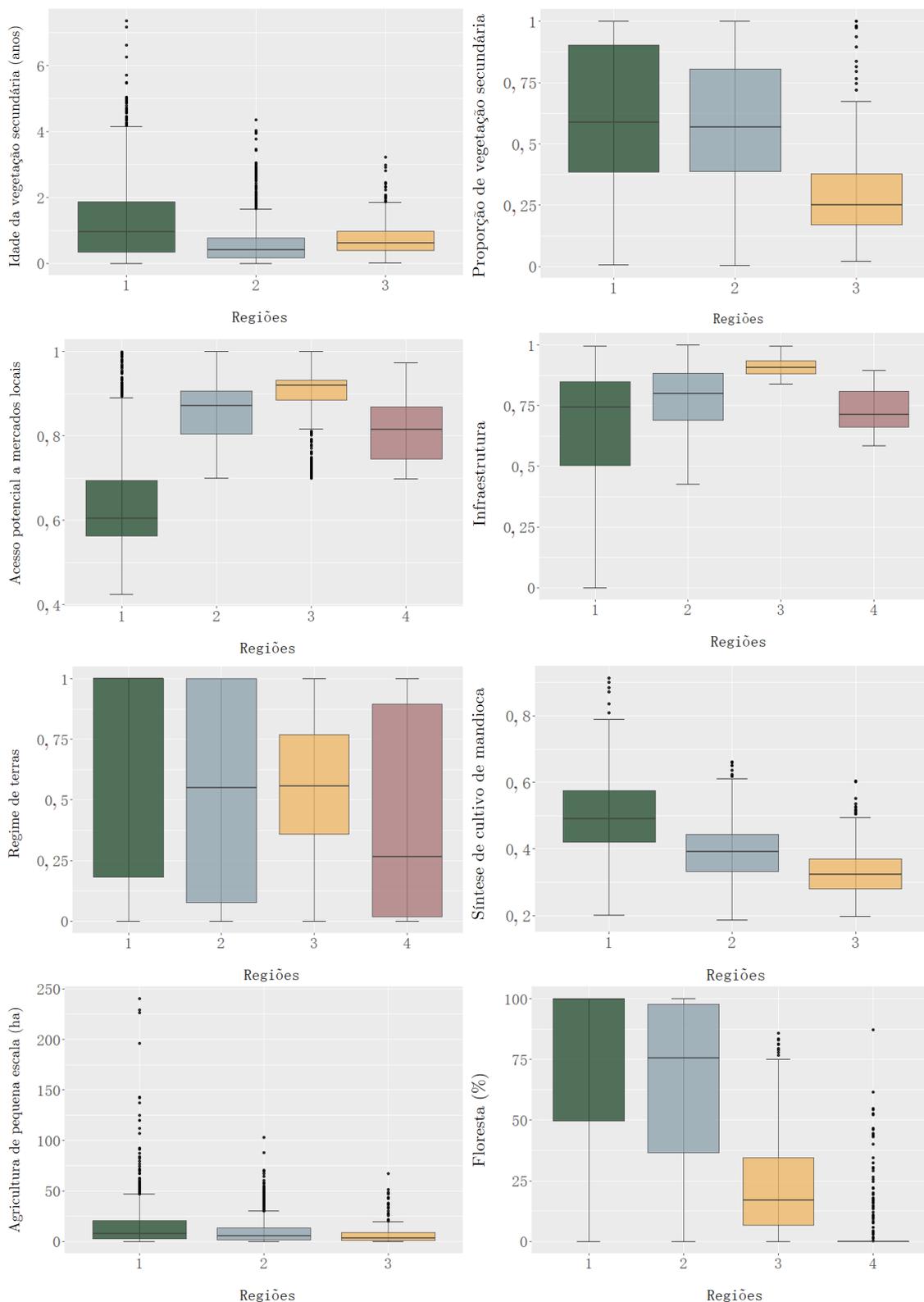
### **5.2.5 Caracterização das regiões em relação aos sistemas produtivos**

A definição das regiões neste trabalho baseou-se no uso de indicadores estáticos no tempo, mas que refletem a história e as trajetórias dessas paisagens. Para discutir as regiões sob a ótica dos indicadores, é preciso considerar que a formação dos territórios é resultante da interação sociedade-natureza desde o período dos habitantes povos originários, sua história, cultura e o conhecimento do bioma. Antes de iniciar a discussão, vale uma breve descrição das regiões reveladas em relação aos padrões observados com os indicadores e a algumas variáveis usadas para a regionalização:

- Região 1: apresenta cultivo de mandioca mais expressivo, presente em paisagens com áreas contínuas de vegetação secundária em estágio avançado e floresta primária, com menor acesso potencial a mercados locais e regimes de terras favoráveis aos sistemas produtivos de AGPE e, portanto, ao cultivo de mandioca;
- Região 2: área que apresenta desmatamento recente e capoeiras jovens, mas com importante remanescentes da floresta primária em maciços florestais. Apresenta valores altos para o indicador de acesso potencial a mercados locais e também infraestrutura, o cultivo de mandioca é importante na paisagem e o regime de terras é diverso (presença de projetos de assentamento e imóveis rurais pequenos e grandes);
- Região 3: o cultivo de mandioca é menos expressivo, porém ainda resistente nessa paisagem em que o regime de terras é desfavorável, não havendo a presença de UC e poucas áreas com projetos de assentamento. O melhor acesso potencial a mercados locais e infraestrutura são usufruídos também pela AGPE, mas beneficiam a AGLÉ;
- Região 4: região complementar, onde há a presença de cultivo de mandioca, porém não tem vegetação secundária, floresta, tampouco AGLÉ. Apesar da localização próxima à sede de Santarém, o acesso potencial a mercados locais e infraestrutura é baixo, devido à possibilidade de acesso apenas por rios.

Com o método utilizado foram obtidas 4 regiões, contudo, a discussão é feita para as regiões 1, 2 e 3, onde estão os padrões espaciais, classes de uso e cobertura da terra e dinâmicas territoriais de maior interesse para esse trabalho. A região 4 apresenta grande proporção de áreas de hidrografia e não floresta e poucas áreas de terra firme, áreas nas quais o cultivo de mandioca ocorre preferencialmente. Os resultados da análise dos indicadores por regiões são apresentados no boxplot da [Figura 5.15](#) e no gráfico de radar da [Figura 5.16](#).

Figura 5.15 - Boxplot: indicadores e AGPE por região.



A Região 4 não aparece nos indicadores de *vegetação secundária* por não ter esse tipo de cobertura. Para os gráficos de AGPE e do ISCM, a Região 4 foi suprimida para que a visualização seja exclusivamente das regiões em que são discutidos os resultados.

Figura 5.16 - Gráfico de radar das regiões: indicadores, AGPE e floresta.

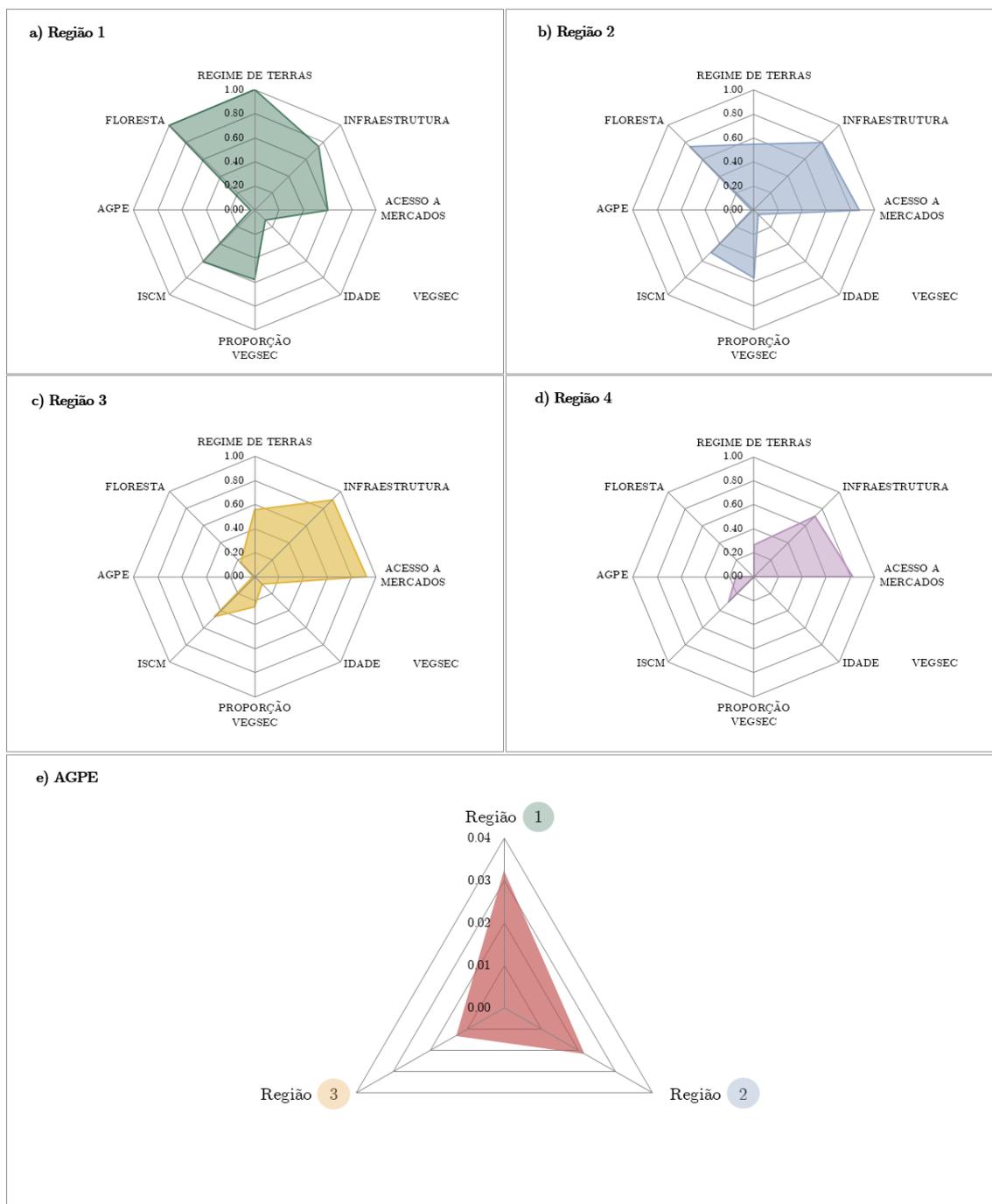


Gráfico de radar caracterizando as regiões 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 4 (d) obtidas com os indicadores ambientais, de infraestrutura e acesso potencial a mercados. São apresentadas as medianas dos valores normalizados. A AGPE é apresentada separadamente em (e) com escala de valores ampliada para destacar as diferenças entre as regiões. São apresentados os valores normalizados de área, em hectare, considerando apenas as células que apresentam esse uso da terra.

Uma vez apresentadas as regiões brevemente, os indicadores são discutidos com maior detalhe. A iniciar pelos *indicadores de vegetação secundária*, observa-se que a vegetação secundária mais avançada está na Região 1, ao passo que as áreas de vegetação secundária mais jovens são encontradas na Região 2, onde estão áreas desmatadas mais recentemente (PAULA, 2021; SANTOS; COSTA, 2020). A Região 3 também apresenta capoeiras jovens. Dada a manipulação desses dados em células, a idade máxima ficou em 7 anos, porém é importante ressaltar que *in loco* os agricultores mencionam áreas de até 18 anos para a Região 1 (AFFONSO et al., 2016; ESCADA et al., 2012), o que é revelado também na Figura 5.11.

Em seu trabalho, Reis (2022) identifica uma predominância de desmatamento de áreas de vegetação secundária na região do Planalto Santareno e ao longo da Rodovia Cuiabá-Santarém, em Belterra, onde estão áreas de *vegetação secundária* mais jovens. Paula (2021, p. 76) também observa que nas Regiões 2 e 3, entre 2010 e 2019, a vegetação secundária foi uma das "classes de cobertura da terra que apresentaram maior perda (...), porém essa perda foi compensada por um ganho ainda maior". Esse processo explica a presença de vegetação secundária em estágio inicial e com tamanho significativo. É importante notar que muitas dessas áreas desmatadas de *vegetação secundária* passaram a ser ocupadas pela AGLE (COELHO et al., 2021). Ainda que não seja possível distinguir a *vegetação secundária* que faz parte do pousio da AGPE das que não fazem, certamente o avanço de AGLE sobre a vegetação secundária representa, em parte, sua expansão sobre a AGPE

Em relação à *proporção de área de vegetação secundária por área desmatada*, foi observado o mesmo comportamento: a Região 1 teve os maiores valores e a Região 3 os menores. Isso significa que a Região 1 tem grande parte das áreas desmatadas destinadas ao pousio e que as áreas abertas na Região 3 são destinadas a outros usos da terra e, proporcionalmente, poucas áreas ficam em pousio, indicando a intensificação do uso da terra nessa região.

No geral, entende-se que a Região 1 tem maiores áreas contínuas de vegetação secundária, em estágios mais avançados, i.e. áreas que ficam em pousio por mais tempo antes de voltarem a ser agricultadas. Em contrapartida, nas Regiões 2 e 3, onde a vegetação secundária é mais jovem, ocorre um pousio de menor duração adotado pela AGPE e/ou áreas de pasto não manejado ou abandonado. O cultivo numa mesma área em intervalos curtos provocados pela redução do período de pousio traz prejuízos à produtividade da mandioca, aumenta a presença de ervas daninhas e altera sua composição, resultando em maior esforço de capina, que leva os agricultores a

cultivarem roças menores, conforme explica [Jakovac et al. \(2016\)](#).

Seguindo para os indicadores de *acesso potencial a mercados locais e infraestrutura*, os resultados foram similares, com exceção da Região 1. Para *infraestrutura*, essa região não teve um resultado tão abaixo das outras regiões quanto no indicador de *acesso potencial a mercados locais*. Destaca-se que o transporte por rio é um modal bastante importante na região ([AMARAL et al., 2009](#); [ESCADA et al., 2013](#); [AFONSO et al., 2016](#)), porém para o *indicador de infraestrutura*, os transportes fluvial e rodoviário são considerados de maneira igual. Ao considerar os rios e estradas no *indicador de infraestrutura*, a Região 1 obteve valores não muito distantes das outras regiões. Isso se deve tanto pela existência de transporte dos rios Arapiuns e Tapajós, quanto pela proximidade a estradas, em especial a rodovia BR-163 e vicinais (Cuiabá-Santarém). No entanto, essa é a região em que aparecem os menores valores para esse indicador, isso porque existem muitas comunidades cujo acesso é exclusivamente pelo rio e que estão distantes dos mercados. Ainda que para o *indicador de infraestrutura* a Região 1 apresente valores próximos das demais regiões, para o *indicador de acesso potencial a mercados locais* isso não se repete, apresentando menores valores. Esse resultado é importante na caracterização das áreas de cultivo de mandioca da Região 1 e ajuda a entender o potencial de inserção das comunidades em arranjos produtivos locais ([SOUZA, 2016](#)). A maior possibilidade de *acesso potencial a mercados locais* tem grande influência na lógica de comercialização desses produtores, indicando uma maior possibilidade de comercialização dos produtos em locais como as feiras dos produtores rurais que ocorrem nas cidades ou em comunidades e/ou localidades vizinhas ([SÁ et al., 2006](#)).

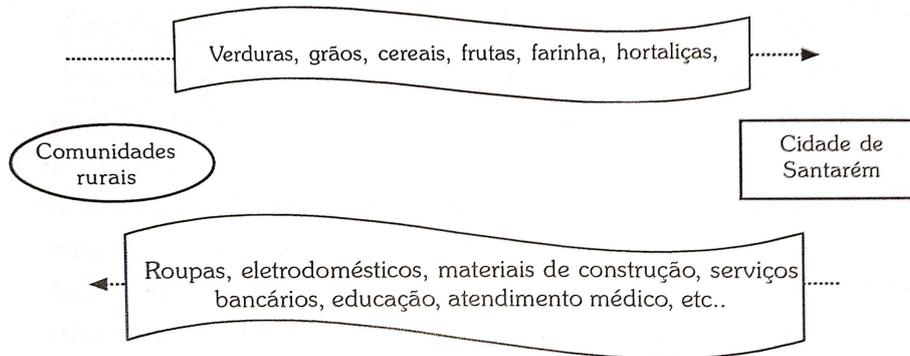
As Regiões 2 e 3 apresentaram indicadores de maior *acesso potencial a mercados e infraestrutura*. Essas são as principais regiões quanto à presença de comunidades de terra firme, estando parte delas situadas ao longo das rodovias que cortam os três municípios e parte delas, dispersa no Planalto Santareno, e com alto potencial de *acesso ao mercado*, representado pelas cidades ([VAN VLIET et al., 2013](#)). A abertura de rodovias facilitou o acesso e impulsionou a circulação de pessoas e mercadorias entre diferentes áreas, moldando processos de formação de povoados na região ([SÁ et al., 2006](#)). Os pequenos agricultores também fazem uso das rodovias e utilizam ônibus de linha ou transporte próprio para transportar mercadoria, entre elas, a farinha da mandioca ([CAMIOTTI et al., 2020](#); [SÁ et al., 2006](#)). No entanto, é fundamental destacar que a infraestrutura física é importante via de circulação e escoamento da produção de soja até o centro urbano de Santarém e o traçado das redes de transporte bem como sua localização são grandemente influenciados por grupos que visam à

obtenção de lucros elevados e imediatos como os associados à produção de soja, em detrimento da utilidade social daquela instalação, refletindo na forma, localização e concepção de tais equipamentos (SÁ et al., 2006). Não à toa, os mercados locais e infraestrutura de acesso a eles estão mais próximos às áreas de AGLE.

"As estradas e vias de comunicação estão (...) contraditoriamente vinculadas aos processos de acumulação do capital e de reprodução da força de trabalho. Conseqüentemente, as condições favoráveis à acumulação do grande capital ocorre em detrimento da reprodução de pequenos e médios produtores, confirmando-se a lógica segregativa imanente ao modo de produção capitalista" (SÁ et al., 2006, p. 143).

Outro ponto importante de destacar é a própria concepção de *mercado*. Para a comercialização de soja, prevalecem princípios mercantilistas ou produtivistas voltados à vantagem econômica (SÁ et al., 2006). A AGLE, cuja terra é "insumo para a produção, segundo a lógica capitalista" (RAVENA et al., 2018, p. 40), é um sistema produtivo com "racionalidade privatista, individualista e desigual" (FIGUEIREDO, 2022, p. 73). Para o pequeno agricultor, prevalecem as relações interpessoais e sistema de trocas (SÁ et al., 2006), ilustrado na Figura 5.17, e sua relação com a terra desafia a racionalidade capitalista (FIGUEIREDO, 2022).

Figura 5.17 - Infraestrutura, práticas econômicas e sistema de trocas entre as comunidades rurais e a cidade de Santarém.



Fonte: Sá et al. (2006).

Famílias que vivem em áreas de várzea e se mudam temporariamente para a terra firme no período de cheia trocam suas terras por outras ou até mesmo por itens que podem ter maior utilidade em uma dada ocasião (FIGUEIREDO, 2022). Portanto, essa lógica capitalista não coloca em risco apenas o território, mas a territorialidade<sup>7</sup> e os modos de vida na Amazônia (FIGUEIREDO, 2022).

"A pressão pela valorização da terra urbana e rural, a expectativa de expansão urbana ao longo das estradas de conexão das três cidades e a inexistência de serviços de transporte público compatíveis com tais distâncias geram uma superposição de duas lógicas de forma absolutamente excludente para a população local" (RAVENA et al., 2018, p. 41).

Avançando na discussão, o *indicador de regime de terras* evidencia a importância de uma política capaz de assegurar a permanência e reprodução de sistemas produtivos inclusivos e diversos:

"A criação de unidades de conservação e de soluções fundiárias comprometidas com a permanência da população nativa, tais como ocorre em reservas extrativistas, ou em projetos de assentamento agroextrativistas, em áreas indígenas, etc., permitiu que o padrão de dispersão secular do território (ocorrência de uma miríade de pequenas comunidades localizadas à curta distância umas das outras) fosse preservado até os dias de hoje" (RAVENA et al., 2018, p. 41).

Os resultados do indicador revelam que o *regime de terras* é profundamente relevante na Região 1, que teve a mediana igual a 1, valor máximo possível. A Região 2 e 3 tiveram medianas próximas, porém a Região 2 teve resultados mais distribuídos.

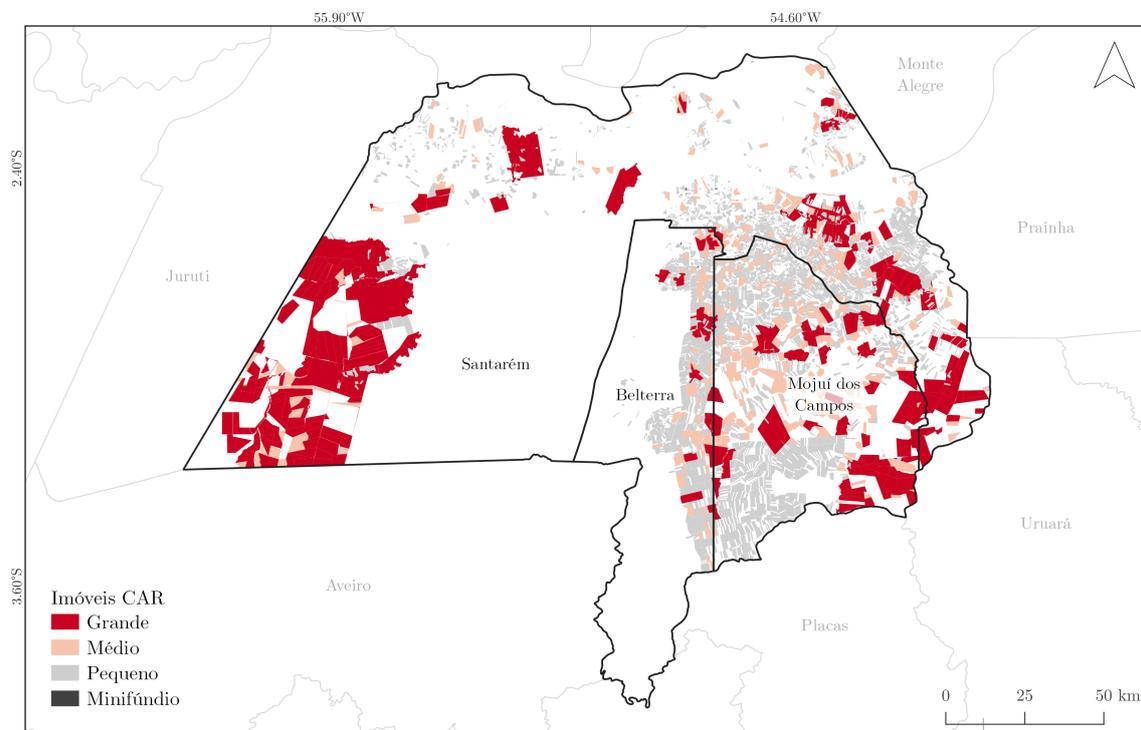
A Região 1 é onde estão a FLONA do Tapajós, Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns e também Projetos de Assentamento do INCRA, além das áreas de minifúndio cadastradas no CAR. Em estudo com duas comunidades da FLONA Tapajós, onde vivem 60 famílias, Silva et al. (2020) enfatizam a importância que a UC tem para essas pessoas e para o território: essas comunidades fazem uso intensivo de menos de 4% dos territórios onde vivem e têm suas necessidades atendidas sem precisar abrir extensas áreas. A agricultura é um dos principais usos da terra, em especial o cultivo de mandioca e de espécies frutíferas, em áreas que variam de 0,1 a 42 ha. Esse indicador destaca a importância de políticas públicas voltadas a sistemas produtivos de mandioca. Onde existem mecanismos de políticas como as ligadas ao *regime de terras*, estão localizados os sistemas de produção de alimentos, que abastecem as cidades e garantem a reprodução da vida das famílias envolvidas nessa atividade. Isso dialoga com os resultados obtidos na escala do Pará. Assim como discutido na Subsubseção 5.1.2.2, a importância de UC/US e Projetos de Assentamento se repete para a escala local e garante a existência da AGPE e do cultivo de mandioca.

---

<sup>7</sup> "A adoção da concepção de território como *processo* permite-nos alcançar o seu entendimento a partir dos sistemas de relações sociais que constroem territorialidades. A territorialidade torna-se, portanto, um patrimônio material e intangível, segundo o qual, as barreiras da dicotomia campo/cidade, do rural/urbano se enfraquecem e podem ser superadas, já que estas são exacerbadas nas concepções conservadoras e contrárias às transformações de caráter estruturante que a Amazônia está a exigir" (SÁ et al., 2006, p. 119).

Ainda sobre o *regime de terras*, durante a construção desse indicador, surgiu outra questão referente às terras cadastradas no CAR: presença de supostas "fazendas" em trechos de floresta contínua (Figura 5.18). Esse cadastro de terras via SICAR é autodeclaratório e o processo é o mesmo para qualquer pessoa, seja ela um posseiro, proprietário, assentado ou grileiro. Ainda que o CAR não tenha validade fundiária, o cadastro tem sido utilizado como instrumento de comprovação de posse, inaugurando uma nova modalidade de grilagem (SANTOS, 2022; MOUTINHO et al., 2022).

Figura 5.18 - Imóveis rurais cadastrados no CAR.



Seguindo para o último indicador, o *ISCM* consolida o esforço em dar visibilidade aos sistemas produtivos que incluem o cultivo de mandioca. O *ISCM* confirma o destaque da Região 1 para os sistemas produtivos associados ao cultivo de mandioca. Os maiores valores estão nas áreas ribeirinhas às margens do Tapajós, Arapiuns e Amazonas. A Região 2 teve resultados intermediários e seus maiores valores são para as células próximas ao Curuá-Una. A Região 3 apresentou os menores valores e com pouca variância. Os resultados para as regiões são coerentes com o que foi obser-

<sup>7</sup> Segundo estimativas dos autores, a contribuição da floresta no valor final das propriedades foi de R\$ 0/ha, em 2000, para R\$ 2.356/ha, em 2009.

vado para AGPE. Esses resultados também dialogam com os indicadores anteriores e mostram que o *ISCM* é um indicador robusto e capaz de revelar essas categorias agrárias invisibilizadas. É importante destacar novamente as variáveis que permitiram esse resultado robusto e, portanto, são importantes fatores para a AGPE e cultivo de mandioca: regime de terras, idade da vegetação secundária, proporção de área de vegetação secundária por área desmatada e proximidade a hidrografia. Esses fatores formam padrões espaciais que contemplam o cultivo de mandioca e, quando combinados, reforçam o potencial de ocorrer naquela região sistemas produtivos de AGPE e cultivo de mandioca. Com essas variáveis, é possível estimar onde estão as áreas de cultivo de mandioca utilizando dados públicos e, portanto, essa é uma alternativa metodológica para incluir essa classe nos sistemas de monitoramento de uso e cobertura da terra. Além disso, com essa informação é possível compreender as características das áreas de cultivo de mandioca e propor políticas adequadas para o fortalecimento dessa cadeia.

Por fim, olhando os resultados de *AGPE* e áreas de cultivo de mandioca, é evidente que a Região 1 tem maior destaque do que as Regiões 2 e 3. Nessa Região é onde estão os maiores valores de proporção de área de vegetação secundária por área desmatada, idade de vegetação secundária, regime de terras e floresta. A Região 1 ter mais *área de cultivo de mandioca* e ser também a Região com maiores áreas contínuas de floresta primária realça a capacidade desses sistemas produtivos em coexistirem com a floresta. As comunidades da Região 1 são comunidades que têm a agricultura (especificamente cultivo de mandioca) praticada junto ao extrativismo, portanto as áreas de floresta que ficam próximas às comunidades são usadas para como fonte de produtos florestais não-madeireiros (ESCADA et al., 2012; AFFONSO et al., 2016; CAMILOTTI et al., 2020; FREITAS et al., 2022). Esse sistema produtivo é capaz de lidar com o bioma e a floresta e se reproduzir de maneira duradoura. A vegetação secundária também é importante nessa região: as maiores áreas de vegetação secundária por área desmatada e em estágio mais avançado mostram que as áreas abertas pela AGPE, quando destinadas ao pousio, ficam mais tempo em regeneração até voltarem a ter cultivo. Por fim, o *regime de terras* se confirma como uma importante ferramenta na manutenção e reprodução desse sistema. A Região 3 tem os menores valores de idade e proporção de vegetação secundária por área desmatada, corroborando com os trabalhos de Paula (2021) e Reis (2022). Ainda os dados utilizados sejam, em parte, provenientes dos trabalhos de Paula (2021) e Reis (2022), o recorte feito para as análises é diferente, com diferentes áreas de estudo e escalas de interpretação, portanto, os resultados reforçam a discussão trazida pelas autoras e traz contribuições em relação às regiões aqui reveladas.

A Região 3 teve uma importante transformação da sua paisagem após a instalação do porto da Cargill em Santarém. De 2000 para 2019, a AGLE saiu de 2.300 ha para 109.300 ha (PAULA, 2021). As classes de AGPE e vegetação secundária perderam 26% e 31% de suas áreas para AGLE, respectivamente (PAULA, 2021).

A conversão de AGPE para AGLE no Planalto Santareno (PAULA, 2021; COELHO et al., 2021) marca uma transição de um território habitado por núcleos familiares que tinham suas raízes e identidade ali estabelecidas para um território que na qual os recursos naturais são tratados meramente como matéria-prima para a agroindústria. Das áreas ocupadas por AGLE em 2015, quase metade (42%) havia sido instalada em áreas previamente ocupadas por AGPE (COELHO et al., 2021). Essa expansão da soja sobre AGPE promoveu uma reconfiguração do Planalto Santareno. Muitas vezes, as áreas de AGLE são propriedade de latifundiários de outras partes do Brasil e que não possuem vínculo algum com a região. Sobre isso, Figueiredo (2022) destaca que esse avanço da AGLE se dá a pequenos passos, ainda que em grande velocidade, e vai ocupando também espaços subjetivos, como os cemitérios da região, apagando metaforicamente a memória e iniciando uma nova história.

A narrativa de *desenvolvimento* endereçada às *commodities* e à agricultura industrial abarca e qualifica um discurso de acumulação ilimitada e exploração predatória dos recursos (HAESBAERT, 2021). Essa compreensão de desenvolvimento ignora a história regional e se alinha ao *mainstream*, revelando um paradoxo persistente com uma lógica que gera e aprofunda desigualdades sociais e tacha as populações locais como "atrasadas" e os sistemas associados ao cultivo da mandioca e seus derivados como precários (RAVENA et al., 2018). Mais ainda, essa noção de desenvolvimento subordina a Amazônia a um modelo que não a serve: baseia-se numa lógica de destruição da floresta e que desconsidera o saber tradicional transmitido pela oralidade por meio de processos intergeracionais (RAVENA et al., 2018; SILVA et al., 2020).

A inserção e expansão da soja nessa região tem como consequência a concentração de terra, deslocamento dos pequenos agricultores para as periferias das cidades e desaparecimento de comunidades inteiras (COELHO et al., 2021). Essa dinâmica territorial hostil causada pela presença da AGLE e subordinação da terra ao capital expõe como:

"é frágil o equilíbrio entre sistemas de produção que apresentam grandes assimetrias em relação ao capital e às tecnologias empregadas, sendo necessário adotar políticas que valorizem e fortaleçam os modos de produção camponês, em especial, os de base florestal" (PAULA, 2021, p. xi).

As políticas públicas para os sistemas produtivos associados à AGPE e ao cultivo de mandioca precisam ser repensadas e fortalecidas. Essas populações têm sua própria lógica e não apenas coexistem com a paisagem, elas constroem e fazem parte do território. Para promover políticas que fortaleçam e insiram esses arranjos produtivos nos mercados locais, é preciso o reconhecimento desses sistemas produtivos como resilientes e diversos. É preciso avançar com as políticas para que elas sejam, de fato, válidas e adequadas à realidade dessas pessoas e dos territórios por elas produzidos.



## 6 CONCLUSÕES

A agricultura de pequena escala e o cultivo de mandioca na Amazônia possuem dinâmicas territoriais diversas, mas compartilham algumas características, podendo ser vistas como uma expressão de resistência ao permanecerem nas paisagens, produzindo alimento para as populações e perpetuando meios de vida ao longo dos anos. Essa heterogeneidade foi verificada nas duas escalas de análise.

Os resultados da análise espacial, para a escala do Pará, demonstraram que a importância dos fatores determinantes ao cultivo de mandioca apresenta variação nos regimes espaciais, indicando uma heterogeneidade intra-regional. Para os municípios onde há menor cultivo de mandioca (regime espacial *low low*), que inclui municípios do Sudeste do Pará e da região do Marajó, tiveram destaque as áreas de uso especial da terra (projetos de assentamento e unidades de conservação de uso sustentável) e pequenos imóveis (até 4 ha). No Sudeste do Pará, os sistemas agrários patronais concorrem com a agricultura de pequena escala, que fica restrita a algumas áreas específicas, cuja terra e seus usos são assegurados via políticas públicas. Além disso, área colhida de feijão também teve associação positiva com área colhida de mandioca. O feijão, assim como a mandioca, é um alimento cultivado pela agricultura de pequena escala e faz parte das refeições diárias da população. Por fim, agricultura anual de larga escala teve associação negativa, indicando um contexto espacial em que os municípios *low low* formam uma paisagem onde a agricultura de pequena escala e o cultivo de mandioca concorrem com arranjos produtivos patronais.

Nas regiões onde os municípios e seus vizinhos apresentavam maior área de cultivo de mandioca (regime espacial *high high*), que inclui municípios do Nordeste e do Oeste do Pará, os seguintes fatores também apresentaram valores altos: cultivos associados (feijão) e os diferentes estágios de vegetação secundária (inicial, intermediária e avançada). Os diferentes estágios de vegetação secundária, por sua vez, mostram como a duração do pousio pode ser diferente dentro desse sistema. Por outro lado, esses municípios apresentaram valores baixos para pasto limpo, milho e cacau, indicando uma associação negativa com área colhida de mandioca. Em relação ao cacau, apesar de ter municípios com importante contribuição para o cultivo de cacau, a maioria dos municípios do regime espacial *high high* não tem valores altos para área colhida de cacau, que está mais presente ao redor da Transamazônica, na região de Medicilândia. Já pasto limpo e milho estão associados à pecuária, que ocupa áreas extensivas no Sudeste e Sudoeste do Pará, ao longo da Transamazônica. Portanto, esses fatores estão mais presentes em municípios cujo cultivo de mandioca

não apresenta valores altos, assim como no *high high*.

Para a escala local, que engloba os municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos, foram reveladas regiões com diferentes contextos de arranjos espaciais produtivos centrais e foi verificada também distinção entre as regiões no que diz respeito aos indicadores associados ao cultivo de mandioca, sendo elas:

- a) Região 1: região com AGPE e cultivo de mandioca mais expressivos e com maior área. Nessa região, foi observado que a AGPE coexiste com áreas de floresta primária, sendo grande parte delas inseridas na FLONA Tapajós e RESEX Tapajós-Arapiuns. A região tem o menor *acesso potencial aos mercados locais* e menor *infraestrutura de transporte e urbana*, mas possui *regime de terras* aderente a esse sistema produtivo;
- b) Região 2: caracteriza-se por apresentar uma paisagem com áreas abertas de floresta mais recente e com vegetação secundária mais jovem, contando ainda com a uma importante presença de floresta primária. Essa região teve resultados intermediários para *acesso potencial a mercados locais* e *infraestrutura de transporte e urbana*. O *regime de terras* é bastante diverso, influenciado pela presença de projetos de assentamento e minifúndios/ pequenas propriedades;
- c) Região 3: região com AGPE menos expressiva, mas resistindo em meio à forte presença da agricultura de larga escala. Essa região situa-se em uma área com a maior *infraestrutura* e *acesso potencial a mercados locais*, porém a AGPE concorre com áreas de latifúndio, refletindo em um *regime de terras* desfavorável à sua manutenção. Essa região apresenta bastante área de vegetação secundária e maiores áreas desmatadas.

O fato da Região 1 ser a mais preservada e justamente a mais expressiva em área de AGPE e, portanto, de cultivo de mandioca, evidencia que esses sistemas produtivos se integram à paisagem com menor impacto e são capazes de coexistir com a natureza, garantindo a sua reprodução social. Em contrapartida, a Região 3 apresenta-se mais integrada aos mercados locais, porém sua dinâmica espacial desfavorece a AGPE ainda que esse modo de produção persista na paisagem. Nessa região, que apresenta usos da terra mais intensificados, observa-se que também os sistemas de cultivo de mandioca são mais intensificados do ponto de vista da idade da vegetação secundária, ou seja, do tempo de pousio menor nessa região. Portanto, na Região 3, com a chegada da sojicultura, a AGPE perdeu parte de sua área com a conversão

para AGLÉ e parte que se manteve na paisagem passou a ter sistemas produtivos mais intensificados.

Estudar esses modos de produzir por meio de múltiplas escalas é fundamental. Neste estudo, evidenciou-se a necessidade de uma análise transversal nos diferentes contextos de paisagem, capaz de revelar os sistemas responsáveis pelo cultivo de mandioca e suas características. Essas unidades espaciais demandam políticas públicas de ampla aplicação, mas também políticas diferenciadas que atendam a essas características locais e regionais. Esses resultados são importantes para subsidiar políticas públicas que possam fortalecer as cadeias produtivas e contribuir para a inserção e melhoria dos produtos derivados da mandioca na economia local, priorizando a agricultura de pequena escala e reconhecendo sua heterogeneidade espacial e a potencialidade desses sistemas de cultivo.

Um elemento de grande importância e que merece destaque nesse estudo diz respeito ao, aqui denominado, *regime de terras*, ou seja, as políticas com expressão territorial como as unidades de conservação de uso sustentável, projetos de assentamento e minifúndios. O fortalecimento das políticas que criam e asseguram a conservação e o manejo adequado dessas unidades é de grande importância, ajudando a promover a inclusão das populações locais na economia e preservando seus modos de produzir. Entretanto, as políticas devem ir além dessas áreas, abrangendo os pequenos imóveis e devem oferecer suporte econômico e técnico para que todas essas populações se insiram de maneira igualitária nos arranjos produtivos locais. Além de representar uma importante oportunidade na geração de alimentos, possibilita preservar a cultura, os recursos naturais e a qualidade de vida das populações locais. O futuro das regiões deve ser criado por meio de uma economia com protagonismo da agricultura de pequena escala: é preciso reconhecer que existe uma economia longa e pensar em como torná-la visível e fortalecê-la, a partir de soluções locais. É preciso pensar a Amazônia a partir da Amazônia.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFFONSO, A. G.; ESCADA, M. I. S.; AMARAL, S.; SOUZA, A. R.; SIQUEIRA, J. M.; TORRES, N. C.; CAMILOTTI, V. L.; DAL'ASTA, A. P.; COSTA, L. C. O.; SOARES, F. da R. **As comunidades ribeirinhas do Baixo Tapajós (PA): infraestrutura, mobilidade, serviços sócio ambientais e conectividade**. 2016. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3M7C69L?ibiurl.language=pt-BR>>. Acesso em: 24 fev. 2021. 8, 13, 46, 64, 78, 79, 83
- ALMEIDA, C. A.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; ADAMI, M.; VENTURIERI, A.; DINIZ, C. G.; DESSAY, N.; DURIEUX, L.; GOMES, A. R. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, v. 46, p. 291 – 302, 09 2016. ISSN 0044-5967. Disponível em: <[www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0044-59672016000300291&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672016000300291&nrm=iso)>. 1, 14, 16
- ALVES, D. S.; ESCADA, M. I. S.; PEREIRA, J. L. G.; LINHARES, C. A. Land use intensification and abandonment in Rondônia, Brazilian Amazônia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 4, p. 899–903, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/0143116021000015807>>. 4, 12
- ALVES-PEREIRA, A.; CLEMENT, C. R.; PICANÇO-RODRIGUES, D.; VEASEY, E. A.; DEQUIGIOVANNI, G.; RAMOS, S. L. F.; PINHEIRO, J. B.; ZUCCHI, M. I. Patterns of nuclear and chloroplast genetic diversity and structure of manioc along major Brazilian Amazonian rivers. **Annals of Botany**, v. 121, n. 4, p. 625–639, 01 2018. ISSN 0305-7364. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/aob/mcx190>>. 7, 8
- ALVES, R. N. B.; HOMMA, A. K. O.; LOPES, O. M. N. **O método de parcagem como alternativa agroecológica para a integração agricultura/pecuária da produção familiar do Sudeste Paraense**. Belém, PA: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2005. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/19059/1/Doc-220.pdf>>. 51
- AMARAL, S.; ESCADA, M. I. S.; ANDRADE, P. R.; ALVES, P. A.; PINHEIRO, T. F.; PINHO, C. M. D.; MEDEIROS, L. C. C.; SAITO, E. A.; RABELO, T. N. **Da canoa à rabeta: estrutura e conexão das comunidades ribeirinhas no Tapajós (PA)**. Pesquisa de campo Jun/Jul de 2009. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2009. 30 p. Disponível em:

<<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP8W/3637K42>>. Acesso em: 28 mar. 2021. 46, 64, 69, 79

ANSELIN, L. Exploratory spatial data analysis and geographic information systems. **New Tools for Spatial Analysis**, v. 17, p. 45–54, 1994. 18, 21

\_\_\_\_\_. Local Indicators of Spatial Association—LISA. **Geographical Analysis**, v. 27, n. 2, p. 93–115, 1995. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>>. 21, 22, 38

\_\_\_\_\_. **Exploring spatial data with GeoDa TM: a workbook**. Urbana: Center for spatially integrated social science, 2005. 244 p. 23, 24, 25, 39

ANSELIN, L.; BERA, A. K. Spatial dependence in linear regression models with an introduction to spatial econometrics. In: \_\_\_\_\_. **Handbook of applied economic statistics**. [S.l.]: CRC Press, 1998. p. 237–290. ISBN 9780824701291. 22, 23, 24

ASSUNÇÃO, R. M.; NEVES, M. C.; CÂMARA, G.; FREITAS, C. C. Efficient regionalization techniques for socio-economic geographical units using minimum spanning trees. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20, n. 7, p. 797–811, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/13658810600665111>>. 25, 26

BAILEY, T. C.; GATRELL, A. C. **Interactive spatial data analysis**. Harlow: Longman, 1995. ISBN 978-0582244931. 19, 20, 21, 27

BARBOSA, M. S.; SANTOS, M. A. S. dos; SANTANA, A. C. de. Análise socioeconômica e tecnológica da produção de feijão-caupi no município de Tracuateua, Nordeste Paraense. **Amazônia: Ciência Desenvolvimento**, Belém, v. 5, p. 7–26, 2010. 55

BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, p. 71 – 86, 04 2005. ISSN 0103-4014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142005000100005&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142005000100005&nrm=iso)>. 30

BENATTI, J.; CASTRO, E.; HURTIENNE, T.; SANTOS, R.; PORTELA, R. Questão fundiária e sucessão da terra na fronteira Oeste da Amazônia. **Novos Cadernos NAEA**, v. 11, 12 2008. 30

BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 65, n. 1, p. 2–16, 2010. ISSN

0924-2716. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271609000884>>. 18, 43

BLASCHKE, T.; LANG, S.; LORUP, E.; STROBL, J.; ZEIL, P. Object-oriented image processing in an integrated gis/remote sensing environment and perspectives for environmental applications. **Environmental Information for Planning, Politics and the Public**, v. 2, p. 555–570, 2000. 18

BOSERUP, E. **Evolução agrária e pressão demográfica**. São Paulo: Hucitec e Polis, 1972. ISBN 85-271-0020-7-Hucitec. 3, 11, 12

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Unidades de Conservação do Brasil**. 2018. Disponível em: <<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>>. Acesso em: 22 mar. 2020. 32, 59

\_\_\_\_\_. **Geo catálogo**. 2020. Disponível em: <<http://geocatalogo.mma.gov.br/>>. Acesso em: 04 abr. 2021. 18

\_\_\_\_\_. **O que são unidades de conservação**. 2020. Disponível em: <[www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/o-que-sao.html](http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/o-que-sao.html)>. Acesso em: 10 jun. 2020. 3, 13

\_\_\_\_\_. **SICAR imóveis**. Brasil: Ministério do Meio Ambiente, 2021. Lei 12.651/2012. Disponível em: <<https://www.car.gov.br/publico/municipios/downloads?sigla=PA>>. Acesso em: 15 mar. 2021. 46

BRONDIZIO, E. S. Agriculture intensification, economic identity, and shared invisibility in amazonian peasantry: caboclos and colonists in comparative perspective. **Culture & Agriculture**, v. 26, n. 1-2, p. 1–24, 2004. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1525/cag.2004.26.1-2.1>>. 3

CAMILOTTI, V. L.; PINHO, P.; BRONDÍZIO, E. S.; ESCADA, M. I. S. The importance of forest extractive resources for income generation and subsistence among caboclos and colonists in the Brazilian Amazon. **Human Ecology**, v. 48, p. 17–31, 2020. 3, 12, 79, 83

CARDOSO, F.; MÜLLER, G. Apanhado histórico do povoamento e seus aspectos econômicos e políticos. In: \_\_\_\_\_. **Amazônia: expansão do capitalismo**. Rio de

Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2008. p. 10–28. ISBN 9788599662731. 30

CARDOSO, L. F. C. "O suor marca a terra": trabalho, direito e território quilombola na Ilha do Marajó, Pará. **Ambiente & Sociedade**, v. 18, p. 77–96, Jun. 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/asoc/a/K34NFQVcgK7TscdJfJn CZHP/abstract/?lang=pt>>. 60

CARVALHO, R.; ADAMI, M.; AMARAL, S.; BEZERRA, F. G.; DE AGUIAR, A. P. D. Changes in secondary vegetation dynamics in a context of decreasing deforestation rates in Pará, Brazilian Amazon. **Applied Geography**, v. 106, p. 40 – 49, 2019. ISSN 0143-6228. Disponível em: <[www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622818307100](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622818307100)>. 31, 51, 54, 56

CAVIGLIA-HARRIS, J. L. Cattle accumulation and land use intensification by households in the Brazilian Amazon. **Agricultural and Resource Economics Review**, v. 34, n. 2, p. 145–162, 2005. 12, 59

CHAVES, R. S. Tipos de solo e a orientação para o mercado influenciam na escolha das variedades de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) nos sistemas de produção do Baixo Rio Tapajós, Pará. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2016. Disponível em: <<http://bdtd.inpa.gov.br/handle/tede/2277>>. 7

CHISTE, R. C.; COHEN, K. O.; MATHIAS, E. A.; OLIVEIRA, S. S. Quantificação de cianeto total nas etapas de processamento das farinhas de mandioca dos grupos seca e d'água. **Acta Amazonica**, v. 40, p. 221 – 226, 03 2010. ISSN 0044-5967. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0044-59672010000100028&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672010000100028&nrm=iso)>. 8

COELHO, A.; AGUIAR, A.; TOLEDO, P.; ARAÚJO, R.; CANTO, O.; FOLHES, R.; ADAMI, M. Rural landscapes and agrarian spaces under soybean expansion dynamics: a case study of the Santarém region, Brazilian Amazonia. **Regional Environmental Change**, v. 21, n. 4, out. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10113-021-01821-y>>. 78, 84

CORDEIRO, I. M. C. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; SCHWARTZ, G.; COSTA, F. A. **Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias**. Belém: EDUFRA, 2017. ISBN 978-85-7295-118-0.

Disponível em: <<http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/296/1/Panorama%20geral%20e%20uso%20sustent%C3%A1vel%20das%20florestas%20secund%C3%A1rias.o.pdf>>. 51, 54

COSTA, F. A. **Formação agropecuária da Amazônia**. 2. ed. Belém: Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, 2012. ISBN 978-85-7143-098-3. 1

\_\_\_\_\_. Contributions of fallow lands in the Brazilian Amazon to CO2 balance, deforestation and the agrarian economy: inequalities among competing land use trajectories. **Elementa: Science of the Anthropocene**, v. 4, 2016. ISSN 2325-1026. 000133. Disponível em: <<https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000133>>. 2, 4, 9, 11

CUNHA, E. F. M.; FARIAS NETO, J. T. Melhoramento genético da mandioca no Estado do Pará. In: MODESTO JUNIOR, M. S.; ALVES, R. N. B. (Ed.). **Cultura da mandioca: aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria**. Brasília: EMBRAPA, 2016. v. 1. 8

DAL´ASTA, A. P.; SOUZA, A. R.; PINHO, C. M. D.; SOARES, F. R.; REGO, G. F. J.; SIQUEIRA, J. M.; ESCADA, M. I. S.; BRIGATTI, N.; AMARAL, S.; CAMILOTTI, V. L.; DÓRIA, V. E. M. **As comunidades de terra firme do sudoeste do Pará: população, infraestrutura, serviços, uso da terra e conectividades**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2014. 96 p. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP5W34M/3GSJS3L>>. Acesso em: 7 nov. 2020. 13, 32, 46, 64

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004. ISBN 85-7383-260-6. Disponível em: <[www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/)>. 19, 21, 24

DUNN, O. J. Multiple comparisons using rank sums. **Technometrics**, v. 6, n. 3, p. 241–252, 1964. 50

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Análises gráficas dos principais produtos agropecuários do Estado do Pará: Cultura da Mandioca**. Pará, 2018. Disponível em: <[www.embrapa.br/congresso-de-mandioca-2018/mandioca-em-numeros](http://www.embrapa.br/congresso-de-mandioca-2018/mandioca-em-numeros)>. Acesso em: 22 mar. 2020. 38

ESCADA, M. I. S. **Evolução de padrões de uso e cobertura da terra na Região Centro-Norte de Rondônia**. 264 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2003. Disponível em:

<<http://urlib.net/ibi/6qtX3pFwXQZ3P8SECKy/yBuGo>>. Acesso em: 05 dez. 2021. 4

ESCADA, M. I. S.; DAL'ASTA, A. P.; SOARES, F. da R.; ANDRADE, P. R.; PINHO, C. M. D. de; MEDEIROS, L. C. de C.; CAMILOTTI, V. L.; SANTOS, J. N. A. dos; FERREIRA, V. C.; AMARAL, S. **Relatório técnico de atividade de campo - Projeto UrbisAmazônia e Projeto Cenários para a Amazônia: uso da terra, biodiversidade e clima**. São José dos Campos, 2013. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3E2NF9P>>. Acesso em: 22 mar. 2020. 34, 46, 64, 79

ESCADA, M. I. S.; DAL'ASTA, A. P.; SOARES, F. R.; ANDRADE, P. R.; PINHO, C. M. D.; MEDEIROS, L. C. C.; CAMILOTTI, V. L.; SANTOS, J. N. A.; FERREIRA, V. C.; AMARAL, S. **Infraestrutura, serviços e conectividade das comunidades ribeirinhas do Arapiuns, PA**. São José dos Campos: INPE, 2012. 123 p. Disponível em: <<http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2013/04.29.14.32/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2021. 78, 83

FEARNSIDE, P. H. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. In: **Destruição e Conservação da Floresta Amazônica**. Manaus: INPA, 2020. p. 265–272. ISBN 978-85-211-0193-2. (no prelo). Disponível em: <[http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/2019/Destruiacao-v1/Cap-14-Dinamica\\_Impactos\\_e\\_controle-prova.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2019/Destruiacao-v1/Cap-14-Dinamica_Impactos_e_controle-prova.pdf)>. 31

FIALHO, J. F.; VIEIRA, E. A. **Mandioca no cerrado: orientações técnicas**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2011. 201 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/896924>>. 9, 10

FIGUEIREDO, A. R. **Nos corpos e nos territórios: impactos do agronegócio de soja e milho em Belterra-PA**. 226 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) — Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <[https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/54841/ve\\_Annylise\\_Rosenthal\\_Figueiredo\\_ENSP\\_dout\\_2022.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/54841/ve_Annylise_Rosenthal_Figueiredo_ENSP_dout_2022.pdf?sequence=2&isAllowed=y)>. 80, 84

FILGUEIRAS, G. C.; HOMMA, A. K. O. Aspectos socioeconômicos da mandioca na Região Norte. In: MODESTO JUNIOR, M. S.; ALVES, R. N. B. (Ed.).

**Cultura da mandioca: aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria.** Brasília: EMBRAPA, 2016. v. 1. 2, 9

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Save and grow: Cassava, a guide to sustainable production intensification.** Roma, 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/i3278e/i3278e.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2020. 7

FREITAS, E. P. F.; NOVAIS, J. S.; SILVA, D. W.; LAUER-LEITE, I. D. Sociobiodiversidade e alimentação em uma comunidade ribeirinha da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Baixo Amazonas. **Mundo Amazônico**, v. 13, n. 2, p. 77–97, jun. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.15446/ma.v13n2.100014>>. 83

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento digital de imagens.** 3. ed. São Paulo: Pearson, 2009. ISBN 978-8576054016. 18

GUSMÃO, L.; HOMMA, A. K. O.; WATRIN, O. S. Análise cartográfica da concentração do cultivo de mandioca no Estado do Pará, Amazônia brasileira. **Geografia, Ensino Pesquisa**, v. 20, p. 51–62, 01 2017. 38

HAESBAERT, R. **Território e descolonialidade: sobre o giro (multi)territorial/de(s)colonial na América Latina.** Ciudad Autónoma de Buenos Aires: CLACSO, 2021. 396 p. ISBN 978-987-722-832-8. Disponível em: <<http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/se/20210219014514/Territorio-decolonialidade.pdf>>. 84

HEINRICH, V. H. A.; DALAGNOL, R.; CASSOL, H. L. G.; ROSAN, T. M.; ALMEIDA, C. T.; SILVA JUNIOR, C. H. L.; CAMPANHARO, W. A.; HOUSE, J. I.; SITCH, S.; HALES, T. C.; ADAMI, M.; ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C. Large carbon sink potential of secondary forests in the Brazilian Amazon to mitigate climate change. **Nature Communications**, v. 12, n. 1785, 2021. 2, 55

HEREDIA, B.; MEDEIROS, L.; LOPES, J. S. L.; PALMEIRA, M.; CINTRÃO, R. **Os impactos regionais da reforma agrária: um estudo sobre áreas selecionadas.** 1. ed. Bordeaux: Lusotopie, 2003. 59 -90 p. Disponível em: <[https://www.persee.fr/doc/luso\\_1257-0273\\_2003\\_num\\_10\\_1\\_1543](https://www.persee.fr/doc/luso_1257-0273_2003_num_10_1_1543)>. 58

HOMMA, A. K. O. **Sinergias de mudança da agricultura amazônica: conflitos e oportunidades**. Brasília: EMBRAPA, 2022. 487 p. ISBN 8-65-89957-00-3. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1143078>>. 56

IMAZON. **ImazonGeo: Geoinformação sobre a Amazônia**. 2022. Disponível em: <<https://imazongeo.org.br/#/>>. Acesso em: 18 jun. 2022. 48

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário**. 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>>. Acesso em: 18 out. 2020. 2, 29, 31, 34, 35, 37, 55, 56, 57, 59, 115, 118

\_\_\_\_\_. **Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil 2016 - 2018**. 2020. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101703.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2021. 1, 14, 15, 16

\_\_\_\_\_. **Produção Agrícola Municipal**. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=conceitos-e-metodos>>. Acesso em: 18 jan. 2023. 38

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Acervo fundiário: Estado do Pará**. 2020. Disponível em: <[http://certificacao.incra.gov.br/csv\\_shp/export\\_shp.py](http://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py)>. Acesso em: 20 jun. 2020. 13, 32, 58, 59, 60

\_\_\_\_\_. **Classificação do imóvel rural**. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/modulo-fiscal>>. Acesso em: 20 jun. 2022. 46

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **PRODES - Amazônia**. São José dos Campos: MMA, IBAMA, MCTIC, 2019. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>. Acesso em: 18 out. 2020. 42

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. São José dos Campos: MMA, IBAMA, MCTIC, 2022. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>>. Acesso em: 18 jun. 2022. 31

- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE); EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **TerraClass Amazônia**. 2014. Disponível em: <[www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/terraclass2014.php](http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php)>. Acesso em: 22 mar. 2020. 30, 33, 51, 57, 115, 118
- \_\_\_\_\_. **TerraClass**. 2018. São José dos Campos. Disponível em: <[http://www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/terraclass2014.php](http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php)>. Acesso em: 18 out. 2020. 15
- JAKOVAC, C. C.; DUTRIEUX, L. P.; SITI, L.; PEÑA-CLAROS, M.; BONGERS, F. Spatial and temporal dynamics of shifting cultivation in the middle-Amazonas river: Expansion and intensification. **PLOS ONE**, v. 12, n. 7, p. 1–15, 07 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181092>>. 3, 4, 12
- JAKOVAC, C. C.; PEÑA-CLAROS, M.; KUYPER, T. W.; BONGERS, F. Loss of secondary-forest resilience by land-use intensification in the Amazon. **Journal of Ecology**, v. 103, n. 1, p. 67–77, 2015. Disponível em: <<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1365-2745.12298>>. 12
- JAKOVAC, C. C.; PEÑA-CLAROS, M.; MESQUITA, R. C.; BONGERS, F.; KUYPER, T. W. Swiddens under transition: consequences of agricultural intensification in the Amazon. **Agriculture, Ecosystems Environment**, v. 218, p. 116–125, 2016. ISSN 0167-8809. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880915301481>>. 79
- JUNQUEIRA, A.; ALMEKINDERS, C.; STOMPH, T. J.; CLEMENT, C.; STRUIK, P. The role of amazonian anthropogenic soils in shifting cultivation: Learning from farmers' rationales. **Ecology and Society**, v. 21, 03 2016. 3, 12, 13
- KATO, O.; KATO, M. S.; SÁ, T. A.; FIGUEIREDO, R. **Plantio direto na capoeira**. Dez. 2004. 99–111 p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/172735/1/Plantio-direto.pdf>>. 9, 12
- LABORATÓRIO DE INVESTIGAÇÃO EM SISTEMAS SOCIOAMBIENTAIS (LISS). **Dados de campo: pontos georreferenciados de plantação de mandioca no Pará**. São José dos Campos: LiSS, 2014. 64
- LAGE, J. P.; ASSUNÇÃO, R. M.; REIS, E. A. A minimal spanning tree algorithm applied to spatial cluster analysis. **Electronic Notes in Discrete Mathematics**, v. 7, p. 162–165, 2001. ISSN 1571-0653. Brazilian Symposium on

- Graphs, Algorithms and Combinatorics. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1571065304002501>>. 25, 26
- LAUE, J. E.; ARIMA, E. Y. Spatially explicit models of land abandonment in the Amazon. **Journal of Land Use Science**, v. 11, n. 1, p. 48–75, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/1747423X.2014.993341>>. 2, 54
- LÉLIS, F.; OLIVEIRA, F. A.; AMIN, M. M.; BELTRÃO, N. E. S.; ANDRADE, V. M. S. Dimensões do uso e cobertura da terra nas mesorregiões do estado do Pará. **Espacios**, v. 37, n. 5, p. 6, 2016. ISSN 07981015. Disponível em: <<https://www.revistaespacios.com/a16v37n05/16370505.html>>. 30, 32
- LENNOX, G. D.; GARDNER, T. A.; THOMSON, J. R.; FERREIRA, J.; BERENQUER, E.; LEES, A. C.; NALLY, R. M.; ARAGÃO, L. E. O. C.; FERRAZ, S. F. B.; LOUZADA, J.; MOURA, N. G.; OLIVEIRA, V. H. F.; PARDINI, R.; SOLAR, R. R. C.; MELLO, F. Z. Vaz-de; VIEIRA, I. C. G.; BARLOW, J. Second rate or a second chance? Assessing biomass and biodiversity recovery in regenerating Amazonian forests. **Global Change Biology**, v. 24, n. 12, p. 5680–5694, 2018. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.14443>>. 55
- LOUREIRO, V. R.; PINTO, J. N. A. A questão fundiária na Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, p. 77 – 98, 08 2005. ISSN 0103-4014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142005000200005&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142005000200005&nrm=iso)>. 30
- MA, L.; LI, M.; MA, X.; CHENG, L.; DU, P.; LIU, Y. A review of supervised object-based land-cover image classification. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 130, p. 277–293, 2017. ISSN 0924-2716. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092427161630661X>>. 18, 43
- MAPBIOMAS. **Plataforma de mapas e dados**. 2021. Nota de precaução. Disponível em: <<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>>. Acesso em: 02 mar. 2021. 14
- MATIAS, M. R. **Cartografias da agricultura urbana: contribuições ao planejamento territorial na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte**. 113 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2022.

Disponível em: <<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34T/47FR3A2>>. Acesso em: 20 mar. 2022. 46

MATTOS, P. L. P.; CARDOSO, E. M. R. **Cultivo da mandioca para o estado do Pará**. Belém, 2003. Disponível em: <[https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca\\_para/index.htm](https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_para/index.htm)>. Acesso em: 24 fev. 2021. 8

MODESTO JUNIOR, M. S.; ALVES, R. N. B.; FIGUEIREDO, L. A. Rentabilidade do beneficiamento de folhas de mandioca e de maniçoba para maniçoba. In: MODESTO JUNIOR, M. S.; ALVES, R. N. B. (Ed.). **Mandioca: agregação de valor e rentabilidade de negócios**. Brasília: EMBRAPA, 2019. v. 1. 8, 9

MODESTO JÚNIOR, M. S.; ALVES, R. N. B. **Cultura da mandioca**. Belém, PA: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/112346/1/Apostila-Mandioca.pdf>>. 9, 15, 55

MODESTO JÚNIOR, M. S.; ALVES, R. N. B.; BEZERRA, V. S.; MELÉM JÚNIOR, N. J. **Sistema de produção de mandioca da comunidade quilombola de Gurupá, Pará**. Belém, PA: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2019. ISSN 1983-0513. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/amazonia-oriental/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1105951/sistema-de-producao-de-mandioca-da-comunidade-quilombola-de-gurupa-para>>. 9

MODESTO JÚNIOR, M. S.; ALVES, R. N. B.; SILVA, E. S. A. Produtividade de mandioca cultivada por agricultores familiares na região dos lagos, município de Tracuateua, estado do Pará. **Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, Belém, v. 11, p. 57–67, 2012. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/920557/1/n12produtividademandioca.pdf>>. 55

MORAN, E. F.; BRONDIZIO, E. S.; TUCKER, J. M.; SILVA-FORSBERG, M. C.; MCCracken, S.; FALESI, I. Effects of soil fertility and land-use on forest succession in Amazônia. **Forest Ecology and Management**, v. 139, n. 1, p. 93–108, 2000. ISSN 0378-1127. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112799003370>>. 2

MOUTINHO, P.; LUI, G.; LAURETO, L.; PANTOJA, E. O fim do desmatamento ilegal na Amazônia brasileira: ferramentas e estratégias no combate à grilagem em

terras públicas. In: GRAÇA, C. S. (Ed.). **Combate aos crimes ambientais: orientações para atuação do Ministério Público na Amazônia Legal**. Belo Horizonte, MG: Abrampa, 2022. p. 167 – 196. ISBN 978-65-991329-3-3. 82

NASCIMENTO, A. A. C. **Mudança e inovação camponesa: a economia da maniva (*Manihoc utilíssima* Crantz) na comunidade de Tracuateua da Ponta, Santo Antônio do Tauá - PA**. 103 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento) — Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, 2019. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/11944>>. 8

NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; CRISTINA BARROS, A.; ALENCAR, A.; PAULO CAPOBIANCO, J.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; LOPES SILVA, U.; PRINS, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management**, v. 154, n. 3, p. 395–407, 2001. ISSN 0378-1127. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112701005114>>. 12

NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M. H. **Applied linear statistical models**. Illinois: Richard D. Irwin, 1983. ISBN 0-256-02547-9. Disponível em: <<https://www.ime.unicamp.br/~dias/John%20Neter%20Applied%20linear%20regression%20models.pdf>>. 22

NEVES, M. C. **Procedimentos eficientes para a regionalização de unidades socioeconômicas em bancos de dados geográficos**. Tese (Doutorado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2003. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2004/02.20.17.21/doc/publicacao.pdf>>. 44

NICOLI, C. M. L.; CRAVO, M. S.; HOMMA, A. K. O.; FERREIRA, C. A. P. Análise econômica de sistemas de produção de feijão-caupi e mandioca no nordeste paraense. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI. **Anais...** EMBRAPA, 2006. 55

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blücher, 2014. ISBN 978-85-212-0540-1. 1, 17

OESTREICHER, J. S.; FARELLA, N.; PAQUET, S.; DAVIDSON, R.; LUCOTTE, M.; MERTENS, F.; SAINT-CHARLES, J. Livelihood activities and land-use at a riparian frontier of the Brazilian Amazon: quantitative characterization and qualitative insights into the influence of knowledge, values,

and beliefs. **Human Ecology**, v. 42, n. 4, p. 521–540, jun. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10745-014-9667-3>>. 14

OLIVEIRA, C. W. A.; COSTA, J. A. V.; FIGUEIREDO, G. M.; MORAES, A. R.; CARNEIRO, R. B.; SILVA, I. B. **Arranjos produtivos locais e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2017. ISBN 978-85-7811-310-0. 1

PACHECO, F. D.; MATIAS, M. R.; SILVA, G. M.; SOUZA, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; ESCADA, M. I. S. Image classification methods assessment for identification of small-scale agriculture in Brazilian Amazon. *IARIA*, p. 12 –19, 2021. ISSN 2308-393X. Disponível em: <[https://www.thinkmind.org/index.php?view=article&articleid=geoprocessing\\_2021\\_1\\_40\\_30034](https://www.thinkmind.org/index.php?view=article&articleid=geoprocessing_2021_1_40_30034)>. Acesso em: 11 ago. 2021. 61, 62

PAULA, D. S. **Expansão da agricultura de larga escala na bacia do rio Curuá-Una (PA): dinâmica agrária e suas implicações ambientais**. 134 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2021. Disponível em: <<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34T/45BAN3P>>. Acesso em: 02 out. 2022. 18, 31, 36, 40, 41, 42, 61, 62, 63, 78, 83, 84

PENHA, T.; SILVA, J.; PRADO, R.; FIDALGO, E. Ortoretificação e classificação de imagens dos satélites de alta resolução World View2 e GeoEye. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2013. p. 1379 – 1386. 15

PERZ, S. G.; SKOLE, D. L. Social determinants of secondary forests in the brazilian amazon. **Social Science Research**, v. 32, n. 1, p. 25–60, 2003. ISSN 0049-089X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0049089X02000121>>. 13

PICANÇO, M. N. Comida, consumo e identidade: notas etnográficas por entre os processos migratórios da mandioca; do contexto brasileiro e paraense ao contexto europeu. **Mosaico**, v. 8, n. 13, p. 203–221, 2017. ISSN 2176-8943. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/mosaico/article/view/70658/70314>>. 1

PLANET. **PlanetScope Surface Reflectance Mosaics (Analysis Ready)**. 2019. Disponível em: <[https://api.planet.com./](https://api.planet.com/)>. 62, 71, 72

PORTO, H. C.; ESCADA, M. I. S.; SOUZA, A. R. **Análise da dinâmica de uso e cobertura da terra associada aos sistemas agroflorestais e agrícolas de pequena escala na região do Nordeste do Pará: o período de 2004 a 2016**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2020. 96 p. Disponível em: <<http://mtc-m21c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21c/2021/01.25.13.40/doc/PIBIC%20-%20Helena%20Couto%20Porto%20-%20Relat%c3%b3rio%20Final.pdf>>. Acesso em: 7 mar. 2021. 18

RADOUX, J.; BOGAERT, P.; FASBENDER, D.; DEFOURNY, P. Thematic accuracy assessment of geographic object-based image classification. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 25, n. 6, p. 895–911, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/13658816.2010.498378>>. 43

RAVENA, N.; CARDOSO, A. C. D.; SANTOS, R. C. G.; PERES, J. L. P. Em busca de políticas públicas decoloniais de desenvolvimento: possibilidades na Amazônia Brasileira. **NAU Social**, v. 9, n. 17, out. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufba.br/index.php/nausocial/article/view/31449>>. 80, 81, 84

REIS, M.; ESCADA, M. I. S.; SANT'ANNA, S.; DUTRA, L. Land use and land cover trajectory classification and analysis methods in the amazon: Implications for forest regeneration studies. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, p. 1114, 12 2020. 17

REIS, M. S. **Detection and analysis of forest regeneration trajectories in the Lower Tapajós region**. 222 p. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2022. Disponível em: <<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34T/47E2TRB>>. Acesso em: 02 set. 2022. 12, 45, 68, 70, 78, 83

RIBEIRO FILHO, A. A.; ADAMS, C.; MURRIETA, R. S. S. The impacts of shifting cultivation on tropical forest soil: a review. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 8, p. 693 – 727, 12 2013. ISSN 1981-8122. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1981-81222013000300013&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-81222013000300013&nrm=iso)>. 2, 3

RIBEIRO, T. G.; LIMA, P. V. S. Cidadania, renda e conservação: percepções sobre uma política socioambiental na Amazônia. **Nova Revista Amazônica**,

v. 6, n. 4, p. 193 – 211, 2018. Disponível em:

<<http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/12510>>. 59

RUFIN, P.; BEY, A.; PICOLI, M.; MEYFROIDT, P. Large-area mapping of active cropland and short-term fallows in smallholder landscapes using PlanetScope data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 112, p. 102937, 2022. ISSN 1569-8432. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569843222001340>>. 61

SÁ, M. E. R.; COSTA, S. M. G.; TAVARES, L. P. O rural-urbano em Santarém: interfaces e territórios produtivos. In: CARDOSO, A. C. D. (Ed.). **O rural e o urbano na Amazônia: diferentes olhares em perspectivas**. Belém: EDUFPA, 2006. p. 113 – 157. ISBN 85-247-0348-2. 79, 80, 81

SÁ, T. D. A.; KATO, M. S. A.; KATO, O. R. A dominância das capoeiras na paisagem agrícola da Amazônia. In: HAMMES, V. S. (Ed.). **Percepção do diagnóstico ambiental**. Brasília: EMBRAPA, 2004. p. 155 – 159. ISBN 978-85-7035-019-0. 2, 12

SANSOLO, D. G. Conservation unit, road and territory: an analysis of the relationship between BR 319 and the Igapó-Açú Sustainable Development Reserve, Amazonas, Brazil. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 210–224, Apr. 2020.

Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/46996>>. 59

SANTOS, A. C.; COSTA, I. P. Territory and settlement in the Amazon: the case of the community of Boa Esperança, Santarém (PA). **Amazonia Investiga**, v. 9, n. 31, p. 52–63, Aug. 2020. Disponível em: <<https://amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/1453>>. 78

SANTOS, C. L. M. O.; LAMPARELLI, R. A. C.; FIGUEIREDO, G. K. D. A.; DUPUY, S.; BOURY, J.; LUCIANO, A. C. S.; TORRES, R. S.; MAIRE, G. Classification of crops, pastures, and tree plantations along the season with multi-sensor image time series in a subtropical agricultural region. **Remote Sensing**, v. 11, n. 3, 2019. ISSN 2072-4292. Disponível em:

<<https://www.mdpi.com/2072-4292/11/3/334>>. 62

SANTOS, G. V. S.; ESCADA, M. I. S. **Análise do uso e cobertura da terra associados a atividades produtivas extrativistas e a agricultura de pequena escala: a região de Mocajuba e Cametá, no nordeste do Pará.**

São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2018. 30 p. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34R/42HR5K5>>. Acesso em: 20 mar. 2021. 15

SANTOS, R. A “grilagem 2.0”na era da internet:. **Equidade: Revista Eletrônica de Direito da UEA**, v. 1, n. 1, 2022. ISSN 2675-5394. Disponível em: <<http://periodicos.uea.edu.br/index.php/equidade/article/view/2307>>. 82

SIEGEL, S. **Estadística no paramétrica: aplicada a las ciencias de la conducta**. 4. ed. Mexico: Trillas, 1995. ISBN 968-24-5101-9. 45, 49

SILVA, M. J. S.; MAGNUSSON, W. E.; GIACOMIN, L. L.; GOMES, K. M. A.; PONTES, B. S.; SOUSA, A. M. P. Dinâmica de uso e ocupação territorial em uma unidade de conservação na Amazônia brasileira. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 5, p. 471–481, jun. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2020.005.0043>>. 81, 84

SIVIERO, A.; LESSA, L. S. Agrobiodiversidade de mandioca do Acre. In: SILVA, N. C. A.; COSTA, F. M.; VIDAL, R.; VEASEY, E. A. (Ed.). **Milhos das terras baixas da América do Sul e conservação da agrobiodiversidade no Brasil e no Uruguai**. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020. p. 224–237. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126528/agrobiodiversidade-de-mandioca-do-acre>>. 9, 55

SOARES-FILHO, B.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; CERQUEIRA, G.; DIAZ, M. C. V.; RIVERO, S.; SOLÓRZANO, L.; VOLL, E. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém–Cuiabá corridor. **Global Change Biology**, v. 10, n. 5, p. 745–764, 2004. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1529-8817.2003.00769.x>>. 12

SOUZA, A. R. **Economia e natureza: padrões de uso e cobertura da terra associados a atividades agropecuárias e extrativistas de comunidades do Sudoeste do Pará**. 194 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3M8SD78>>. 1, 3, 4, 14, 15, 31, 32, 34, 44, 47, 69, 79

- SOUZA, A. R.; ESCADA, M. I. S.; MARUJO, R. F. B.; MONTEIRO, A. M. V. Cartografia do invisível: revelando a agricultura de pequena escala com imagens rapideye na região do Baixo Tocantins, PA. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 38, p. 137–153, dez. 2019. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/151603>>. 1, 15, 16, 18, 41, 61
- SOUZA, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; OLIVEIRA, S. W.; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E. J.; LENTI, F. E. B.; PATERNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J. V.; VIERA, J. L.; NETO, L. C. F.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO, M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V. V.; AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, 2020. ISSN 2072-4292. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2735>>. 1, 14, 15, 16
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat collection 2 surface reflectance**. 2019. Disponível em: <[https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-surface-reflectance?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-surface-reflectance?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)>. Acesso em: 18 nov. 2020. 36, 41
- VAN VLIET, N.; ADAMS, C.; VIEIRA, I. C. G.; MERTZ, O. Slash and burn and shifting cultivation systems in forest agriculture frontiers from the Brazilian Amazon. **Society Natural Resources**, v. 26, n. 12, p. 1454–1467, dez. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/08941920.2013.820813>>. 79
- VILPOUX, O. Desempenho dos arranjos institucionais e minimização dos custos de transação: transação entre produtores e fecculárias de mandioca. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, p. 271 – 294, 06 2011. ISSN 0103-2003. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-20032011000200001&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032011000200001&nrm=iso)>. 13
- ZANOTTA, D.; FERREIRA, M. P.; ZORTEA, M. **Processamento de imagens de satélite**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. ISBN 978-85-7975-316-9. 18



## APÊNDICE A - DIAGNÓSTICO DA ANÁLISE DE RESÍDUOS

A identificação dos fatores associados ao cultivo de mandioca ocorreu por meio da análise de regressão múltipla. Foram construídos modelos para os regimes espaciais, por meio dos quais foi possível identificar as variáveis atuantes em cada regime espacial, bem como o poder explicativo ( $R^2$ ) do fenômeno estudado. A análise dos resíduos dos modelos para os regimes espaciais pode ser observada nas tabelas a seguir.

Figura A.1 - Análise de resíduos: High high completo.

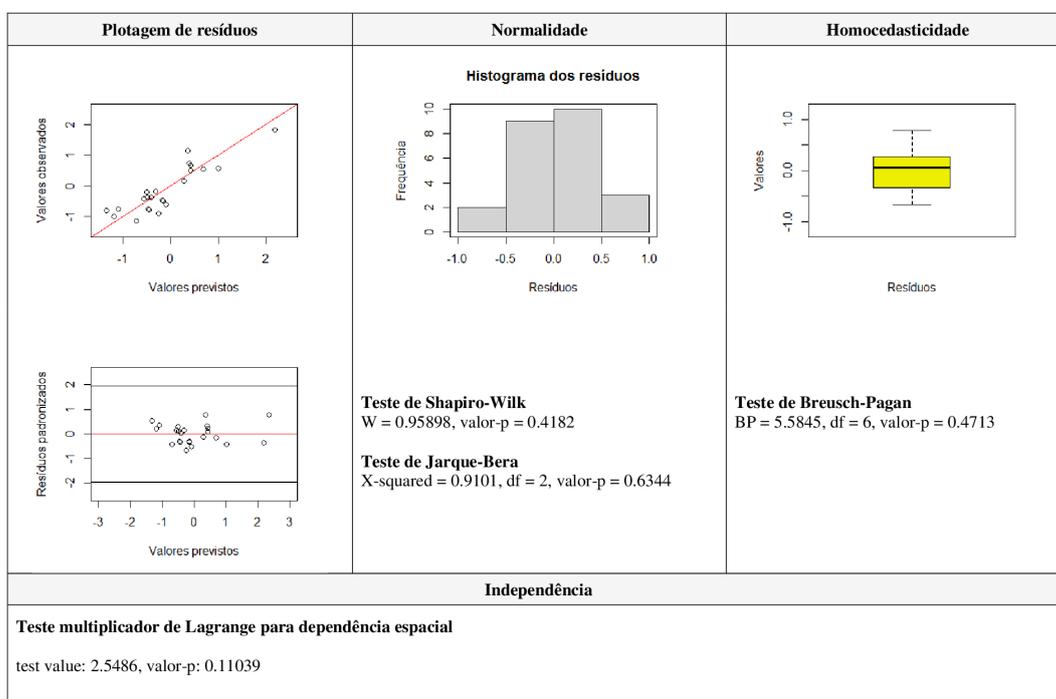


Figura A.2 - Análise de resíduos: High high Nordeste.

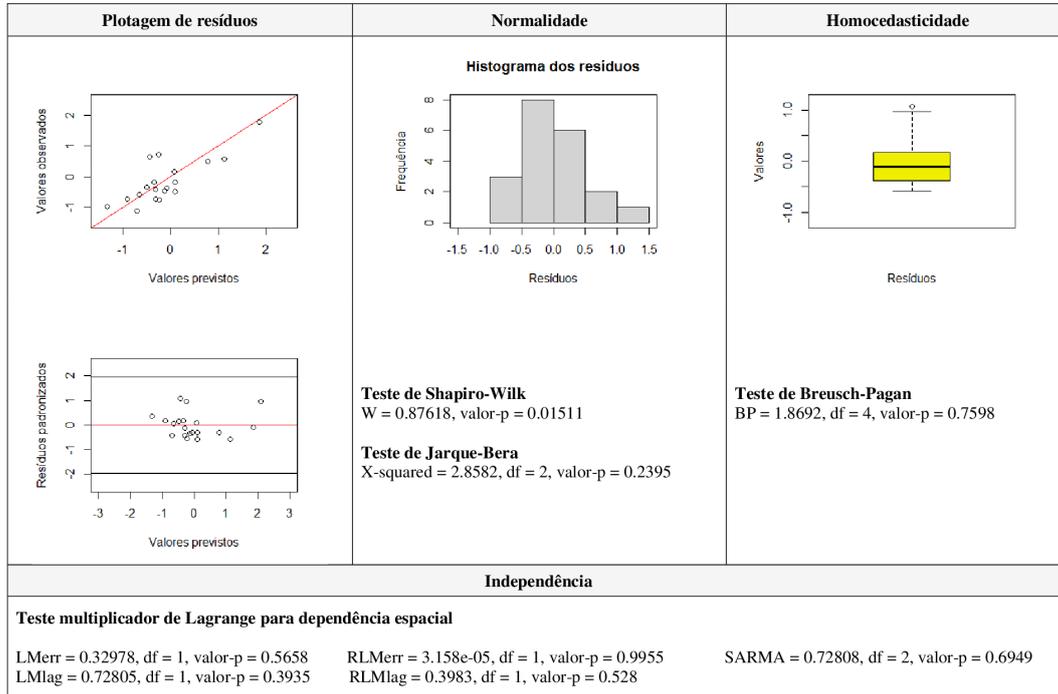


Figura A.3 - Análise de resíduos: Low low completo.

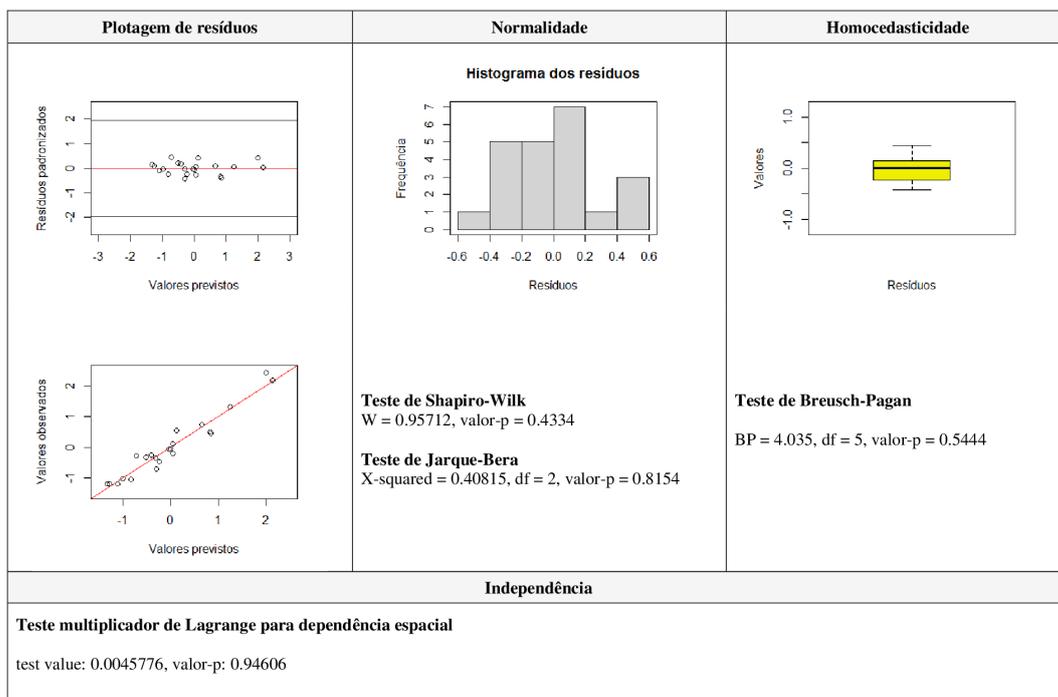


Figura A.4 - Análise de resíduos: Low low Sudeste.

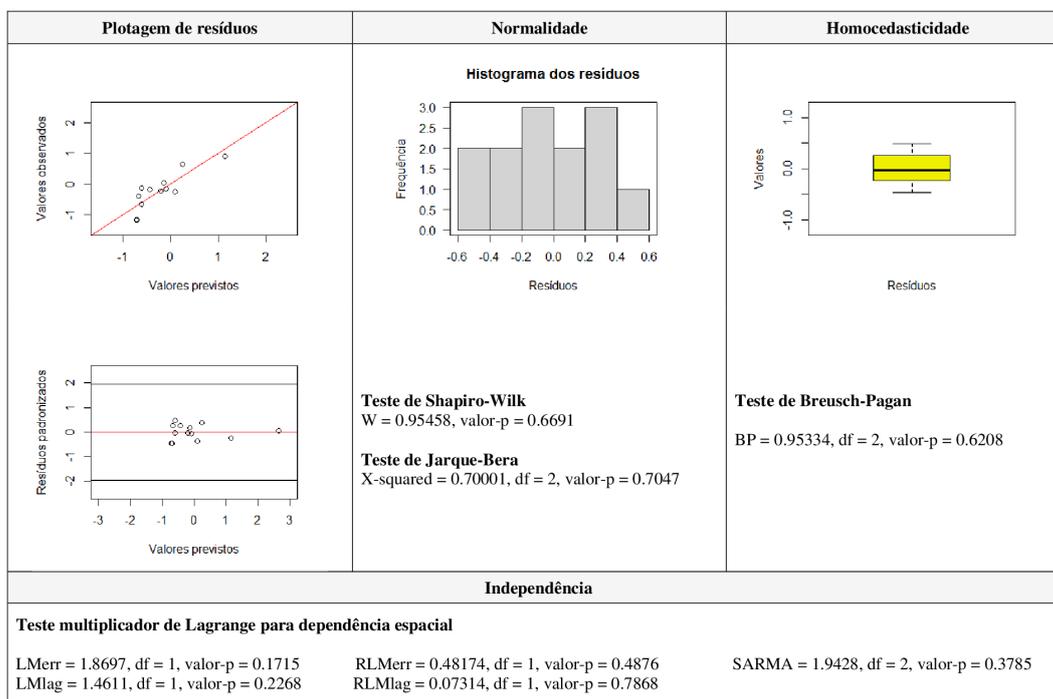
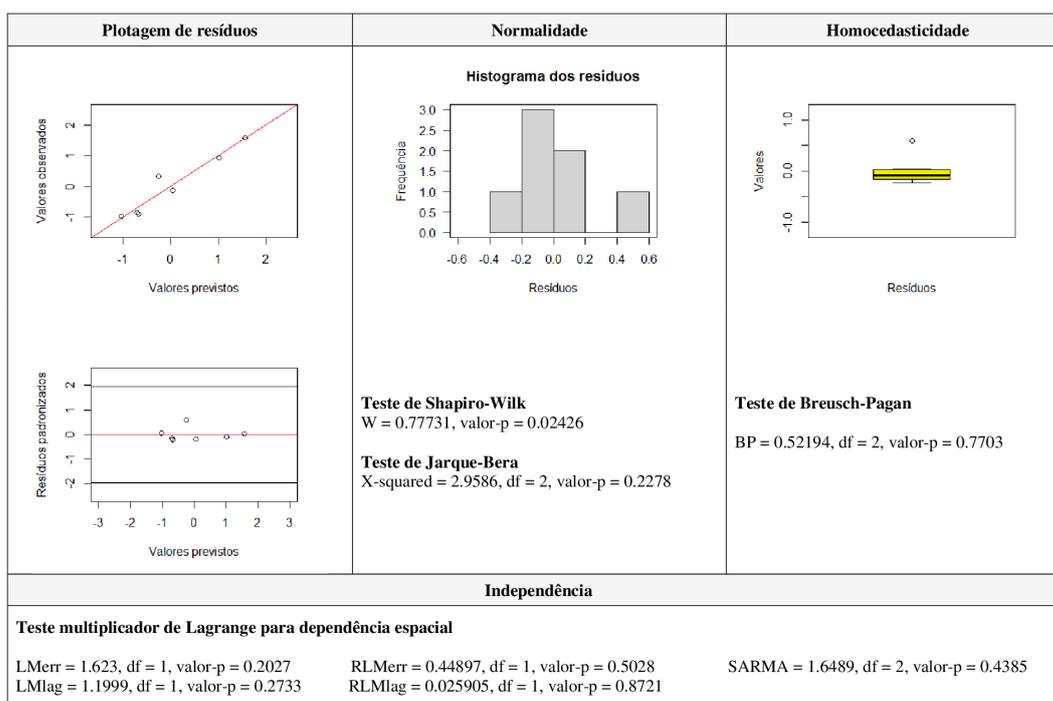


Figura A.5 - Análise de resíduos: Low low Marajó.

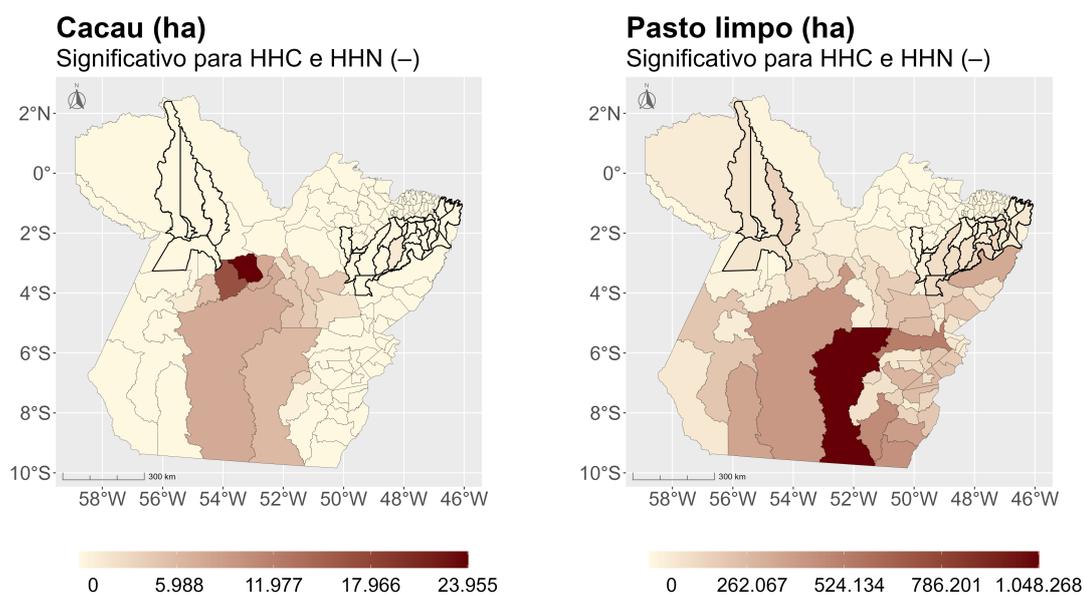




## APÊNDICE B - ESPACIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS NOS MODELOS DE REGIMES ESPACIAIS

A espacialização das variáveis significativas para os regimes espaciais *high high* é apresentada a seguir. Estão destacados todos os municípios que fazem parte desse regime espacial, incluindo o regime completo (HHC) e Nordeste (HHN).

Figura B.1 - Espacialização das variáveis significativas para o regime espacial *high high*.



(continua)

Figura B.1 - Continuação.

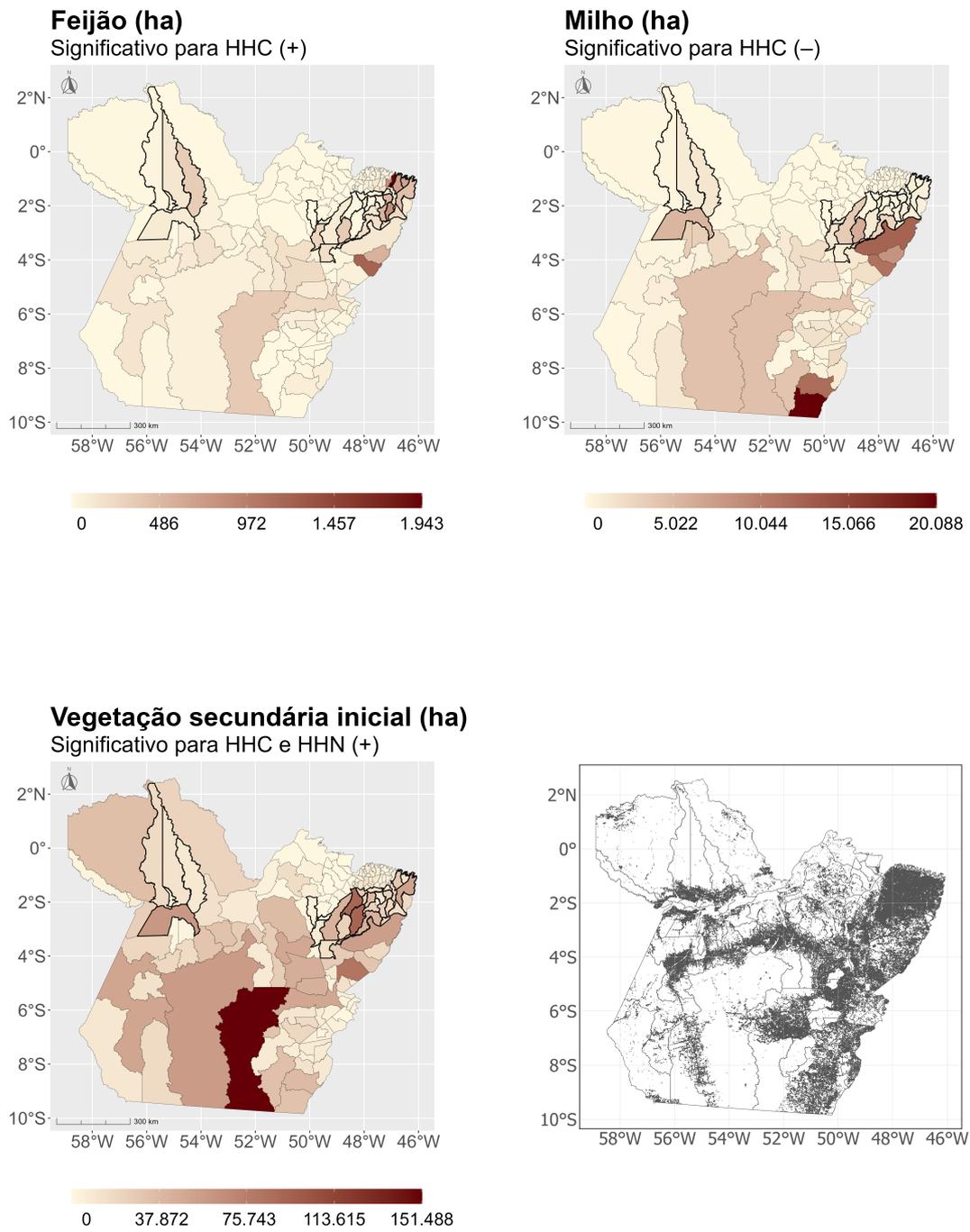
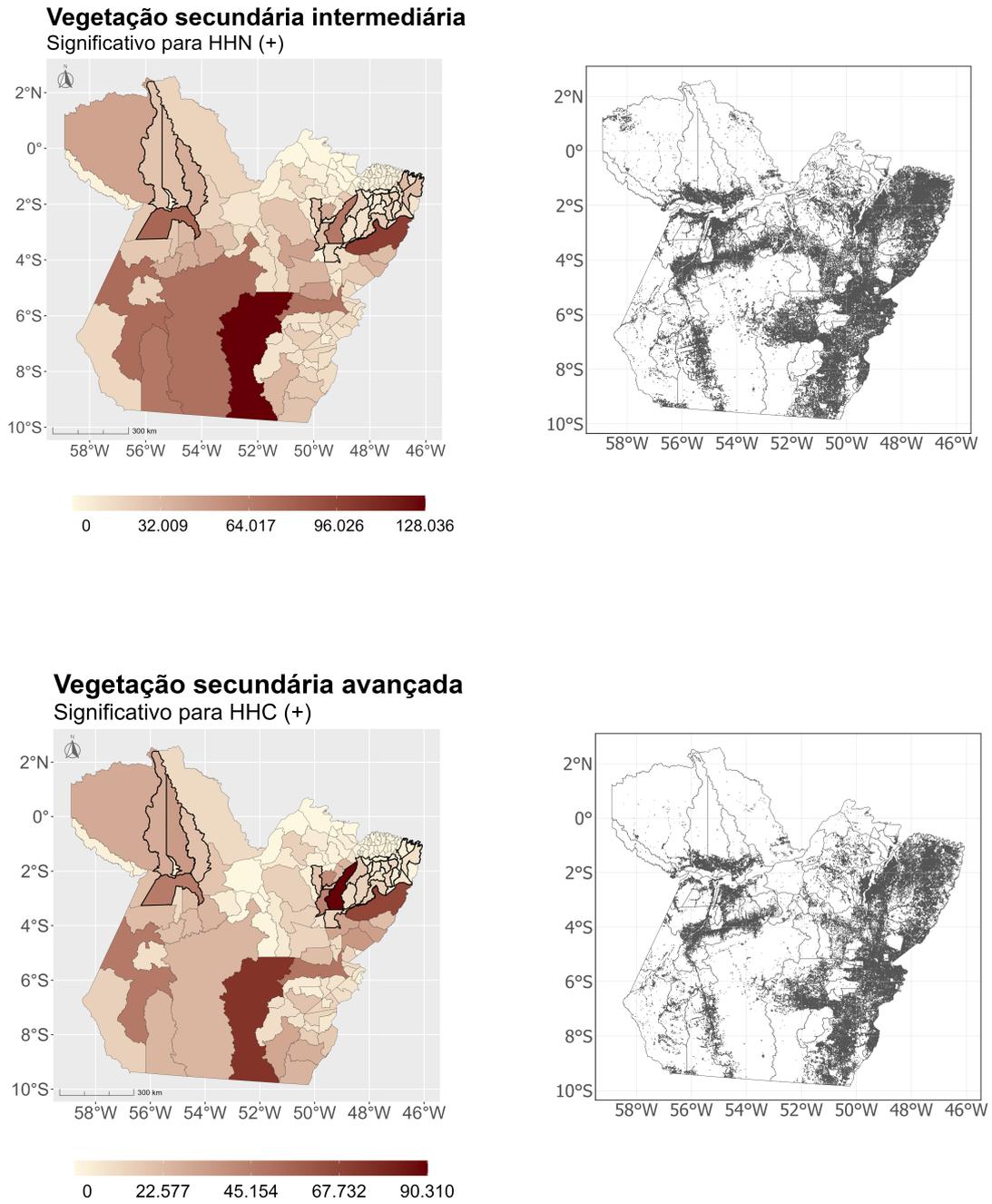


Figura B.1 - Conclusão.

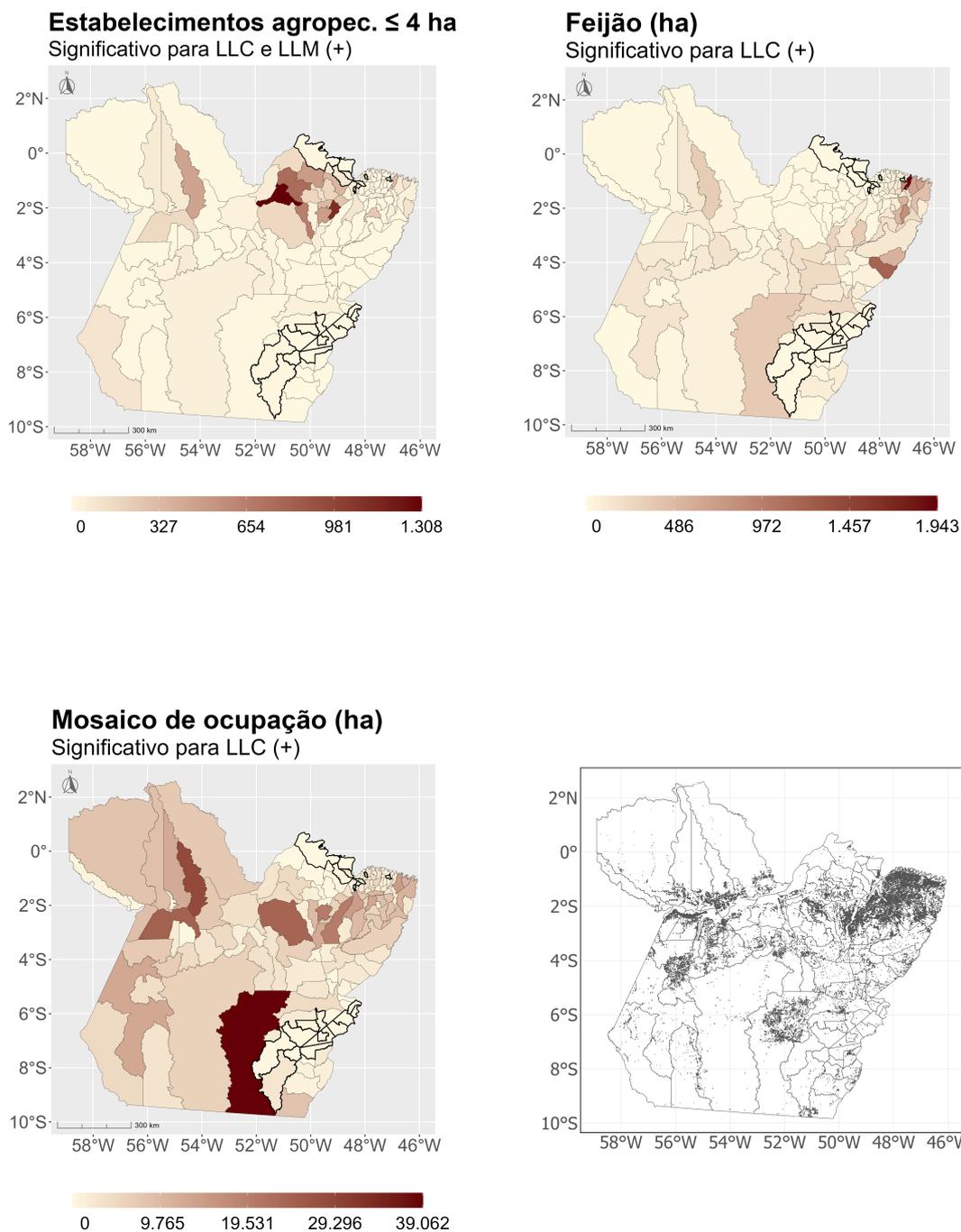


HHC: *High high* completo; HHN: *High high* Nordeste.  
(+) Associação positiva; (-) Associação negativa.

Fonte: Adaptado de IBGE (2017), INPE; EMBRAPA (2014).

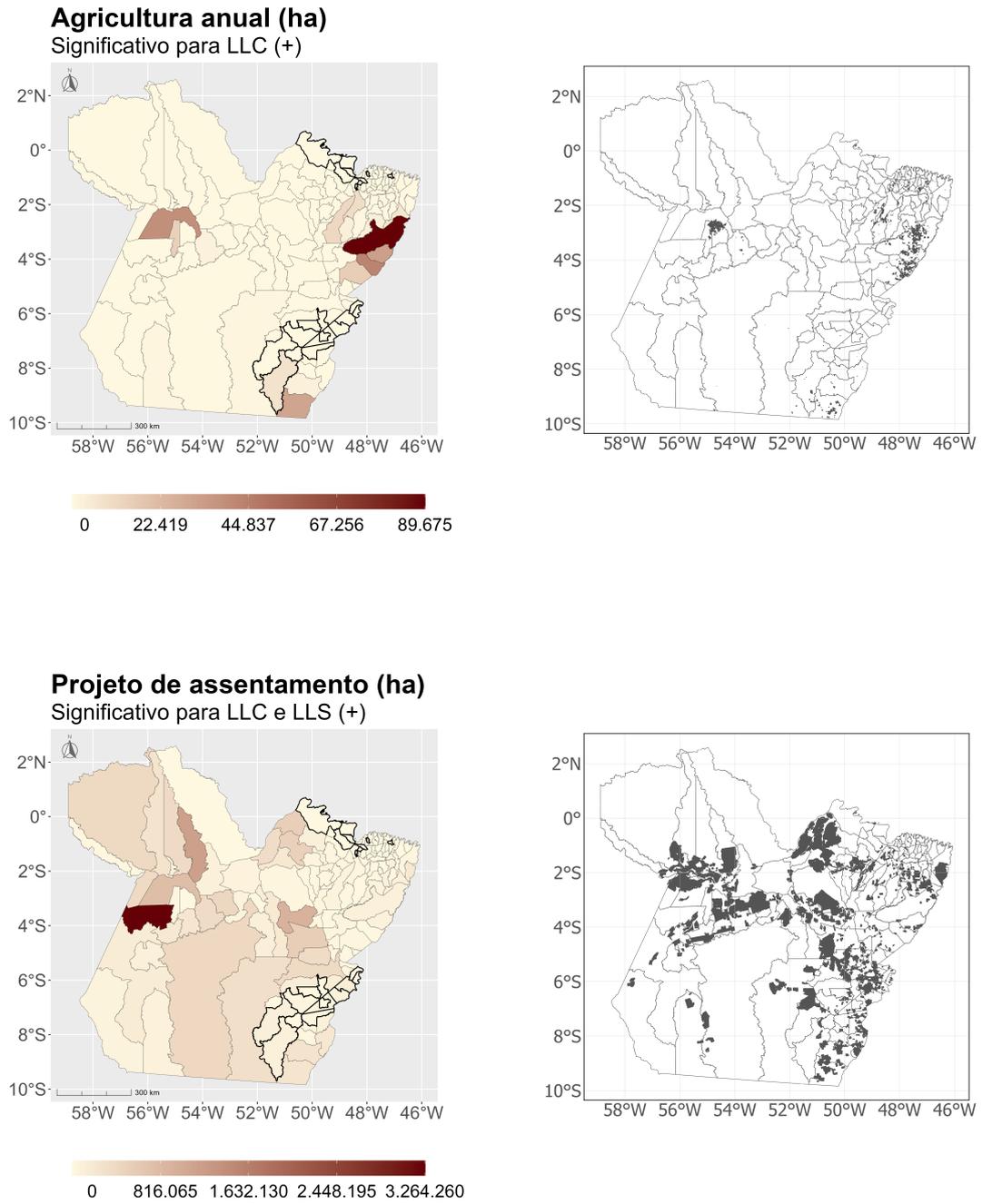
Por último, é apresentada a espacialização das variáveis significativas para os regimes espaciais *low low*. Estão destacados todos os municípios que fazem parte desse regime espacial, incluindo o regime completo (LLC), Sudeste (LLS) e Marajó (LLM).

Figura B.2 - Espacialização das variáveis significativas para o regime espacial *low low*.



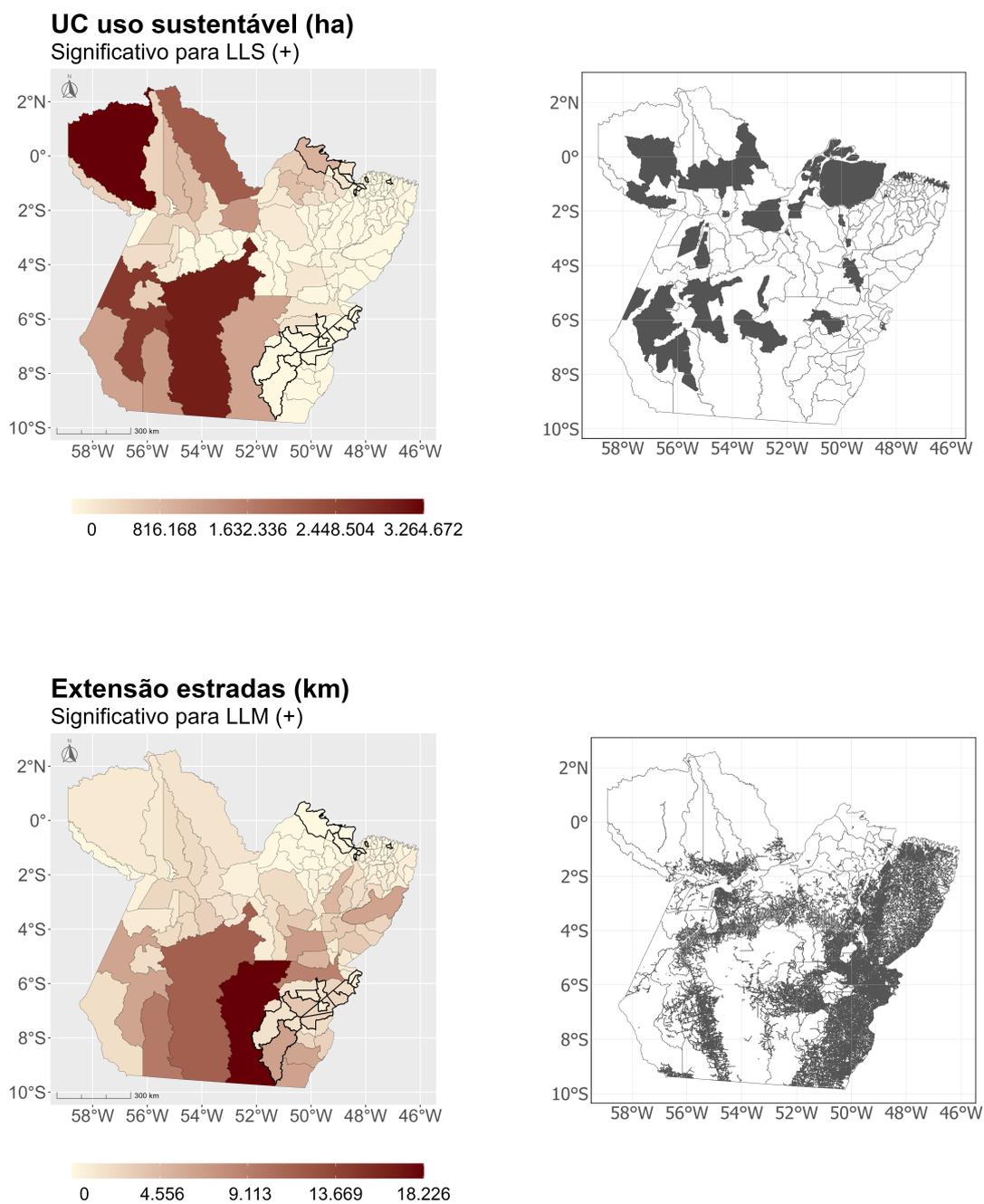
(continua)

Figura B.2 - Continuação.



(continua)

Figura B.2 - Conclusão.



LLC: *Low low* completo; LLM: *Low low* Marajó; LLS: *Low low* Sudeste.  
(+) Associação positiva; (-) Associação negativa.

Fonte: Adaptado de IBGE (2017), INPE; EMBRAPA (2014).

## **APÊNDICE C - ESPACIALIZAÇÃO DOS INDICADORES DE SISTEMAS PRODUTIVOS DE MANDIOCA**

A espacialização dos indicadores elaborados é apresentada a seguir, assim como as áreas que apresentam AGPE.

Figura C.1 - Indicador de idade da vegetação secundária.

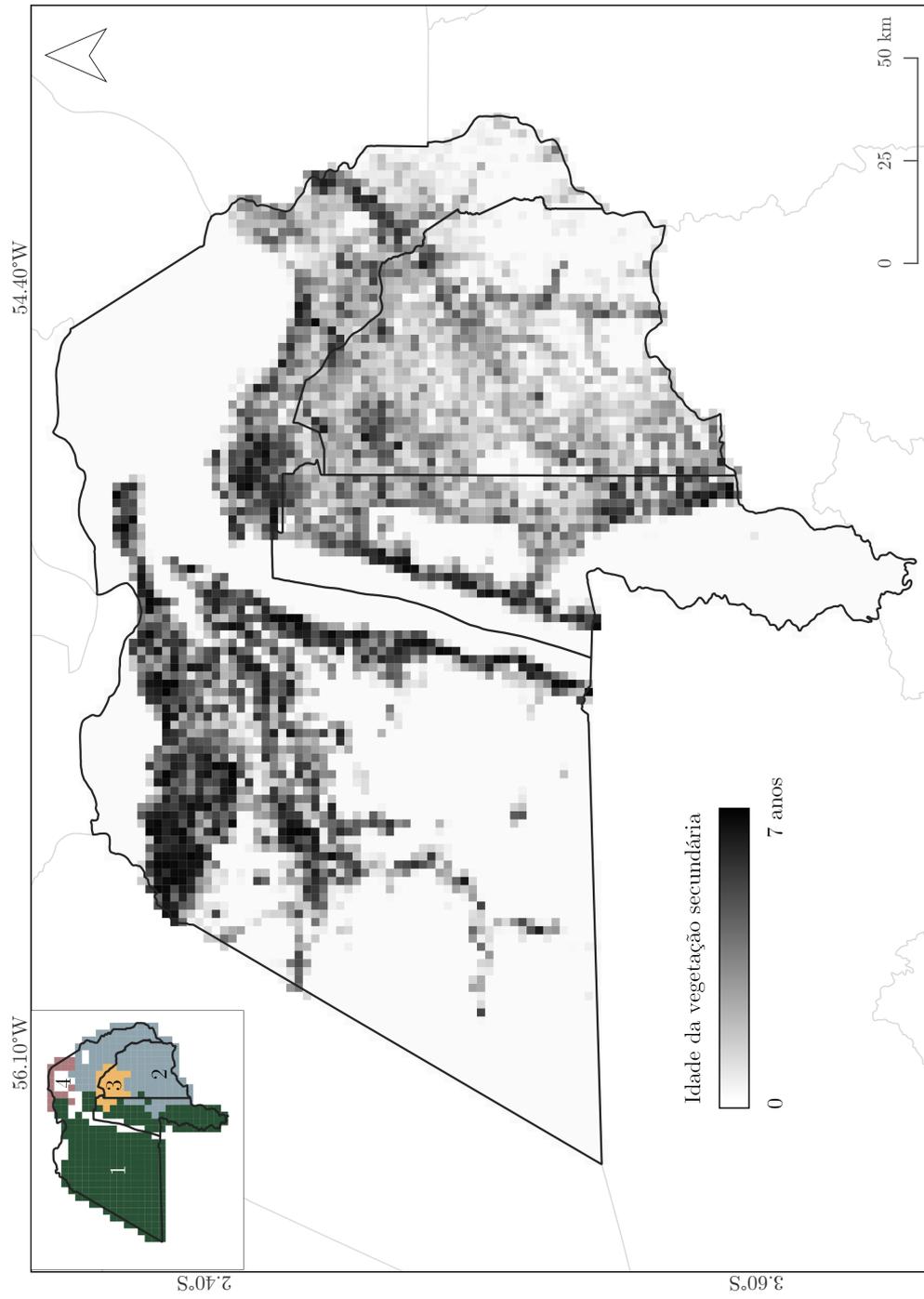


Figura C.2 - Indicador de área de vegetação secundária.

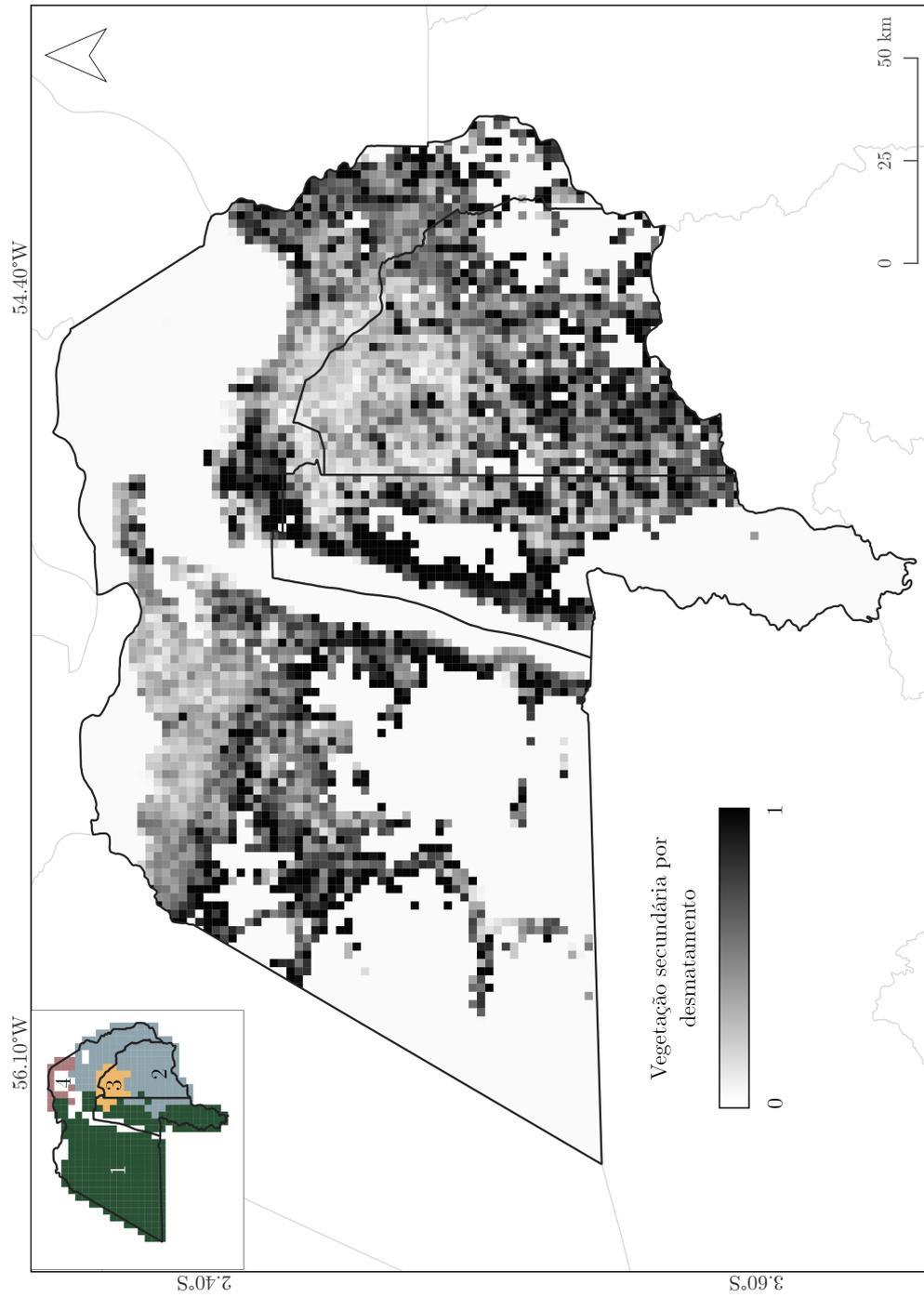


Figura C.3 - Indicador de acesso potencial a mercados locais.

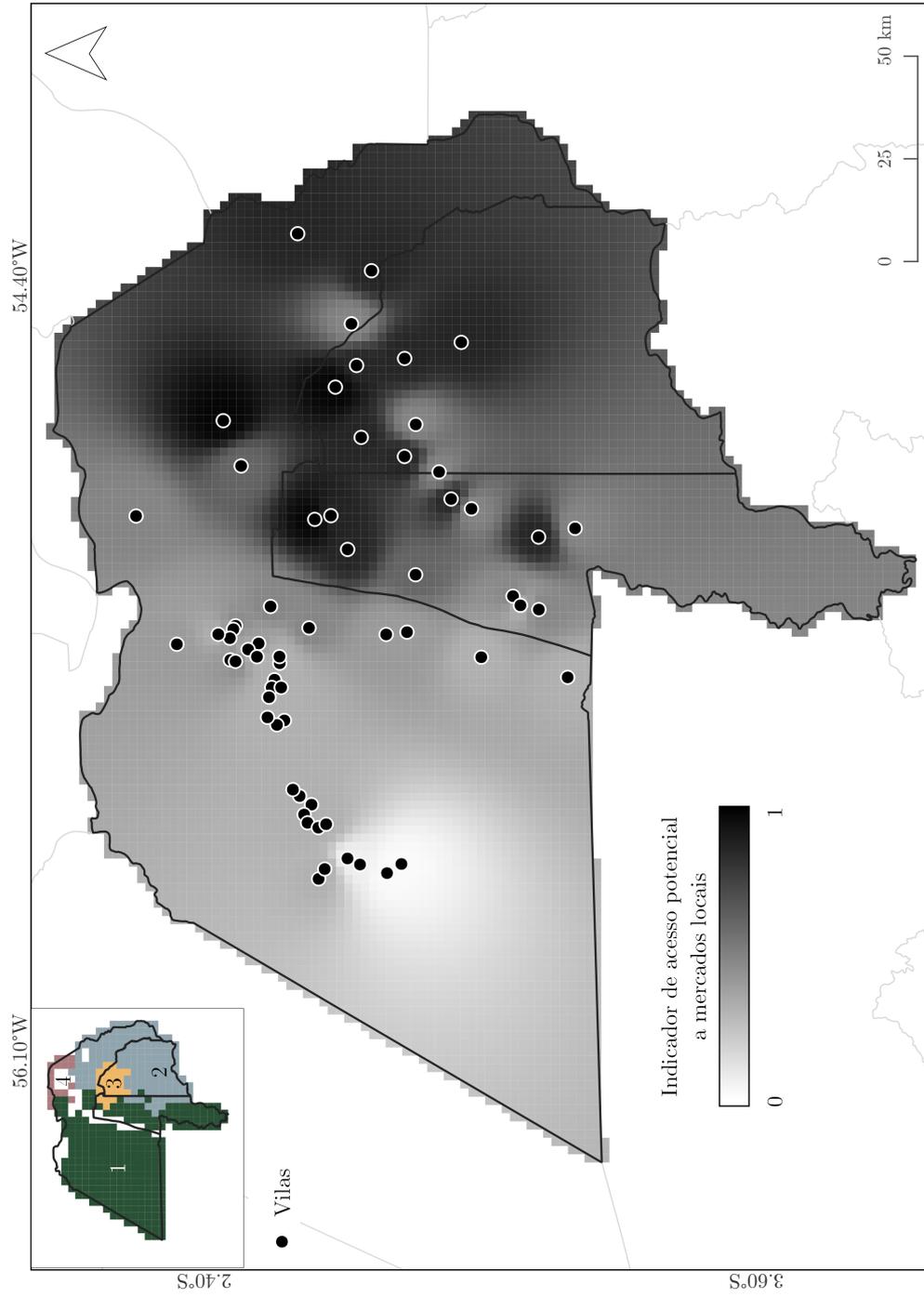


Figura C.4 - Indicador de regime de terras.

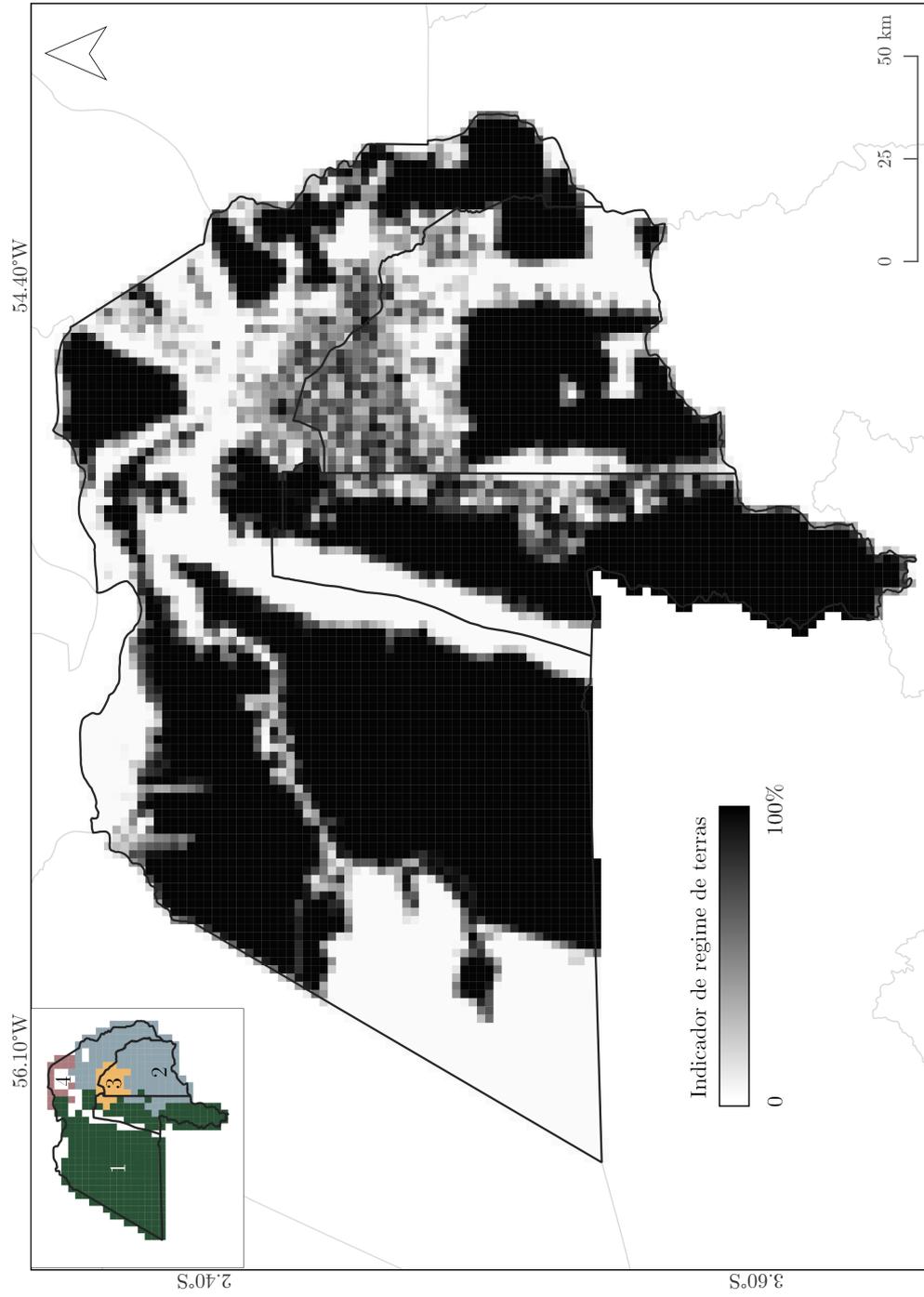


Figura C.5 - Indicador de infraestructura.

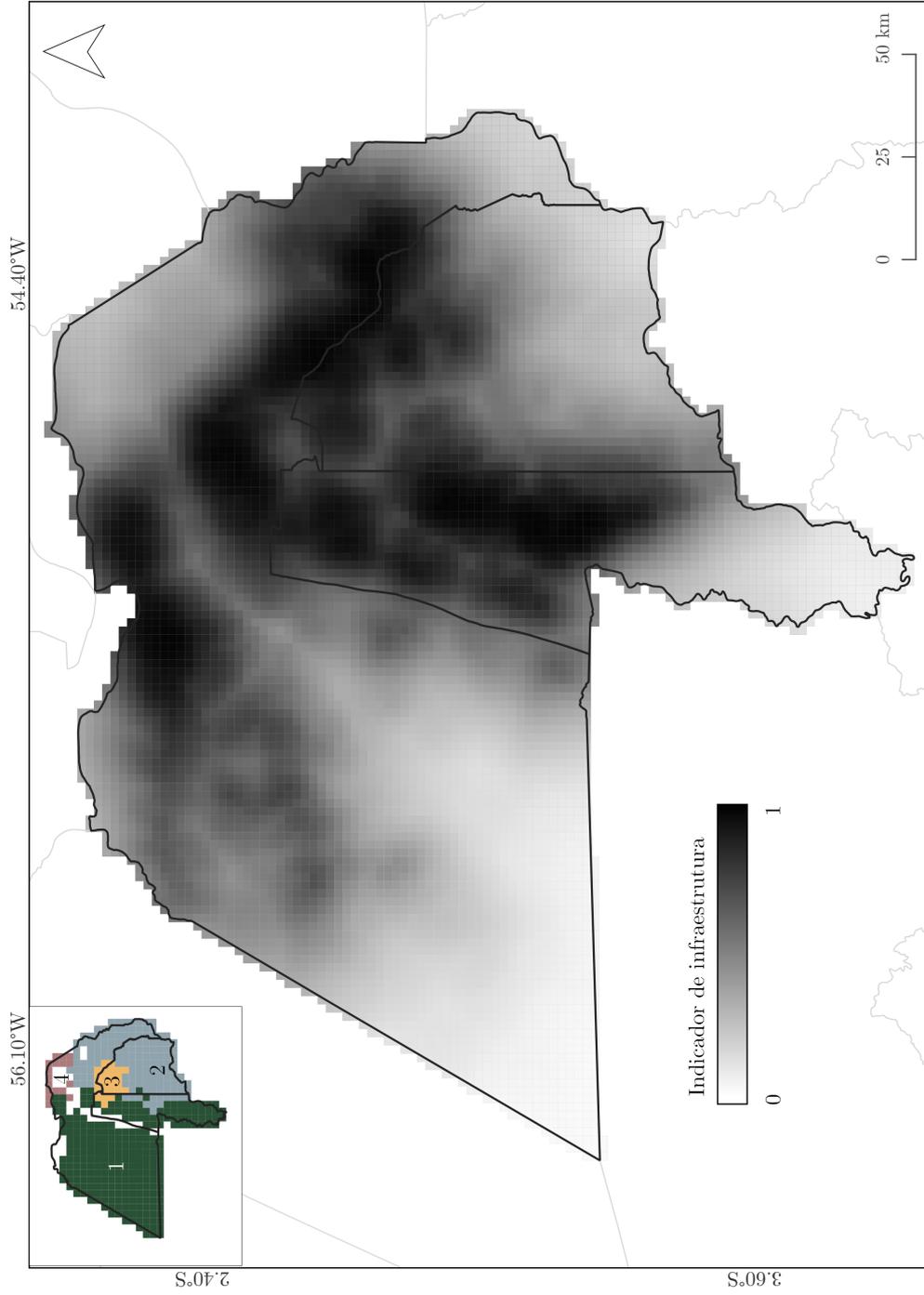


Figura C.6 - Indicador síntese de cultivo de mandioca.

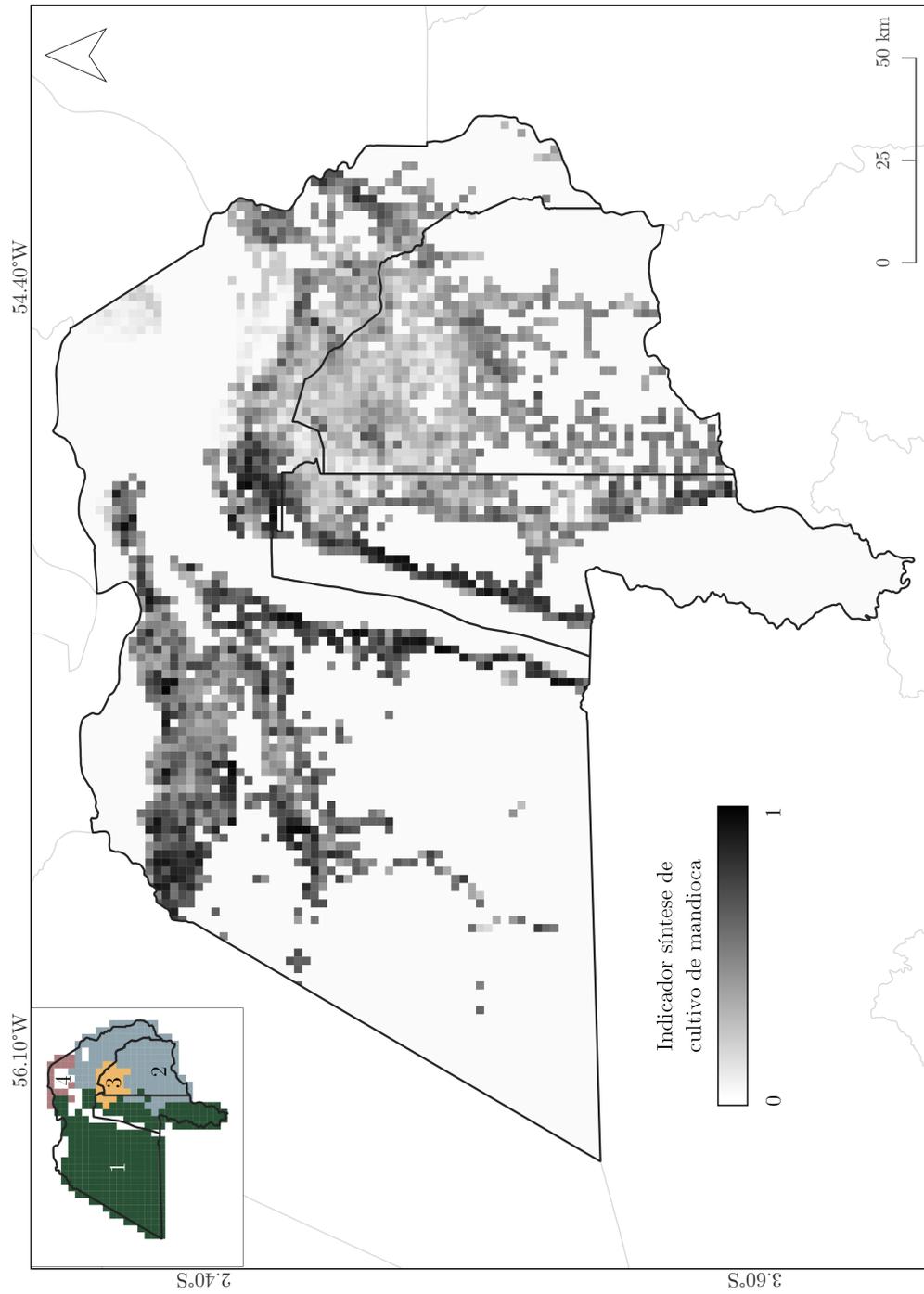


Figura C.7 - Áreas de AGPE no Oeste do Pará.

