



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ (UFPI)  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO (PRPG)  
NÚCLEO DE REFERÊNCIA EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS DO TRÓPICO  
ECOTONAL DO NORDESTE (TROPEN)  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO  
E MEIO AMBIENTE (PRODEMA)  
MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE (MDMA)

STÊNIO LIMA RODRIGUES

**EXPANSÃO DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum L.*) E  
SEUS REFLEXOS SOBRE A COBERTURA DA TERRA NO MARANHÃO**

TERESINA-PI

2021

STÊNIO LIMA RODRIGUES

**EXPANSÃO DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum L.*) E SEUS REFLEXOS SOBRE A COBERTURA DA TERRA NO MARANHÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Piauí (UFPI), como requisito à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste.

Linha de Pesquisa: Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Jaíra Maria Alcobaça Gomes.

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Emiliana Barros Cerqueira.

TERESINA-PI

2021

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco  
Serviço de Processamento Técnico

R696e Rodrigues, Stênio Lima.  
Expansão do cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*  
*L.*) e seus reflexos sobre a cobertura da terra no Maranhão / Stênio  
Lima Rodrigues. – 2021.  
161 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí,  
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente,  
Teresina, 2021.

“Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Jaíra Maria Alcobaça Gomes”

“Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Emiliana Barros Cerqueira”

1. Sustentabilidade. 2. Agricultura. 3. Desmatamento. 4. Uso e  
cobertura da terra. I. Gomes, Jaíra Maria Alcobaça. II. Cerqueira,  
Emiliana Barros. III. Título.

CDD 574.52

STÊNIO LIMA RODRIGUES

**EXPANSÃO DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) E SEUS REFLEXOS SOBRE A COBERTURA DA TERRA NO MARANHÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí, como requisito à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste.

Linha de Pesquisa: Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Jaíra Maria Alcobaça Gomes.

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Emiliana Barros Cerqueira.

Aprovado em 12 de fevereiro de 2021.

BANCA EXAMINADORA



---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Jaíra Maria Alcobaça Gomes  
Universidade Federal do Piauí (UFPI)  
(Orientadora)



---

Prof. Dr. Johnny Herberthy Martins Ferreira  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA)  
(Examinador Externo)



---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Giovana Mira de Espindola  
Universidade Federal do Piauí (UFPI)  
(Examinadora Interna)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu bom Deus, dono de toda a ciência; meu refúgio e fortaleza nas horas de angústia.

Aos meus pais, Rita Maria Lima Rodrigues e Silvestre Rodrigues Conrado; e aos meus irmãos, Bruna Vitória Lima Rodrigues e Silvestre Rodrigues Conrado Júnior, pela compreensão e ajuda.

À minha namorada, Carleana Cavalcante das Chagas, pelo amor, pela compreensão e pelo companheirismo.

Aos meus avós, tios, primos e demais familiares.

À professora Dra. Jaíra Maria Alcobaça Gomes, por sua orientação criteriosa, sempre muito responsável!

À professora Dra. Emiliana Barros Cerqueira, por sua coorientação nas etapas de construção do trabalho; pela gentileza, atenção e prontidão na resolução de dúvidas.

Aos funcionários do TROPEN, por todo o apoio concedido durante esse período, em especial ao Zezinho, dona Dália e Sr. Raimundo.

Aos professores membros da banca examinadora, Dra. Giovana Mira de Espindola e Dr. Johnny Herberthy Martins Ferreira, pelas sugestões e críticas construtivas.

À minha turma de mestrado. Sem dúvidas, vocês são demais! Foi mais leve essa jornada tendo vocês como companhias!

Aos meus amigos do mestrado, em especial, Tonyo, Wesley, Jefferson, Letícia e Eduardo. Do programa de doutorado, agradeço ao Francirlar Bezerra.

À minha amiga Luciana Batista, do IFMA Zé Doca para a vida. Sou grato por ter me dado uma luz no momento que estava sem tema, e por todo o auxílio ao longo dos últimos anos.

Aos meus amigos do ciclismo, esporte que adotei para aliviar o estresse, contemplando a natureza. Em especial, ao Irapuan Filho, que me incentivou bastante a evoluir nessa modalidade.

Aos meus amigos de longas datas, que muito me incentivaram e ajudaram nos momentos difíceis: Ana Carla Cavalcante, Helder Araújo, João Vitor e Welligion Meireles.

Ao IFMA Campus Codó, por ter-me acolhido e pela flexibilização dos horários para o cumprimento dos créditos obrigatórios do programa. De modo especial, agradeço ao Diretor, Prof. Dr. Wady Castro, e ao meu chefe imediato, Prof. Me. Abias Cruz.

RODRIGUES, Stênio Lima. **Expansão do cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) e seus reflexos sobre a cobertura da terra no Maranhão**. 2021. 161 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2020.

## RESUMO

O cultivo da cana-de-açúcar configurou-se como uma atividade tradicionalmente desenvolvida no Brasil e em diversos países, assumindo papel indubitável para o crescimento econômico. No Maranhão, a agricultura canavieira cresceu significativamente a partir das últimas décadas do século XX, gerando consequências econômicas, sociais e ambientais. Com base nesse panorama, pretende-se analisar a expansão do cultivo da cana-de-açúcar e a consequente modificação no uso e cobertura da terra no Maranhão, no período de 1998 a 2018. Nesse ensejo, designaram-se os seguintes objetivos específicos: analisar as características socioeconômicas dos municípios produtores de cana-de-açúcar; examinar a quantidade, o rendimento e o valor de produção da cana-de-açúcar nos municípios produtores; demonstrar as modificações no uso e cobertura da terra nos municípios produtores de cana-de-açúcar; averiguar a ocorrência de supressão de vegetação nativa para o cultivo de cana-de-açúcar nesses municípios. Para tanto, o campo da pesquisa abrangeu os 80 municípios produtores da cana-de-açúcar no estado do Maranhão. Como amostra para aprofundamento, selecionaram-se, por critério não-probabilístico, São Raimundo das Mangabeiras e Campestre do Maranhão, por serem os maiores produtores, respectivamente. Utilizaram-se informações disponibilizadas pela Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) e pelos Censos Agropecuários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), além de imagens dos satélites *Landsat 5* e *8*, captadas na plataforma do Projeto MapBiomas e em banco de dados secundários contendo a quantificação das classes de uso e cobertura da terra. Ademais, realizaram-se análises gráficas, tabular, cartográfica e multivariada, por meio da técnica análise fatorial exploratória. Os resultados evidenciaram as características sociais e econômicas dos municípios produtores, agrupadas por meio da extração de fatores, assim denominados: *produção e renda*; *uso da terra*; *recursos produtivos*; e *conservação ambiental*. Constatou-se o crescimento na quantidade produzida, incrementos na produtividade e valor de produção da cana no período temporal estudado. Quantificaram-se as áreas de vegetações nativas incluindo florestas, savanas e formações campestres suprimidas nos biomas Amazônia e Cerrado. Em contrapartida, verificou-se aumento das áreas destinadas para a agropecuária nos mesmos. O crescimento das atividades

agropecuárias se correlacionou com a supressão de vegetação nativa no conjunto dos municípios produtores. Nos municípios com maior incidência da atividade canavieira, São Raimundo das Mangabeiras e Campestre do Maranhão, identificou-se a ocorrência de supressão de vegetação nativa para a expansão canavieira, bem como competição da cana com outras culturas, como a soja e o milho. Diante desse cenário, evidencia-se a necessidade de proposições de políticas ambientais para a conservação da vegetação nativa e da biodiversidade. Palavras-chave: Sustentabilidade. Agricultura. Desmatamento. Uso e cobertura da terra.

RODRIGUES, Stênio Lima. **Expansion of the sugar cane cultivation (*Saccharum officinarum* L.) and its reflexes on land cover in Maranhão.** 2021. 161 pp. Thesis (Master in Development and Environment) - Regional Graduate Program in Development and Environment, Federal University of Piauí, Teresina, 2020.

## ABSTRACT

The cultivation of sugar cane was configured as an activity traditionally developed in Brazil and in several countries, assuming an undoubted role for economic growth. In Maranhão, sugar cane agriculture grew significantly from the last decades of the 20th century, generating economic, social and environmental consequences. Based on this outlook, we intend to analyze the expansion of sugar cane cultivation and the consequent change in coverage and land use in Maranhão, from 1998 to 2018. In this opportunity, the following specific objectives were designated : to analyze the socioeconomic characteristics of the sugar cane producing municipalities; examine the quantity, yield and value of sugar cane production in producing municipalities; demonstrate changes in coverage and land use in municipalities producing sugar cane; investigate the occurrence of suppression of native vegetation for the cultivation of sugar cane in these municipalities. To this end, the field of research covered the 80 municipalities producing sugar cane in the state of Maranhão. As a sample for further study, São Raimundo das Mangabeiras and Campestre do Maranhão were selected, by non-probabilistic criteria, for being the largest producers, respectively. Information made available by the Municipal Agricultural Research (PAM) and the Agricultural Censuses of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) were used, in addition to images from the satellites Landsat 5 and 8, captured on the MapBiomas Project platform and in a secondary database containing quantification of land cover and land use classes. In addition, graphic, tabular, cartographic and multivariate analyzes were performed, using the exploratory factor analysis technique. The results showed the social and economic characteristics of the producing municipalities, grouped by means of the extraction of factors, so called: production and income; land use; productive resources; and environmental conservation. There was an increase in the quantity produced, increases in productivity and value of sugarcane production in the studied period. The areas of native vegetation were quantified including forests, savannas and rural formations suppressed in the Amazon and Cerrado biomes. On the other hand, there was an increase in the areas destined for agriculture in them. The growth of agricultural activities was correlated with the suppression of native vegetation in the set of producing municipalities. In the municipalities



with the highest incidence of sugar cane activity - São Raimundo das Mangabeiras and Campestre do Maranhão - the occurrence of suppression of native vegetation for sugar cane expansion was identified, as well as competition between sugar cane and other crops, such as soybeans and corn. In view of this scenario, the need for environmental policy proposals for the conservation of native vegetation and biodiversity is evident.

Keywords: Sustainability. Agriculture. Deforestation. Land use and coverage.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Diagrama 1	- Etapas da agricultura canavieira.....	28
Fluxograma 1	- Etapas da colheita da cana.....	29
Fluxograma 2	- Processamento da cana para a produção de açúcar e álcool.....	30
Gráfico 1	- Expansão da produção da cana no Brasil (1940-2017).....	73
Gráfico 2	- Evolução da produção da cana nas regiões brasileiras (1940-2017).....	74
Gráfico 3	- Evolução da quantidade de produção da cana-de-açúcar no Maranhão (1998-2018).....	85
Gráfico 4	- Distribuição da quantidade de produção da cana entre os estados da Região Nordeste no ano de 2018.....	86
Gráfico 5	- Evolução do valor de produção corrente, em mil reais, da cana, do arroz, do milho e da soja, no Maranhão (1998-2018).....	94
Gráfico 6	- Evolução de áreas de plantio da cana em hectares (1998-2018)....	95
Gráfico 7	Evolução dos percentuais de colheita mecanizada e manual (2008-2018).....	96
Gráfico 8	- Evolução da quantidade de áreas suprimidas, áreas de avanço da agropecuária e áreas de cultivo de cana.....	107
Gráfico 9	- Municípios com maior supressão da vegetação (1998-2018).....	110
Gráfico 10	- Produção de cana-de-açúcar em São Raimundo das Mangabeiras (1998-2018).....	114
Gráfico 11	- Cultivo de cana-de-açúcar em São Raimundo das Mangabeiras (1998-2018).....	115
Gráfico 12	- Produção de cana-de-açúcar em Campestre do Maranhão (1998-2018).....	124
Gráfico 13	- Cultivo de cana-de-açúcar em Campestre do Maranhão (1998-2018).....	125
Mapa 1	- Evolução das áreas de pastagens plantadas (1985-2017).....	49
Mapa 2	- Representação da área de estudo.....	57
Mapa 3	- Representação dos municípios de Campestre do Maranhão e São Raimundo das Mangabeiras .....	58
Mapa 4	- Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar no Maranhão.....	76

Mapa 5	- Distribuição espacial dos municípios nos <i>clusters</i> .....	81
Mapa 6	- Produção da cana-de-açúcar no Maranhão (2018).....	88
Mapa 7	- Municípios produtores de cana-de-açúcar no Maranhão, classificados por biomas.....	98
Mapa 8	- Evolução do uso e cobertura da terra nos municípios produtores de cana-de-açúcar no Maranhão (1998-2018).....	100
Mapa 9	- Evolução das áreas de pastagens e agricultura nos municípios produtores de cana-de-açúcar no Maranhão (1998-2018).....	101
Mapa 10	- Representação das quantidades de áreas suprimidas da cobertura vegetal em municípios produtores de cana-de-açúcar (1998- 2018).	109
Mapa 11	- Representação do crescimento de áreas destinadas para a agropecuária nos municípios produtores da cana-de-açúcar (1998-2018).....	111
Mapa 12	- Evolução do uso e cobertura da terra em São Raimundo das Mangabeiras (1998 e 2018).....	119
Mapa 13	- Evolução das áreas de pastagens e agricultura em São Raimundo das Mangabeiras (1998 e 2018).....	120
Mapa 14	- Evolução do uso e cobertura da terra em Campestre do Maranhão (1998-2018).....	128
Quadro 1	- Cargas laborais sofridas pelos operadores de máquinas agrícolas..	39
Quadro 2	- Variáveis de estudo.....	62
Quadro 3	- Classes de uso e cobertura da terra utilizadas para construção de mapas temáticos.....	61
Quadro 4	- Variáveis utilizadas para o modelo de análise fatorial.....	67
Quadro 5	- Análise de cluster pelo método <i>K-means</i> .....	80
Fotografia 1	- Usina Agroserra.....	113
Fotografia 2	- Áreas de cultivo no entorno da usina.....	118
Fotografia 3	- Usina Maity Bioenergia.....	124
Fotografia 4	- Cultivo da cana nas proximidades da usina Maity Bioenergia.....	127

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Representação agroindústria rural da cana no Maranhão.....	32
Tabela 2	- Autovalores e proporção da variância explicada antes e depois da rotação).....	78
Tabela 3	- Cargas fatoriais e comunalidades após a rotação.....	78
Tabela 4	- Médias das variáveis nos grupos homogêneos .....	81
Tabela 5	- Comparativo de rendimento da produção em kg/ha, no Brasil, Nordeste e Maranhão (1998-2018).....	90
Tabela 6	- Comparação de valor da produção (em mil reais) das principais culturas de lavouras temporárias (1998-2018).....	92
Tabela 7	- Comparação de preços, em reais, das toneladas da cana, arroz, milho e soja no Maranhão (1998-2018).....	93
Tabela 8	- Evolução das classes de uso e cobertura da terra em municípios produtores da cana-de-açúcar no Maranhão no bioma Amazônia.....	102
Tabela 9	- Municípios do Bioma Amazônia com a presença de formação savânica...	103
Tabela 10	- Evolução das classes de uso e cobertura da terra em municípios produtores da Cana-de-açúcar no Maranhão no bioma Cerrado.....	104
Tabela 11	- Áreas de cultivo em hectares de lavouras temporárias em São Raimundo das Mangabeiras.....	116
Tabela 12	- Quantificação do uso e cobertura da terra em São Raimundo das Mangabeiras.....	121
Tabela 13	- Áreas de cultivo em hectares das lavouras temporárias em Campestre do Maranhão.....	126
Tabela 14	- Evolução do uso e cobertura da terra em Campestre do Maranhão.....	130

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAR	Cadastro Ambiental Rural
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EIA	Estudos de Impactos Ambientais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EVI	Índice de vegetação realçado
FGV	Fundação Getúlio Vargas
GEE	Gás de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IGP-DI	Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI)
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MUNIC	Pesquisa de Gestão Municipal
NDVI	Índice de vegetação por diferença normalizada
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
RAIS	Relação Anual de informações Sociais
RBA	Receita Bruta Agropecuária Anual
RIMA	Relatórios de Impactos Ambientais
PAM	Pesquisa Agrícola Municipal
PND	Plano Nacional de Desenvolvimento
PIB	Produto Interno Bruto
PMFS	Plano de Manejo Florestal Sustentável
PPCDAm	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa
Proálcool	Programa Nacional do Alcool

SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SIGs	Sistemas de Informações Geográficas
SPSS	Software Statistical Package for the Social Sciences
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
ZAE Cana	Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar
ÚNICA	União da Indústria de Cana-de-Açúcar

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Desenvolvimento sustentável e agricultura .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Caracterização da agricultura canavieira.....</b>	<b>22</b>
2.2.1 História da cana-de-açúcar no mundo, no Brasil e no Maranhão.....	22
2.2.2 Descrição da cadeia produtiva de cana-de-açúcar.....	26
<b>2.3 Impactos do cultivo de cana-de-açúcar .....</b>	<b>32</b>
2.3.1 Impactos econômicos .....	33
2.3.2 Impactos sociais.....	37
2.3.3 Impactos ambientais .....	40
<b>2.4 Uso e cobertura da terra .....</b>	<b>45</b>
2.4.1 Agricultura canavieira e desmatamento .....	51
2.4.2 Desmatamento no Maranhão .....	54
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>57</b>
<b>3.1 Delimitação da área de estudo .....</b>	<b>57</b>
<b>3.2 Fontes secundárias e técnicas de coleta .....</b>	<b>59</b>
<b>3.3 Tratamento e análise de dados .....</b>	<b>63</b>
3.3.1 Análise multivariada de dados.....	66
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>72</b>
<b>4.1 Expansão e zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar em âmbito nacional e regional .....</b>	<b>72</b>
<b>4.2 Análise das características socioeconômicas dos municípios produtores da cana-de-açúcar no Maranhão .....</b>	<b>77</b>
<b>4.3 Expansão da produção da cana-de-açúcar no Maranhão .....</b>	<b>85</b>
<b>4.4 Uso e cobertura terra em municípios produtores de cana-de-açúcar no Maranhão .....</b>	<b>97</b>
4.4.1 Espacialização dos municípios produtores da cana por biomas.....	97
4.4.2 Evolução do uso e cobertura da terra em municípios produtores da cana-de-açúcar no Maranhão.....	99
<b>4.5 Expansão do cultivo de cana-de-açúcar e alterações na cobertura vegetal dos maiores produtores do Maranhão .....</b>	<b>112</b>
4.5.1 São Raimundo das Mangabeiras.....	113
4.5.2 Campestre do Maranhão .....	123

<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>132</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>135</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>149</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>151</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa traz como temática o processo de expansão da cana-de-açúcar no Maranhão, evidenciando seus reflexos sobre a cobertura da terra nos maiores municípios produtores. O cultivo da cana-de-açúcar é uma atividade agrícola relevante para o crescimento econômico, denotando sua importância tanto para o consumo alimentar da população quanto para a geração de combustíveis. Tradicionalmente, essas lavouras inserem-se no Brasil e em diversos países. Nesse sentido, perscruta-se essa atividade produtiva, tendo em vista as dimensões econômicas, sociais e ambientais da sustentabilidade.

Historicamente, considera-se a agricultura canavieira um ciclo de formação da economia no Brasil. Nesse contexto, a atividade teve sua introdução na Região Nordeste, pelo estado do Pernambuco, no século XVI. Ao longo do tempo, assistiu-se a uma intensa migração da atividade para o Sudeste e Centro-Oeste do País.

No Maranhão, há indícios de que o início dessa atividade produtiva se deu durante o processo de povoamento promovido pela corte portuguesa no litoral, no século XVII (CUENCA; MANDARINO, 2007). Tal fato proporcionou elevada prosperidade econômica para esse estado no século XVIII, com a produção de açúcar (FURTADO, 2005), em uma fase marcada pela transição dos engenhos de açúcar para o sistema agroindustrial, no século XX (HOLANDA, 2009).

Nesse período, com a inauguração do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), na década de 1970, subsidiou-se a instalação de cinco usinas de produção de açúcar e etanol, localizadas nos seguintes municípios: São Raimundo das Mangabeiras e Campestre do Maranhão, na mesorregião sul; Aldeias Altas e Coelho Neto, na mesorregião leste; e Tuntum, na mesorregião centro (NOVA CANA, 2019).

Contudo, a produção de etanol prevaleceu em detrimento da fabricação do açúcar. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), no ano de 2019, 92,4% da produção total da cana do estado foi destinada para a geração de etanol. Dessa forma, os 7,6% restantes reservaram-se para outros produtos decorrentes da cana, a exemplo de açúcar, aguardente, cachaça, caldo e rapadura.

Dos 217 municípios maranhenses, constatou-se, no ano de 2018, por meio da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que 80 são produtores de cana-de-açúcar, e que houve um crescimento de 117,74% na quantidade de produção da cana (em toneladas), entre os anos de 1998 e 2018 (IBGE, 2018).

Em 1998, existiam 76 municípios produtores, observando-se um crescimento da produção de cana, até o ano de 2018, em 60 municípios. Tal evolução teve influência da instalação de usinas sucroalcooleiras no estado; do aquecimento do mercado automobilístico, com o crescimento das vendas de automóveis *flex*; e da redução da alíquota do imposto sobre produtos industrializados, entre 2007 e 2015 (APOLINÁRIO, 2018).

Deveras, a agricultura canavieira constitui-se como uma atividade importante e antiga em nível internacional, nacional e regional. Porém, seu cultivo consolidou-se como atividade econômica relevante no Maranhão somente nas últimas décadas, devido ao surgimento de usinas sucroalcooleiras nesse território. Por essa razão, concebe-se que o processo de expansão da atividade canavieira e suas consequências nesse estado configuram uma lacuna de pesquisa a ser explorada com este trabalho.

A relevância econômica da cana é inegável, embora cause preocupação o fato de que sua expansão está ligada à ocorrência de impactos ambientais negativos. A propósito dessa questão, Jordão e Moretto (2015) desenvolveram um estudo no estado de São Paulo – que é o maior produtor nacional –, elencando como exemplos: a queima da palha da cana antes do corte, quando não existe a colheita mecanizada; a degradação dos solos, inviabilizando o plantio de outras culturas; a poluição das águas; a pressão sobre outras culturas e áreas de florestas nativas; a aplicação de agrotóxicos e fertilizantes; além de desmatamento e destruição das reservas legais e de áreas de preservação permanente.

Por sua vez, Hess *et al.* (2016) agruparam os impactos ambientais do cultivo da cana nas seguintes categorias: solos, recursos hídricos, atmosfera e uso da terra. Nesta pesquisa, vislumbra-se essa última dimensão, com ênfase no desmatamento, dada a quantidade de estudos realizados no Maranhão relacionando o crescimento da agropecuária com o desmatamento. Entre eles, citam-se: Costa, Andrade e Araújo (2011); Araújo, Lopes e Carvalho (2011); Cardoso e Aquino (2015); Araújo *et al.* (2019) e Silva *et al.* (2019).

Contudo, nota-se a ausência de pesquisas sobre a atividade produtiva da cana-de-açúcar. Devido à escassez de trabalhos sobre essa temática no âmbito do estado do Maranhão, e tendo em vista a ocorrência de crescimento acentuado de sua produção nas últimas décadas, como referido, entende-se que esta pesquisa é necessária para o avanço do conhecimento científico no que alude à evolução da agricultura canavieira e suas consequências para o estado.

Em âmbito prático, o estudo demonstra a evolução da cana-de-açúcar em um interstício de duas décadas, reputando-se o contexto econômico decorrente desse crescimento e as modificações no uso e na cobertura da terra como dimensão ambiental, a fim de investigar a ocorrência de supressão de vegetação.

Dessa forma, este trabalho servirá de suporte para gestores de entidades públicas e privadas, universidades e/ou outros interessados no tema, no sentido de subsidiar o desenvolvimento de políticas públicas ambientais de controle da cobertura vegetal.

Diante do exposto, questiona-se: como o uso da terra para a atividade agrícola da cana-de-açúcar altera a cobertura vegetal em municípios do Maranhão? Nessa lógica, admitiu-se a hipótese de que houve crescimento da produção canavieira nos municípios maranhenses, e isso suscitou a supressão de vegetação nativa.

Isso posto, estabeleceu-se como objetivo geral desta pesquisa analisar a expansão do cultivo da cana-de-açúcar e a conseqüente modificação no uso e cobertura da terra, no Maranhão, no período de 1998 a 2018. Especificamente, pretende-se: analisar as características socioeconômicas dos municípios produtores de cana-de-açúcar; examinar a quantidade, o rendimento e o valor de produção da cana-de-açúcar nos municípios produtores; demonstrar as modificações no uso e cobertura da terra nos municípios produtores de cana-de-açúcar; averiguar a ocorrência de supressão de vegetação nativa para o cultivo de cana-de-açúcar nesses municípios.

Para tanto, realizou-se um levantamento de dados de bases secundárias, procedendo-se com análise gráfica, tabular e cartográfica. Delimitou-se como universo os 80 municípios produtores da cana no estado do Maranhão. Outrossim, selecionaram-se como amostras para aprofundamento teórico-empírico, seguindo o critério não-probabilístico, por conveniência, os municípios de São Raimundo das Mangabeiras e Campestre do Maranhão, por serem os maiores produtores da cana, respectivamente.

Assim, esta dissertação distribui-se em quatro capítulos, iniciando-se com essa introdução. No segundo capítulo, apresenta-se a revisão de literatura, demonstrando a caracterização da agricultura canavieira, relevando a sua expansão e seus impactos econômicos, sociais e ambientais. No terceiro, discorre-se sobre os procedimentos metodológicos, englobando a caracterização da área, o período de estudo, as fontes, as técnicas e as análises empregados na investigação. Em seguida, no quarto capítulo, mostram-se os resultados e as discussões do estudo, em consonância com os objetivos propostos e, por fim, no quinto capítulo expõe-se a conclusão da pesquisa.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, abordam-se os conceitos sobre desenvolvimento sustentável e agricultura; a caracterização da agricultura canavieira, englobando a história, as condições de cultivo e uma breve descrição acerca de sua cadeia produtiva; bem como os impactos econômicos, sociais e ambientais do cultivo da cana, com ênfase no desmatamento.

### 2.1 Desenvolvimento sustentável e agricultura

A partir de 1972, com a realização da Conferência de Estocolmo, na Suécia, o desenvolvimento sustentável passou a ser discutido, evoluindo ao longo do tempo em diversos eventos mundiais, nos quais se testemunham os esforços de cientistas na tentativa de compreender os problemas ambientais a partir de uma visão sistêmica. Isso porque essa temática constitui um campo de estudo amplamente pesquisado, podendo ser abordado sob diferentes enfoques, em uma perspectiva interdisciplinar, recebendo a contribuição de diferentes áreas de conhecimento.

O surgimento oficial do termo *desenvolvimento sustentável* aconteceu na Conferência de Brundtland, em 1987, com a publicação do relatório intitulado *Nosso Futuro Comum*. Na ocasião, definiu-se o referido modelo de desenvolvimento como aquele capaz de suprir as necessidades do presente, atendendo às demandas do futuro (WCED, 1987).

Mesmo sabendo que esse conceito foi amplamente difundido e aceito mundialmente sob uma acepção crítica, entende-se que ele é retórico e muitas vezes, utópico, por ser bastante citado mas pouco praticado, e nem sempre considerar que o crescimento econômico de determinadas regiões gera desigualdades.

Considera-se desenvolvimento sustentável sinônimo de ecodesenvolvimento, terminologia inicialmente proposta por Sachs (1993), que aponta cinco dimensões da sustentabilidade que devem estar interconectadas, a saber: a social, que é direcionada para a redução da pobreza e desigualdades; a econômica, que diz respeito à capacidade produtiva dos ecossistemas; a ecológica, que se refere à preservação dos recursos naturais para a manutenção da biodiversidade; a espacial, que visa a uma configuração rural-urbana equilibrada; e a cultural, que tem como vertente o respeito à cultura, às identidades e às tradições de comunidades locais.

Na década de 1990, também surgiu o modelo conceitual *Triple Bottom Line*, (Tripé da Sustentabilidade, em português), com o trabalho de Elkington (1999), com o entendimento de

que esse termo não pode ser estudado de forma isolada, sendo necessária uma compreensão integrada das dimensões social, econômica e ambiental.

Nesta dissertação, adota-se esse modelo, embora sejam estudadas nesta seção as três dimensões, com vistas a averiguar as bases teóricas existentes. Contudo, para os fins desta pesquisa, enfatizam-se as duas últimas, com a finalidade de investigar as consequências da expansão do cultivo da cana em municípios do Maranhão.

Cavalcanti (2012) refere-se ao desenvolvimento sustentável como “responsável”, pois considera que tal paradigma se realiza em um processo socioeconômico onde se minimiza o uso de matéria e energia, em virtude da depleção de recursos naturais e impactos ambientais, por meio do lançamento de dejetos na natureza.

Por outro lado, o referido autor afirma que é necessário considerar a preocupação de maximização do bem-estar social para atingir uma situação de eficiência máxima no uso de recursos da natureza, sejam renováveis – como a fauna, flora, água, solo e ar – ou não renováveis, a exemplo de petróleo e minério de ferro.

Para Sachs (2009), a sustentabilidade presume o uso adequado de recursos renováveis disponíveis em abundância. A partir dessa visão, atina-se que para que ocorra o desenvolvimento sustentável em uma sociedade, é preciso que se usem – de forma equilibrada e racional – os recursos à disposição na natureza, com o intuito de atender às demandas do progresso, como a produção de bens e serviços.

É notório que a agricultura constitui uma atividade tradicionalmente praticada há milhares de anos no planeta, assumindo um papel meritório no crescimento econômico de determinadas regiões. No entanto, deve-se analisar até que ponto se pode praticar a atividade agrícola de forma sustentável.

Nesse contexto, a década de 1990 foi indispensável para o avanço da sustentabilidade no setor agrícola. Dentre os principais eventos sobre o tema, estão a reunião da Eco 92, realizada no Rio de Janeiro, que deu origem ao documento intitulado *Agenda 21*; e a reunião do Comitê dos Ministros da Agricultura dos países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), em 1998.

A partir desses acontecimentos, estabeleceu-se que a agricultura deve apresentar um aspecto multifuncional. Então, conforme Rosseto (2004, p. 2),

[...] além de sua função primária de produção de fibras e alimentos, deve também atuar na proteção do ambiente, moldar a paisagem, trazer benefícios ambientais- como conservação do solo e gestão sustentável dos recursos naturais renováveis, preservação da biodiversidade -, e contribuir para a viabilidade socioeconômica das áreas rurais, gerando empregos e colaborando na manutenção dos conceitos de

territorialidade pelo qual a fixação do homem ao campo compõe e consolida os tratos da cultura local, regional e, conseqüentemente nacional.

Com efeito, a agricultura multifuncional transcende o caráter meramente econômico de produção, pois leva em conta as conseqüências geradas pela atividade produtiva. Em consonância com Granziera e Saes (2014), na multifuncionalidade, analisam-se as funções ambientais, socioculturais e territoriais no desempenho da agricultura. Com isso, reconhece-se que a sua aplicação é uma estratégia válida para alcançar e manter a sustentabilidade no ambiente agrícola.

No entendimento de Soglio (2013), se por um lado, emerge a necessidade de adotar a sustentabilidade na agricultura, por meio de práticas sustentáveis, os setores da economia julgam que essa transição dependeria de recursos e insumos não facilmente encontrados, não existindo alternativas para a produção das quantidades necessárias de alimentos para o atendimento das demandas da população mundial. Essa visão favorece a modernização e elevação da produtividade agrícola em detrimento da sustentabilidade.

Corroborando essa ideia, Machado (2019) critica o modelo de produção do agronegócio brasileiro, que segue o paradigma produtivista, cuja maior preocupação é obter uma eficiência máxima de produção. Na visão do susodito autor, o País está distante de alcançar a multifuncionalidade e o desenvolvimento sustentável na agricultura, pois falta incentivo do governo no que concerne à execução de políticas públicas com tais finalidades.

Segundo Assad e Almeida (2004), existem desafios que precisam ser considerados na implantação da sustentabilidade na agricultura: na dimensão econômica, o principal é a adoção de sistemas de produção e cultivo que reduzam perdas e desperdícios, otimizando a produtividade e o retorno sobre o investimento; do ponto de vista ambiental, tem-se como dificuldade a adoção de sistemas de produção agrícolas que utilizem o mínimo possível de recursos naturais não renováveis do ambiente; já na concepção social, concebe-se a necessidade de condições dignas de trabalho, geração de renda e remuneração adequada para o trabalhador rural.

O desenvolvimento da agricultura, sob uma perspectiva sustentável é, portanto, uma temática emergente e relevante, tendo em vista o crescimento populacional e a necessidade de produção para o consumo alimentar. Desse modo, valida-se a relevância da avaliação dos níveis de sustentabilidade desempenhados pelos sistemas agrícolas como forma de identificar e prevenir potenciais problemas ou dificuldades em suas dimensões.

Nesse sentido, Borlachenco e Gonçalves (2017) defendem o uso de indicadores de sustentabilidade categorizados nas dimensões econômicas, sociais e ambientais para avaliar o

desempenho de cadeias agrícolas. Conforme os supracitados autores, esses indicadores são úteis para quantificar e apreciar a produção agropecuária, cujo uso está crescendo, dada a preocupação com o esgotamento dos recursos naturais finitos.

Entretanto, Carvalho e Barcellos (2010) ressaltam que o uso de indicadores são medidas parciais e aproximativas, pois a sustentabilidade é imensurável. Tal afirmação se deve primeiro, ao fato de não existir uma definição universal de sustentabilidade que possa ser aplicada a todas as situações, que não seja genérica ou com pouca precisão; segundo, devido às estatísticas sobre o tema serem insuficientes e de difícil acesso.

Não obstante, existem esforços de entidades governamentais que realizam o levantamento de informações, inclusive na atividade agropecuária, a exemplo do IBGE, em âmbito municipal, em pesquisas como o Produto Interno Bruto (PIB), a PAM, a Pesquisa de Gestão Municipal (MUNIC), dados cadastrais de empresas, saneamento básico, Censo demográfico, contagem da população; a Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), do Ministério da Economia, entre outros. Essas informações são úteis para a construção de indicadores por meio de modelos estatísticos como também são relevantes para se estudar a realidade de determinadas localidades se considerando as dimensões da sustentabilidade.

Aliás, vale citar como esforço, em nível internacional, no ano de 2015, a elaboração e propagação da Agenda 2030, pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), um instrumento contendo os dezessete Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), inspirado nos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM)<sup>1</sup>. Sua aplicabilidade, no domínio da agricultura, externalizou-se por meio do ODS nº 2, que propõe acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável (ONU, 2015).

Em face de todas essas abordagens, reconhece-se que a implantação de uma agricultura sustentável implica a aplicação de ações nas dimensões da sustentabilidade, visando promover um equilíbrio no uso de recursos renováveis e não renováveis. Sem embargo, sobreleva-se que nem sempre será o caminho escolhido para a redução do desgaste ao meio ambiente.

Com os estudos sistematizados nesta seção, patenteia-se a necessidade de investigação acerca das consequências da agricultura, no tocante à sustentabilidade como forma de atender

---

<sup>1</sup> Os oito ODM abrangiam ações específicas de combate à fome e à pobreza, associadas à implementação de políticas de saúde, saneamento, educação, habitação, promoção da igualdade de gênero e meio ambiente, além de medidas para o estabelecimento de uma parceria global para o desenvolvimento sustentável.

às demandas por alimentos da população – cada vez mais crescente –, a fim de prevenir ou controlar possíveis consequências desfavoráveis geradas.

Nesse sentido, contempla-se a cana-de-açúcar nesta discussão, porquanto se trata de uma cultura agrícola extremamente útil para a população, seja do ponto de vista alimentar ou pela ótica da mobilidade urbana, com geração de combustíveis para o setor automobilístico.

## **2.2 Caracterização da agricultura canavieira**

### **2.2.1 História da cana-de-açúcar no mundo, no Brasil e no Maranhão**

Sistematiza-se, nesta seção, um panorama da trajetória do cultivo da cana-de-açúcar no mundo, no Brasil e no Maranhão, a fim de verificar a sua evolução histórica, em função dos estudos envidados sobre a temática, em nível nacional e internacional.

A agricultura canavieira origina-se das regiões tropicais dos países do sul e sudeste do continente asiático. Estima-se que a cana foi introduzida pela primeira vez há cerca de 6000 a. C., na Nova Guiné. Posteriormente, difundiu-se no continente asiático, com maior intensidade na Índia; na Oceania, teve grande expansão na Austrália. A partir do século VII, o cultivo expandiu-se para os países do continente europeu, como Portugal e Espanha, até chegar aos solos brasileiros, durante a colonização da corte portuguesa no início do século XVI (SHARPE, 1998).

Na Europa, a atividade canavieira desenvolveu-se fortemente na Ilha da Madeira, no Oceano Atlântico, entre os séculos XV e XX – a qual foi ocupada pela corte portuguesa, detentora de poder econômico e tecnológico para aperfeiçoamento das técnicas agrícolas e fabricação do açúcar na época. Isso posto, para que se consumasse a exploração da atividade, lançaram mão de escravos africanos e modernizados processos de produção. A fim de otimizar os nutrientes da cana e evitarem as perdas da sacarose após o corte, os processos de moagem e cozimento eram desenvolvidos em até 48 horas (VIEIRA, 2007).

No Brasil, o cultivo de cana-de-açúcar tem relevância enquanto atividade econômica desde o período colonial. Nos apontamentos de Szmrecsányi (1979), capta-se que por quase dois séculos após o descobrimento do País, a atividade foi o pilar no qual se sustentou a economia brasileira, contribuindo, inclusive, para o povoamento das regiões onde acontecia o seu plantio.

Na acepção de Prado Júnior (2004), o início da agricultura canavieira no Brasil notabiliza-se pela ocupação e colonização efetiva da costa litorânea, entre 1530 e 1640. Já o



cultivo teve início em Pernambuco, com a finalidade de ampliar a riqueza dos colonizadores, já que o açúcar tinha elevado valor comercial na Europa. Para o referido autor, o País dispunha das condições necessárias para o cultivo: clima quente e úmido, além de solos propícios.

Inicialmente, o desenvolvimento da lavoura da cana utilizava como mão de obra escravista os indígenas existentes no território. Posteriormente, para aumentar a eficiência do sistema de produção, a corte portuguesa resolveu trazer escravos da África. Os engenhos eram os locais estabelecidos para o processamento da cana colhida, a fim de produzir açúcar para exportação. Assim, desenvolvia-se o plantio da cana e a fabricação do açúcar em larga escala na Região Nordeste, por meio do sistema de monocultura (FURTADO, 2005).

Após um longo período de prosperidade, observou-se, no fim do século XVIII e início do seguinte, que a produção açucareira entrou em crise no Brasil. Tal fato ocorreu, principalmente, em função da desvalorização do açúcar brasileiro nos mercados mundiais, os quais preferiam o produto de concorrentes, dotados de melhores aparelhamentos tecnológicos. Mesmo assim, assistiu-se ao crescimento nas exportações, embora em ritmo marcado por lentidão, devido à perda de mercado externo (PRADO JÚNIOR, 2004).

Com o fim do trabalho escravo no século XIX e surgimento do trabalho assalariado, houve uma redução significativa do cultivo da cana na Região Nordeste e expansão da atividade na Região Sudeste, principalmente no estado de São Paulo, afetado por uma forte crise no setor cafeeiro (NOCELLI *et al.*, 2017).

Na transição para o século XX, ainda se considerava a atividade canavieira relevante, em virtude de a produção do açúcar ser realizada em larga escala no País e de sua importância no atendimento à economia de exportação. Nesse sentido, manifesta-se o Instituto do Açúcar e Álcool (IAA), órgão do governo federal que tinha por finalidade o estabelecimento de quotas de produção para engenhos e usinas, além de regular os preços de comercialização no setor (PRADO JÚNIOR, 2004). Com o passar do tempo, extinguiram-se os engenhos, em detrimento da criação de usinas, que foram estabelecidas na maior parte do território brasileiro.

Entende-se que a produção de açúcar já se consolidou como uma atividade econômica desenvolvida desde o período do Brasil Colônia, percorrendo até após abolição da escravatura, no século XIX. Já o etanol da cana é recente, segundo Cortez (2016), pois se tornou uma alternativa aos combustíveis fósseis no século XX, a partir da década de 1970, com a crise do petróleo e o surgimento do Proálcool, em 1975 – política de incentivo fiscal para a instalação de usinas de fabricação de açúcar e etanol.

A finalidade dessa política, segundo Silva *et al.* (2013), era reduzir a dependência do petróleo com a produção do etanol da cana e gerar um mercado alternativo para os produtores de açúcar, com a expansão das usinas em todo o território brasileiro.

Pode-se constatar, por meio de uma síntese histórica, a partir da década de 1980, que a evolução da cana se agrupou em três fases principais: na primeira (1986/1987 a 1995/1996), houve uma desaceleração e crise do Proálcool, e ruptura do padrão subvencionista em detrimento da modernização tecnológica; na segunda (1996/1997 a 2002/2003), ocorreu o agravamento da desregulamentação, a explicitação das dificuldades estruturais; e o surgimento da diversidade de interesses; finalmente, na terceira (2003/2004 a 2013/2014), ocorreu a retomada do etanol, com o mercado *flex-fuel*; muitos Investimentos Diretos Estrangeiros (IDE);<sup>2</sup> e falta de planejamento por parte do governo federal na condução da política de precificação da gasolina, o que desestimulou o consumo de etanol (SHIKIDA; RISSARDI JUNIOR, 2017).

Ressalta-se que com o lançamento da tecnologia *flex-fuel*, no ano de 2003, o consumidor passou a ter a possibilidade de abastecer seus veículos com a mistura do etanol hidratado com a gasolina. Isso permitiu maior comodidade para selecionar o combustível mais barato. Além disso, o etanol traz como benefício a redução de gases poluentes em sua produção, quando comparado aos demais combustíveis fósseis (MELO; SAMPAIO, 2014).

Portanto, fatores como esses marcaram o crescimento da cana-de-açúcar nas últimas décadas do século XX até o início do século XXI, haja vista que a cana constitui um insumo básico de entrada para a produção do etanol e outros produtos.

Como se pode notar, a trajetória da cana é marcada por avanços e retrocessos, pois ora existe o apoio do governo para o seu cultivo, ora há crise no setor, como a decadência do Proálcool, influenciada pela gestão do governo em relação às partes interessadas da política.

A partir do intenso crescimento do cultivo da cana, no fim do século XX, com a execução do Proálcool e o aquecimento do setor automobilístico na primeira década do século XXI, o Brasil não somente alcançou a liderança mundial na produção de cana-de-açúcar e açúcar, como também obteve a segunda posição mundial em fabricação de etanol, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, que o produzem a partir do milho (WISSMANN; SHIKIDA, 2017).

---

<sup>2</sup> É o investimento feito para adquirir interesse duradouro em empresas que operem fora da economia do investidor. A relação de IED compreende uma empresa matriz e uma filial estrangeira, as quais, em conjunto, formam uma empresa multinacional.

Considera-se que as posições alcançadas pelo Brasil foram influenciadas por sua longa extensão territorial e pelas condições climáticas favoráveis existentes. Portanto, reconhece-se que o Nordeste brasileiro conta com abundância de terras e condições de cultivo, representado, principalmente, pelo estado de Pernambuco, que foi o pioneiro na implementação da cana no País. Posteriormente, a atividade produtiva migrou para outras regiões do País, especialmente o Sudeste, Centro-Oeste e Centro-Sul.

No Maranhão, há indícios de que o surgimento do cultivo da cana-de-açúcar tenha acontecido em meados no século XVII, a partir do processo de povoamento pelas zonas litorâneas. Com o desenvolvimento do plantio voltado primordialmente para a exportação, construíram-se muitos engenhos, e povoações surgiram em torno deles (CUENCA; MANDARINO, 2007).

Em 1681, a coroa portuguesa criou a Companhia do Comércio do Maranhão, órgão responsável por regular a produção e exportação do açúcar no estado. Na época, a política de preços elevados foi um dos fatores que impulsionaram a Revolta Beckman,<sup>3</sup> em 1684, sendo, em seguida, marcada pelo fechamento desse órgão. A partir desse período, devido à expulsão dos holandeses do Brasil, o açúcar maranhense começou a sofrer concorrência dos açúcares das Antilhas, nomeadamente de Cuba, voltando a destacar-se em meados do século XVIII, com a criação da Companhia Geral de Comércio do Grão Pará e Maranhão (PEREIRA FILHO, 2015).

Segundo Furtado (2005), o Maranhão alcançou elevada prosperidade econômica no fim do período colonial, pois mostrou condições propícias para desenvolver e se capitalizar com a cana-de-açúcar, por meio da fabricação de açúcar, no fim do século XVIII, indo na contramão da tendência dos demais estados, onde as dificuldades econômicas eram iminentes. Tal fato ocorreu, principalmente, devido à influência dos ingleses, que chegaram nesse estado e proporcionaram intensificação do setor açucareiro, com fins de exportação.

A economia maranhense do século XIX destaca-se pelo cultivo da cana e algodão. Consoante Paula e Silva (2011), os elevados investimentos demandados pelos engenhos de açúcar proporcionaram competição entre essas culturas, e fizeram com que a produção da cana reduzisse a expansão e exportação do algodão.

Já no século XX, conforme Holanda (2009), especificamente na década de 1970, intensifica-se a produção de cana-de-açúcar no Maranhão, em um contexto de implantação de

---

<sup>3</sup> Também chamada *Revolta dos Irmãos Beckman*, aconteceu no então estado do Maranhão, em 1684. É tradicionalmente considerada como um movimento nativista pela historiografia em História do Brasil, e teve como causa o descontentamento contra a Companhia de Comércio do Maranhão.

grandes projetos agroindustriais vinculados ao II Plano Nacional de Desenvolvimento (PND),<sup>4</sup> do Governo Geisel (1974-1978). Desse modo, esses projetos sobrepuseram-se à pecuária extensiva e à economia camponesa tradicional até então vigente.

Posteriormente, houve uma migração, com o incremento da cana para o interior do estado, de tal modo que não se observa mais a execução da atividade produtiva em municípios do litoral maranhense desde o fim do século XX, de acordo com a PAM, do IBGE (IBGE, 2018).

Por intermédio de dados estatísticos disponibilizados na PAM/IBGE (2018), é possível constatar que um elevado crescimento da produção de cana no Maranhão aconteceu entre os anos de 1974 e 2018. Em 1974, havia apenas uma produção, correspondente a 485.917 toneladas, que cresceu substancialmente, com pontos de declínio e recrescimento até chegar ao total de 2.425.329 toneladas, no ano de 2018. Essa evolução representa uma taxa de cerca 399,1%.

Diante do exposto, destaca-se que a cana-de-açúcar, ao longo de sua história, caracteriza-se por sua elevada importância econômica para os territórios que a cultivaram. Isso deve-se tanto à sua utilidade para a alimentação quanto, mais recentemente, à questão da mobilidade urbana, ao constituir insumo básico para a produção de etanol.

Logo, reconhece-se que é fundamental o aprofundamento de pesquisas sobre as consequências econômicas e ambientais que essa cultura agrícola proporciona, especialmente no Maranhão, onde ocorreu grande incidência de crescimento nas últimas décadas.

### 2.2.2 Descrição da cadeia produtiva de cana-de-açúcar

O conceito de cadeia produtiva, segundo Spedding (1975), tem influência da Teoria Geral dos Sistemas, definindo-se como um conjunto de componentes interativos. Baseado nessa concepção, reconhece-se como válida a aplicabilidade desse conceito no setor agrícola.

Tais interações acontecem com o intento de fornecer produtos ou subprodutos por intermédio de fornecedores de insumos e serviços, indústrias de processamento e transformação, distribuidores e comerciantes, e consumidores finais (CASTRO *et al.*, 1994).

No âmbito das *commodities* agrícolas, Carvalho e Costa (2013), consideram que a cadeia produtiva compreende as etapas de processo de produção de um produto até a sua distribuição ao mercado consumidor. Nesse cenário, é oportuno considerar as especificidades

---

<sup>4</sup> Também chamado *II PND*, por determinação constitucional, havia uma obrigação de todo novo governo lançar um plano nacional de desenvolvimento, então foi um plano econômico brasileiro lançado no fim de 1974.

locais e regionais, bem como a integração entre os atores econômicos para que se minimizem problemas e se obtenha eficiência em tempo e custo.

Tais atores são: fornecedores de insumos que fornecem implementos agrícolas e tecnologia; agricultores; processadores, que são as agroindústrias responsáveis por transformar os produtos *in natura*; comerciantes na forma de atacadistas ou varejistas; e o consumidor.

Na acepção de Castro (2001), modelar uma cadeia consiste em construir um modelo gráfico no qual se verificam os componentes, seus elos, fluxos de materiais e capitais. A modelagem, portanto, faz-se necessária para que ocorra o processo de análise de desempenho, mediante a construção de critérios de mensuração dos componentes identificados, com ênfase, especialmente, na eficiência produtiva, qualidade e competitividade.

Assim, compreende-se que a modelagem é inescusável, por contribuir com a identificação de dificuldades, a necessidade de melhorias e o diagnóstico de potencialidades de uma atividade produtiva. Tendo em vista esses conceitos, buscou-se sistematizar os elementos básicos que englobam a cadeia produtiva da cana.

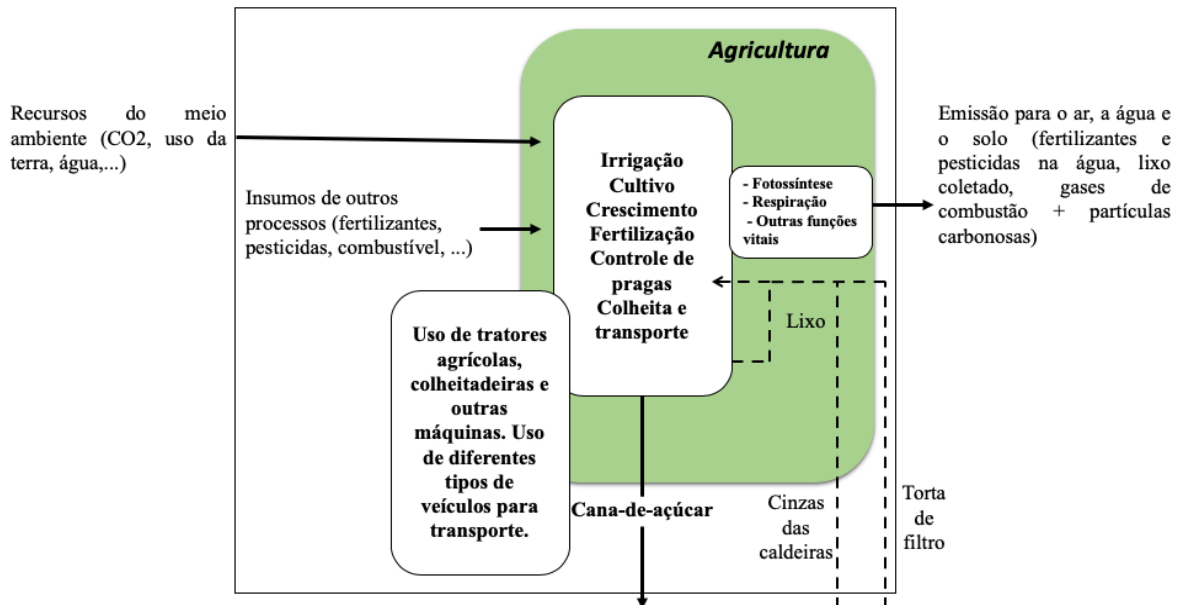
A cadeia produtiva da cana envolve desde a aquisição de insumos, ao seu cultivo até a destinação de sua produção para a fabricação de produtos, como, por exemplo, o etanol, o açúcar, a cachaça e a rapadura, que são destinados ao consumidor final por meio dos canais de comercialização. Nesta dissertação, a ênfase da pesquisa é a fase agrícola.

De acordo com Alcarde (2015), a atividade de produção de cana-de-açúcar envolve as seguintes etapas: plantio; colheita; carregamento; transporte; pagamento da cana pela quantidade; descarregamento; e lavagem. Já as atividades relacionadas ao sistema agroindustrial de processamento da cana abrange: a produção e o abastecimento da indústria com matérias-primas; o gerenciamento de insumos, resíduos, subprodutos; o armazenamento; e a comercialização de produtos finais.

A propósito, Hun, Mele e Pérez (2017) afirmam que a fase agrícola da cana-de-açúcar está diretamente relacionada à sua fase industrial, já que se constituirá em insumo básico para a produção de outros produtos, após o seu processamento na agroindústria. Desse modo, o sistema agrícola da cana compreende as atividades de produção, como o plantio, o cultivo e a colheita.

No Diagrama 1, visualiza-se uma representação das atividades inerentes ao cultivo da cana, bem como suas implicações.

Diagrama 1 – Etapas da agricultura canavieira



Fonte: adaptado de Hun, Mele e Pérez (2017).

Como se pode verificar, como entradas ou *inputs* da fase agrícola da cana, existe o emprego de recursos materiais (insumos) e naturais retirados diretamente do meio ambiente, como, por exemplo, o dióxido de carbono, o uso da terra e os recursos hídricos. Assim, molda-se o processo de cultivo pelas fases de crescimento e emprego de técnicas de manejo, enquanto na saída ou *output*, tem-se a cana produzida para abastecimento do sistema agroindustrial. Porém, nota-se que tal produção traz consequências ao meio ambiente, a exemplo de geração de resíduos, além de emissão de poluentes para o ar, a água e o solo.

Como ocorre em outras atividades produtivas, o cultivo da cana, conjuntamente com sua fase de industrialização, gera resíduos para o meio ambiente e merece atenção especial para que haja o desenvolvimento sustentável da atividade. Os principais resíduos gerados no processo produtivo da cana, em conformidade com Oliveira e Barros (2017), são: o bagaço, a palha, a torta de filtro,<sup>5</sup> a cinza, a vinhaça<sup>6</sup> e águas residuais provenientes da atividade de lavagem da cana. A destinação adequada desses resíduos é necessária, portanto, para o equilíbrio entre a atividade produtiva e a natureza.

<sup>5</sup> Resulta da filtração do lodo gerado na clarificação, apresenta fosfatos, alto teor de matéria orgânica e umidade, que as tornam um resíduo de grande interesse para uso como fertilizante e condicionador do solo. Também pode ser utilizada na alimentação animal.

<sup>6</sup> Igualmente conhecido como *vinhoto*, é o resíduo da destilação do caldo de cana fermentado nas destilarias ou do melaço fermentado para a produção do álcool nas destilarias anexas às usinas de açúcar.

A partir da fase agrícola, a cana torna-se um subproduto para a fase industrial, servindo de insumo para a geração de produtos. Nesse sentido, Scheidl *et al.* (2015) acreditam que as atividades de logística da colheita da cana envolvem, basicamente, os processos de corte, carregamento e transporte para abastecimento à fase industrial.

No Fluxograma 1, observam-se as atividades da colheita.

Fluxograma 1 – Etapas da colheita da cana



Fonte: adaptado de Scheidl *et al.* (2015).

Os susoditos autores consideram, ainda, que a mecanização agrícola assume papel relevante para a obtenção de eficiência produtiva, sendo considerada uma atividade de suporte aos processos logísticos. Desse modo, valida-se a necessidade de manutenção dos veículos, lavagem de equipamentos, criação de planos de prevenção de incêndios, rotinas de fornecimento de combustíveis, bem como preparação das áreas de colheitas.

Corroborando essa questão, Lannoni e Morabito (2002) defendem que uma boa logística de movimentação da cana para as usinas é imprescindível para a otimização da eficiência operacional na produção de seus produtos derivados. Assim, atividades de corte, carregamento e transporte até a área industrial são necessárias, e devem ser coordenadas com agilidade e sincronização, para que não ocorram interrupções nos fluxos produtivos nas usinas de açúcar e etanol, por exemplo.

Então, reconhece-se que a logística é fundamental para o sucesso da fase agrícola da cana, e afeta sobremaneira o desempenho na fase industrial. Expõem-se a seguir alguns estudos que tratam da fase de industrialização da cana.

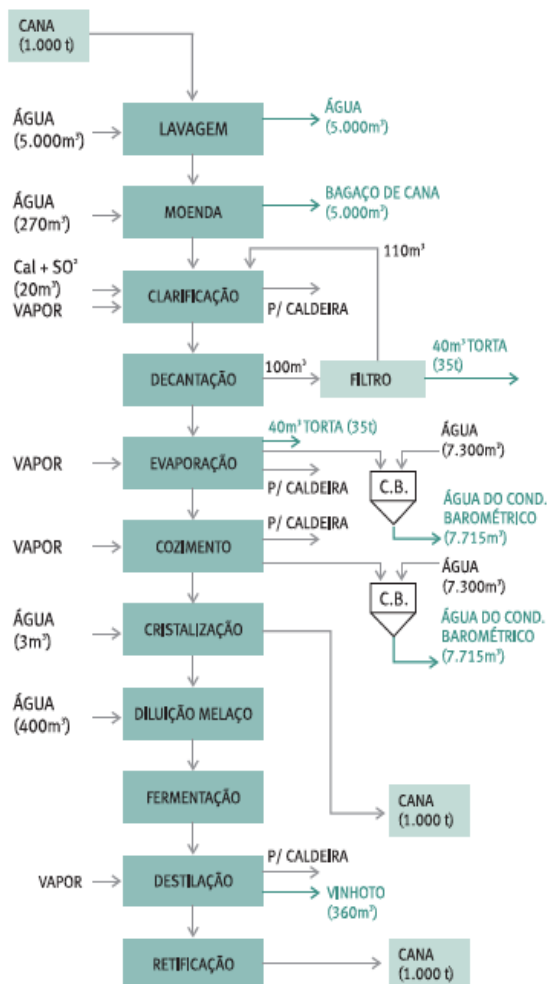
O sistema de recepção da cana nas usinas de açúcar e álcool compreende, segundo Lannoni e Morabito (2002, p. 108), “[...] atividades de pesagem, amostragem, armazenagem intermediária e descarga de cana nas moendas, deve operar com um fluxo de cana transportada

do campo à usina que permita alimentação uniforme das moendas”. A moenda consiste em um aparelho de trituração da cana.

Para Rosseto (2004), os processos devem ser executados com rapidez, pois se ocorrerem falhas ou atrasos, a moenda não será alimentada e o processo produtivo, interrompido, causando prejuízos. Outro fator relevante diz respeito ao armazenamento da cana para os processos produtivos: após a cana passar pela moenda, não pode demorar a ser utilizada; caso contrário, podem ocorrer perdas em sua armazenagem.

No Fluxograma 2, designam-se as atividades de recepção e processamento da cana para a produção de açúcar e álcool.

Fluxograma 2 – Processamento da cana para a produção de açúcar e álcool



Fonte: adaptado de Rosseto (2004).

Visualizam-se na imagem as atividades aplicadas a 1000 toneladas de cana processadas em uma usina no estado de São Paulo. É possível observar a quantidade de recursos hídricos



empregados e os processos físico-químicos adotados para que sejam produzidos, em uma fase posterior, o açúcar e etanol.

A água é um elemento essencial para o processamento, utilizada na usina para a lavagem da cana após a colheita; na limpeza das caldeiras e instalações em geral; na geração de vapor; no resfriamento de gases; nas colunas barométricas dos cristalizadores; nos cristalizadores; na filtração; na incorporação ao produto final; no caso do álcool hidratado, entre outros (ROSSETO, 2004).

Mesmo com a reciclagem de boa parte da água utilizada nos processos industriais, a geração de efluentes e resíduos é elevada, como exemplo do bagaço, da torta de filtro e do vinho, como visto no Fluxograma 2.

Pode-se utilizar o etanol de duas maneiras: enquanto combustível veicular; o hidratado, diretamente no tanque de veículos; e o anidro, como aditivo à gasolina. A produção desse combustível é estratégica, do ponto de vista econômico, social e ambiental, pois gera menores impactos negativos e se torna uma alternativa energética (ZANARDI; COSTA JUNIOR, 2016).

O etanol da cana caracteriza-se como um biocombustível, pois provoca menores emissões de poluentes, em relação aos combustíveis fósseis. Conforme Guevara *et al.* (2016), a produção brasileira desperta o interesse de outros países que procuram combustíveis renováveis de menor custo. Em uma visão crítica, os autores consideram que a abundância de terras e luz solar, somadas às tecnologias existentes, não garantem o alcance de diferenciais, do ponto de vista tecnológico. Apesar disso, são necessários maiores investimentos em pesquisa e desenvolvimento para que, no futuro, nos processos de produção sejam adotadas outras fontes de biomassa, a fim de garantir maiores vantagens competitivas em longo prazo.

A produção da rapadura, na visão de Barbosa, Valentini e Faria (2016), compõe-se pelas seguintes etapas: fase de cultivo do canavial; moagem da cana no engenho; cozimento do caldo; batimento do caldo do tacho para o cocho; batimento/mexedora do caldo concentrado; e finalmente, modelagem da rapadura em formas. Cabe ressaltar que assim como em outros produtos agrícolas, a rapadura deve ser armazenada em temperatura ambiente, para posterior comercialização com o mercado consumidor.

Em consonância com Chaves, Silva e Fernandes (1999), existem outros produtos na cadeia da cana-de-açúcar, como o melado que se obtém do cozimento do caldo de cana, e o melaço, que é um subproduto da massa cozida e cristalizada durante a produção do açúcar. Assim, visando à melhoria de seus negócios, os produtores devem estar atentos à qualidade da matéria-prima empregada (cana); às instalações ou fábrica; à qualidade da água; e à mão de obra; sem falar das condições disponíveis para a comercialização de seus produtos.

Por fim, fabrica-se a cachaça, igualmente conhecida como *aguardente de cana*, a partir da destilação do caldo da cana, realizada após um processo de fermentação. Realiza-se a sua comercialização, principalmente, com a finalidade de consumo direto pelo consumidor, ou como insumo para a produção de outras bebidas alcoólicas (FERNANDES; CHAVES; SILVA, 1995).

No âmbito do Maranhão e do Brasil, por meio dos Censos Agropecuários do IBGE dos anos de 2006 e 2017, identificaram-se as quantidades produzidas desses três últimos produtos decorrentes da agroindústria rural, conforme se visualiza na Tabela 1, abaixo.

Tabela 1 – Representação agroindústria rural da cana no Maranhão

<b>Produto</b>	<b>Maranhão</b>		<b>Brasil</b>	
	2006	2017	2006	2017
Aguardente de cana (mil litros)	4087	2825	91457	83409
Melado (mil litros)	6	41	5911	9539
Rapadura (toneladas)	60	85	30522	22615

Fonte: adaptado do IBGE (2017).

Nota-se que a produção de aguardente sofreu maior declínio entre os anos de 2006 e 2017, no Maranhão; em contrapartida, houve crescimento substancial na produção de melado e rapadura. Em nível nacional, percebeu-se a mesma tendência com o primeiro e segundo item, enquanto o terceiro sofreu queda. Um ponto crítico observado é a baixa participação estadual em relação ao total da produção nacional.

De acordo com os conceitos referenciados, reconhece-se que o sistema agroindustrial brasileiro da cana tem como destaque a geração de produtos finais, como o açúcar e o etanol. No entanto, existem outros produtos fabricados em escalas menores de produção, como a cachaça, a aguardente, a rapadura e o caldo da cana.

### 2.3 Impactos do cultivo de cana-de-açúcar

Dada a importância da cana e os múltiplos usos dela decorrentes, discutidos nas seções anteriores, avaliar a sustentabilidade de seu cultivo é fundamental para a sua manutenção e expansão.

O termo *impacto* nem sempre diz respeito a um fator negativo, gerado nas dimensões sociais, econômicas e ambientais. Pode ser associado a uma consequência benéfica de uma ação antrópica. Neste subcapítulo, discutem-se os impactos do cultivo da cana-de-açúcar com base no tripé da sustentabilidade definido por Elkington (1999).

Coadunando Costa, Silva e Santos (2014), a agricultura canavieira na microrregião de Pajeú, no Pernambuco, tem sido marcada por um desenvolvimento “insustentável”, com consequências desfavoráveis, do ponto de vista socioambiental. Tais condições foram taxadas pelos autores como “perversas”, tendo em vista a depredação do meio ambiente; a redução dos recursos naturais, da fauna, da flora; e a exploração inadequada do trabalho humano.

Guimarães, Turetta e Coutinho (2010) avaliaram a sustentabilidade do cultivo da cana no Mato Grosso do Sul, por meio da aplicação da metodologia intitulada barômetro da sustentabilidade.<sup>7</sup> Na dimensão ambiental, analisaram o uso de agrotóxicos e os domicílios atendidos por redes de água; na social, o índice Gini de concentração de renda e os vínculos de trabalho gerados no setor agropecuário; já na dimensão econômica, o PIB *per capita* e o saldo da balança comercial. A disponibilidade espacial e temporal de dados em órgãos oficiais representou uma dificuldade, daí porque os referidos autores procuram fazer aproximações e inferências para a realidade específica da cana-de-açúcar. Contudo destacou-se também que foram localizados mais indicadores sociais e econômicos do que ambientais. Apesar disso, ferramenta utilizada mostrou-se robusta e capaz de avaliar a atividade produtiva canavieira.

Machado *et al.* (2014) também utilizaram o barômetro para avaliar a expansão canavieira nos municípios paulistas de Barretos e Jaboticabal, verificando o comportamento de 33 indicadores agrupados nas dimensões humanas e ecossistêmicas no município de Barretos, a fim de visualizar se a expansão canavieira regrediu ou contribuiu para a sustentabilidade local. Seus resultados apontaram a ocorrência de maior impacto ambiental negativo no município com maior expansão. Já na aplicação no município em que não houve expansão, o barômetro demonstrou a melhoria no desempenho do indicador de bem-estar humano.

### 2.3.1 Impactos econômicos

Nesta seção, discutem-se os impactos econômicos proporcionados pela atividade produtiva da cana-de-açúcar. Compreende-se que desde a inserção da agricultura canavieira no Brasil, ocorreram oscilações em sua produção nas unidades federativas, acompanhadas de consequências para os municípios onde ocorre a atividade produtiva.

---

<sup>7</sup> É um método de análise bidimensional que inclui o bem-estar humano e o bem-estar ecológico, mensurando o progresso das nações em direção ao desenvolvimento sustentável. O principal objetivo foi agregar os indicadores em índices temáticos e dimensionais para avaliar a sustentabilidade do País.

Prasara e Gheewala (2015) avaliaram a sustentabilidade do cultivo da cana na Tailândia e defenderam que seus impactos econômicos são de natureza quantitativa. Entre eles, citam a geração de empregos diretos – por meio do plantio e da colheita – e indiretos – por meio da preparação e manutenção dos solos, além de geração de renda para os proprietários das fazendas onde a lavoura é cultivada. No entanto, em uma perspectiva crítica, considera-se que o estudo se mostrou limitado, pois diversos outros impactos não foram estudados, sequer mencionados pelos autores.

No Brasil, Shikida e Souza (2009) estudaram a relação entre a agroindústria canavieira e o crescimento econômico local no município de Cidade Gaúcha (Paraná). A presença do cultivo da cana e consequente instalação de usina de açúcar e álcool gerou diversos impactos econômicos para o município, relevando-se: geração de empregos diretos; crescimento da renda, facultando o acesso a diversos outros serviços demandados localmente nos setores de comércio, construção civil, e serviços; aumento da população urbana, o que demonstra que houve fluxo migratório em decorrência da atividade produtiva; além de maior atração de recursos do estado para o município e aumento das receitas próprias em decorrência de tributos. Porém, como ponto crítico, os susoditos autores identificaram como preocupante o excesso de especialização existente no setor canavieiro no município, denotando maior nível de dependência da agroindústria existente.

Lelis e Hespanhol (2015) relacionaram em seu estudo os impactos econômicos da expansão do cultivo de cana no sistema de monocultura no município paulista de Junqueirópolis. Como impactos positivos, constataram a geração de empregos e o incremento do setor sucroalcooleiro, aspectos que revigoraram a economia local. No entanto, houve impactos negativos, como a redução de outras lavouras permanentes e temporárias, rebanho bovino e produção animal.

Segundo Wissmann e Shikida (2017), os impactos econômicos da agricultura canavieira também se caracterizam pela geração e comercialização de produtos decorrentes da produção agrícola. A fabricação de etanol, por exemplo, alcança um crescimento nas últimas décadas, mesmo após a extinção do Proálcool, na década de 1990. Por conseguinte, o setor automobilístico aquece a sua produção, tanto para o consumo interno quanto para a exportação. Da mesma forma, a produção de açúcar mostra-se viável, com tendência de crescimento nas exportações: tal fato é reflexo direto da expansão canavieira no Brasil.

Na região Centro-Oeste testemunhou-se uma decadência de áreas onde se cultivavam outras culturas tradicionais, o que levou à expansão da cana. No entanto, tal expansão foi cercada por dificuldades, como a instabilidade no preço do etanol em detrimento da gasolina,

somada à infraestrutura logística ineficiente para o escoamento da cana e de seus subprodutos (SHIKIDA, 2013).

Entre os diversos efeitos, o Decreto que estabelece o ZAE Cana considera como relevante na dimensão econômica: o aproveitamento de créditos de carbono empregados na produção sustentável de etanol da cana; a organização dos fornecedores da cana em torno de cooperativas, visando à colheita mecânica; a geração de renda ao longo do ano durante o ciclo da cultura; e os investimentos em complexos agroindustriais, demandando outros investimentos em infraestrutura local, como logística, transporte, energia e suporte técnico (BRASIL, 2009).

Silva, Neto e Machado (2016) estudaram a influência do agronegócio da cana sobre os preços das terras na região do Triângulo Mineiro. Indicaram um modelo de regressão múltipla em que os preços das terras sofrem influência das fases de cultivo e agroindustrialização da cana, fortemente motivado pelas variáveis produção da cana, açúcar, etanol (hidratado e anidro) e pela quantidade de veículos fabricados e vendidos.

A crise econômica, ocorrida no ano de 2001, no Brasil, influenciou a redução de impostos para estimular a aquisição de veículos pela população. Nesse cenário, o mercado *flex fuel* teve aquecimento considerável e, conseqüentemente, ocorreu o aumento da produção do etanol hidratado e anidro no território brasileiro, servindo tanto para o abastecimento interno quanto para exportação (SILVA; NETO; MACHADO, 2016).

Nesse contexto, como forma de reação para minimizar os impactos financeiros da crise mundial que afetava o País, o governo federal estabeleceu como política de incentivo fiscal, no período de 2007 a 2015, a redução na alíquota do imposto sobre produtos industrializados (IPI) sobre veículos automotivos, a fim de estimular o consumo (APOLINÁRIO, 2018). Logo, captase que tal ação trouxe como reflexo, ainda, o crescimento da produção da cana-de-açúcar para a fabricação de biocombustíveis, a exemplo do etanol.

Tendo em vista esses estudos de sistematização de impactos econômicos, para os fins deste trabalho, adota-se como concepção o fato de que tais impactos podem existir tanto após fase de cultivo quanto na própria operacionalização da agricultura canavieira.

No setor, já se promove irrigação com a utilização de vinhaça, que é uma espécie de substância líquida gerada na fase de industrialização para a produção de etanol. O uso de vinhaça como fertirrigação, se por um lado recebe críticas pela agressividade que promove nos solos, em relação às suas propriedades químicas (alterações de acidez), por outro, demonstra ser viável do ponto de vista econômico, tendo uma vez que reduz drasticamente a necessidade de uso de água e aquisição de adubos necessários para o cultivo (MORINI *et al.*, 2017).

Nesse sentido, Melo e Esperancini (2012) em um estudo econômico da eficiência da produção da cana no Paraná, perscrutaram as áreas de cultivo, os custos operacionais das operações mecanizadas e manuais, e o valor líquido de produção anual, por meio de uma Análise Envoltória de Dados (DEA). Por oportuno, identificaram como principal gargalo a necessidade de uso adequado dos recursos em parte das unidades produtivas estudadas, particularmente os insumos de produção. Por conseguinte, faz-se necessária uma alocação eficiente dos recursos produtivos com vistas a alcançar um nível de desempenho econômico mais aprimorado.

Por sua vez, Santos *et al.* (2016) estudaram a viabilidade econômica e financeira do cultivo de cana em uma propriedade rural de pequeno porte (73 hectares) em Jaboticabal, no estado de São Paulo, a partir dos modelos de análise custo-volume-lucro e fluxo de caixa descontado. A investigação detectou margem de contribuição positiva na atividade de cultivo, porém, dentro da escala de produção analisada no estabelecimento, verificou-se que a atividade possui desempenho satisfatório quando o cultivo ocorre em 16, 21 ou 70 hectares da capacidade.

Para mais, Santos *et al.* (2018) analisaram o desempenho econômico da produção de cana-de-açúcar em Jaboticabal, considerando as diferentes tecnologias empregadas, denominadas de *pacotes tecnológicos*, que consideram atividades de conservação dos solos, preparação e plantio, englobando, principalmente, a aquisição de tratores e implementos agrícolas. Esses pacotes devem ser empregados de forma a se enquadrarem com o perfil das propriedades rurais. Os referidos autores argumentam que devido aos avanços tecnológicos no setor de produção de cana, estudos de viabilidade econômica são necessários para avaliar os investimentos empregados nas propriedades agrícolas.

Nos estudos de Aguiar e Souza (2014), avaliaram o impacto da produção de cana na agricultura nos oito estados maiores produtores. Nesse ensejo, a cultura de cana foi comparada por meio do modelo *shift-share*<sup>8</sup> com outras culturas de lavouras temporárias e permanentes. O estudo demonstrou um forte crescimento na produção de cana e de soja, repercutindo na perda de áreas nas lavouras de arroz, feijão, milho, café, algodão e laranja. Se por um lado, esse fato é benéfico para o crescimento da produção de açúcar e biocombustíveis, por outro, põe risco à segurança alimentar, quando da substituição de áreas.

---

<sup>8</sup> Uma análise de turno-compartilhamento, usada em ciências regionais, economia política e estudos urbanos, determina quais partes do crescimento ou declínio econômico regional podem ser atribuídas a fatores nacionais, da indústria, econômica e regionais.

Camargo Junior e Toneto Junior (2009) defenderam o uso indicadores econômicos relacionados à produção, arrecadação de impostos e distribuição de renda para avaliar o desempenho dos municípios produtores de cana no estado de São Paulo. Para tanto, aplicaram e compararam tais indicadores quanto aos seus comportamentos, tanto em municípios produtores quanto naqueles que têm ausência da cultura, apontando uma associação entre o cultivo e a produção de açúcar e álcool, e o desempenho dos indicadores em nível municipal.

Outro impacto que afeta diretamente a eficiência produtiva diz respeito à mecanização. Quando executada em processos de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar, influencia tanto o aspecto econômico, ao melhorar a eficiência logística da destinação para agroindústria, quanto o aspecto social, ao eliminar atividades potencialmente perigosas para o trabalhador quando se realiza o corte manualmente (SCHEIDL *et al.*, 2015).

Conforme os estudos revisados, depreendem-se tanto impactos econômicos positivos quanto negativos da cana-de-açúcar. Considera-se que uma vantagem dessa dimensão é a capacidade de mensuração de benefícios ou prejuízos.

Nesta dissertação, a pesquisa aborda, na dimensão econômica, a produção, o rendimento e o valor da cana, além de investigar os fatores econômicos que caracterizam os municípios produtores maranhenses.

### 2.3.2 Impactos sociais

Nesta seção, discutem-se os principais impactos sociais alusivos ao cultivo de cana-de-açúcar. Para alcançar essa finalidade, sistematizam-se estudos nacionais e internacionais sobre a temática.

Segundo Prasara e Gheewala (2015), o principal impacto social da agricultura de cana-de-açúcar que a literatura apresenta diz respeito às condições de cultivo desempenhadas pelos trabalhadores do setor. A mão de obra é taxada como “não qualificada”, por não exigir alta capacidade intelectual para o trabalho.

Assentado nessa posição, admite-se, sob uma perspectiva crítica, que o trabalhador envolvido no cultivo da cana, basicamente, precisa ser dotado de capacidade física para resistir às condições adversas de trabalho inerentes à atividade e ao ambiente.

Corroborando essa concepção, Wissmann e Shikida (2017) afirmam que os impactos sociais da cana estão fortemente relacionados à dinâmica do trabalho, tanto para os que cultivam e realizam a colheita, quanto para os que trabalham na fase de industrialização e geração de outros produtos. Os principais problemas identificados no setor foram: uso de mão de obra

infantil; precarização do trabalho; desemprego gerado pela mecanização. Esse último, se de um lado, ajuda a reduzir impactos ambientais e a obter ganhos econômicos em produtividade, de outro, reduz drasticamente o uso de mão de obra em períodos de safra.

Mesmo assim, os supracitados autores consideraram que os empregos gerados no mercado formal, no setor, mostraram tendência favorável quando associados ao cultivo para o abastecimento da agroindústria canavieira, principalmente para a produção de etanol. Todavia, acredita-se que esse acréscimo, muitas vezes, pode ser acompanhado por fluxos migratórios para cidades onde a atividade econômica se desenvolve de forma intensa, agregando novas dificuldades para a gestão das cidades.

Nesse sentido, conforme Santos e Carneiro (2014), agricultores e familiares que arrendam terras para agroindústrias canavieiras também sofrem consequências sociais. Muitos deixam a zona rural, de onde tiravam a sua subsistência, para migrar para a zona urbana, sobrevivendo com os valores monetários do arrendamento. No entanto, estranham as novas rotinas nas cidades que, por sua vez, sentem as consequências do aumento da população e a escassez de alimentos que antes eram produzidos pelos agricultores, podendo, como consequência, afetar também a segurança alimentar e gerar insatisfações na categoria.

Coadunando o pensamento dos susoditos autores, Sant'anna *et al.* (2016) ratificam que a expansão canavieira põe em risco a segurança alimentar, apresentando como argumento principal a expansão do uso de terras para a produção da cana e consequente produção em larga escala de etanol, que substitui terras usadas anteriormente para a produção de grãos e criação de gado.

A partir das abordagens discutidas, cumpre ressaltar que a agricultura canavieira fornece, igualmente, implicações sociais relacionadas à saúde humana. Nessa direção, Abreu *et al.* (2011) estudaram a saúde do trabalhador rural da cana e identificaram que o trabalho é mais precário em áreas com declividade, onde o trabalho de plantio e colheita ocorre de forma manual.

Algumas consequências à saúde do trabalhador são elencadas pelos autores, a saber:

[...] trabalhar sob altas temperaturas, variando entre 23 e 36°C; a presença de poeira e fuligem provenientes da terra e da queima da cana e de animais peçonhentos; os instrumentos usados são cortantes e podem ocasionar acidentes de trabalho; as jornadas diárias são longas, as pausas para descanso são insuficientes, o ritmo de trabalho e o esforço físico são intensos e os salários são baixos (ABREU *et al.*, 2011, p. 57).



Nesse sentido, Leite *et al.* (2018), em um estudo sistemático da literatura nacional e internacional, evidenciaram consequências quanto à saúde do trabalhador e identificaram sintomas graves, como prejuízos à função pulmonar, ocasionando inflamações, estresse, doenças respiratórias, inflamações nasais, alterações cardiovasculares, e doenças renais causadas por desidratações. Para os referidos autores, os trabalhadores envolvidos no corte de cana manual são expostos a riscos físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e psíquicos.

Diante desse cenário, adota-se como posicionamento que se pode minimizar tais riscos e condições inadequadas de trabalho mediante uma atuação governamental efetiva em territórios com incidência de cultivo, visando à fiscalização das condições de trabalho existentes e aplicação de sanções, quando cabíveis.

Ao contrário do que muitos imaginam, não são somente os trabalhadores do sistema de cultivo manual que padecem com riscos e estados de trabalho precários. Sobre essa questão, Laurell e Noriega (1989) apontaram em seu estudo que os operadores de máquinas agrícolas também estão submetidos a uma série de cargas laborais, as quais estão dispostas no Quadro 1.

Quadro 1 – Cargas laborais sofridas pelos operadores de máquinas agrícolas

<b>Carga laboral</b>	<b>Descrição</b>
Cargas físicas	Radiação solar; mudanças bruscas de temperatura; umidade provocada pela chuva ou pelo sereno; ruído e vibrações suscitadas pelo movimento das máquinas; iluminação deficiente no turno noturno.
Cargas químicas	Poeira da terra; fuligem da cana queimada; neblinas e névoas decorrentes de mudanças de temperatura; resíduos de produtos químicos utilizados nos tratamentos culturais da cana.
Cargas biológicas	Picadas de animais peçonhentos e contaminação bacteriológica por ingestão de água e alimentos deteriorados.
Cargas mecânicas	Acidentes de trajeto e acidentes em geral, provocados pelo manuseio de máquinas de pequeno e grande porte, e de diversos tipos de equipamentos, implementos e ferramentas; risco de incêndio e de explosão.
Cargas fisiológicas	Posturas incorretas; movimentos repetitivos; trabalho noturno e alternância de turnos.
Cargas psíquicas	Atenção e concentração constantes; supervisão com pressão; consciência da periculosidade e ausência de controle do trabalho; ritmos intensificados; ausência de pausas regulares; subordinação aos movimentos das máquinas; monotonia e repetitividade; responsabilidade; ausência de treinamento adequado; ameaça de desemprego e de redução no valor real do salário, entre outras.

Fonte: elaborado pelo autor, com base em Laurell e Noriega (1989); Abreu *et al.* (2011, p. 58).

Então, constata-se que são diversos os riscos laborais que o trabalhador envolvido na atividade agrícola da cana sofre. Entretanto, essas consequências podem ser minimizadas com o uso adequado de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e melhores condições laborais, de acordo com as capacidades dos trabalhadores. Desse modo, é possível inferir que se os

estabelecimentos agrícolas proporcionarem tais condições de trabalho, certamente ocorrerá menor quantidade de acidentes de trabalho.

Ademais, assimilou-se o impacto para a saúde da população residente no entorno das propriedades rurais que pratica queimadas no sistema de colheita manual da cana. Nesse sentido, Uriarte *et al.* (2009), em um estudo de municípios produtores em São Paulo, identificaram os efeitos dos incêndios associados ao cultivo de cana-de-açúcar na saúde respiratória de residentes nas proximidades das áreas de cultivo. Para os municípios com mais de 50% da terra utilizada para o cultivo de cana-de-açúcar, o percentual de doenças respiratórias aumentou para 15% em idosos, e 12% em crianças no ano de 2003.

Diante dessa realidade, torna-se preocupante a existência de condições precárias de trabalho no setor canavieiro em pleno século XXI. Por essa razão, reputam-se necessárias ações mitigadoras, como a proposição de políticas de incentivo aos trabalhadores e produtores rurais, assim como controle mais eficaz das ações de fiscalização.

### 2.3.3 Impactos ambientais

O termo *impacto ambiental* é apreciado neste trabalho de acordo com a Resolução nº 01, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que o define como quaisquer alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causadas por quaisquer formas de matéria ou energia resultantes das atividades humanas (BRASIL, 1986).

Essa normativa também impõe a necessidade de elaboração de Estudos de Impactos Ambientais (EIA) e Relatórios de Impactos Ambientais (RIMA) para a obtenção de licença de funcionamento de empreendimentos de grande porte.

Nessa perspectiva, em concordância com Wissmann e Shikida (2017), as indústrias de produção de açúcar e álcool que se utilizam do cultivo de cana-de-açúcar estão obrigadas a elaborar esses documentos e praticá-los de forma periódica.

Quando se estuda a natureza, é considerável pensar nas fragilidades frente às intervenções humanas. Nessa lógica, torna-se relevante verificar até que ponto se pode desenvolver o crescimento da agricultura de forma sustentável, visando à conservação dos recursos naturais disponíveis no meio ambiente.

Nesse âmbito, Jordão e Moretto (2015) abordam o conceito de vulnerabilidade ambiental na atividade produtiva de cana-de-açúcar, como um conjunto de fatores de exposição, sensibilidade e resiliência do ambiente às ações antrópicas.

Para os supracitados autores, os fatores de exposição são alterações na paisagem, influenciadas pela supressão da vegetação para uso agrícola; poluição decorrente das emissões geradas na queima da palha da cana antes do corte, bem como aplicação de agrotóxicos e geração de resíduos; uso de recursos naturais e pressão da expansão. Já os fatores de sensibilidade podem se agrupar quanto ao uso de recursos naturais e alterações na biodiversidade. Por seu turno, os fatores de resiliência envolvem o controle ambiental; a aplicação da legislação pertinente; o controle da expansão; as ações dos proprietários; e as ações de conservação.

Da classificação exposta, valida-se a existência de diversos impactos da agricultura canavieira para o meio ambiente, os quais devem ser controlados para que a atividade produtiva ocorra de forma equilibrada no aspecto ambiental, em harmonia com outras atividades da agropecuária.

Na acepção de Wissmann e Shikida (2017), no setor canavieiro, os impactos ambientais ocorrem desde o cultivo (fase agrícola), passando pela industrialização (fase industrial), até alcançar o uso do produto final (fase consumo). Considerando a grande quantidade de impactos aduzida na literatura disponível, este trabalho optou pela realização de um recorte no tocante ao estudo de impactos atinentes apenas à fase agrícola, por se considerar que essa fase proporciona consequências ambientais no que diz respeito a supressão de vegetação nativa.

Castro *et al.* (2010), em um estudo realizado no Centro-Sul, afirmaram que se pode classificar os impactos ambientais do cultivo de cana como diretos e indiretos. Os primeiros podem ser assim exemplificados: a concorrência pelo uso da terra; o desmatamento; as queimadas; as emissões de gases; e a contaminação dos solos e da água. Já os indiretos se referem ao cultivo em pastos que deveriam ser destinados, prioritariamente, à pecuária.

No Brasil, 10,9% da colheita da safra da cana de 2020/2021 aconteceu de forma manual. Contudo, quando se verifica a Região Nordeste, capta-se que o percentual de colheita manual na safra de 2020/2021 foi de 80,8%, ou seja, um índice elevado, que se justifica pelo relevo mais acidentado e pela disposição de mão de obra (CONAB, 2020). Dessa forma, é necessária a realização de queimada da palha antes do corte, e tal atividade, além de agredir o meio ambiente, com a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEES), afeta negativamente a saúde da população residente nas proximidades.

Entrementes, para Abdala e Ribeiro (2011), o setor evoluiu, do ponto de vista tecnológico, minimizando impactos como queimadas e geração de resíduos. No entanto, ainda persiste a preocupação com o desmatamento de áreas para a expansão canavieira e a elevada utilização de recursos hídricos nas regiões onde predomina o cultivo dessa cultura agrícola.

Andrade *et al.* (2011), em um estudo de viabilidade técnica e econômica do cultivo da cana no município de Catanduvas, em São Paulo, analisaram comparativamente os custos e impactos envolvidos no corte de cana queimada (manual) e no corte de cana crua (mecanizado). O corte da cana crua mostrou-se mais viável, tanto do ponto de vista ambiental, quando se consideraram as perdas de solos e nutrientes por erosão, como do ponto de vista econômico-financeiro. Assim, os resultados apontaram que a cana queimada faz com que ocorram perdas de 48,82% por hectare a mais de solo, 56,45% de potássio e 60,78% de fósforo, em relação à cana crua.

Outrossim, a cana queimada mostrou-se mais onerosa, do ponto de vista financeiro, apresentando maiores custos de produção e menores retornos médios, quando comparada à cana crua. Justifica-se essa informação pela necessidade de maiores gastos com nutrientes para aplicação nos solos, com vistas à minimização do processo de erosão (ANDRADE *et al.*, 2011).

Entretanto, se por um lado, a mecanização gera como impacto positivo a redução das queimadas e, conseqüentemente, menor liberação de gases na atmosfera, por outro, aumenta o consumo de combustíveis fósseis em máquinas agrícolas empregadas para a colheita, o que se pode considerar uma externalidade ambiental (SCHEIDL *et al.*, 2015).

Segundo Morini *et al.* (2017), o plantio e a colheita, quando realizados de forma mecanizada, garantem maior rapidez, promovendo melhores condições de trabalho e ganhos econômicos. Além disso, quando ocorre a mecanização, não há necessidade de queimar a palha da cana antes do corte. Evita-se, com isso, a poluição atmosférica, com a liberação de gases, assim como a incidência de problemas respiratórios na população residente no entorno das áreas de cultivo. Os resíduos de palhas podem ser reutilizáveis para a alimentação de animais e como combustível para geração de energia.

Sem dúvida, a mecanização oferece benefícios ambientais e econômicos, quando comparada ao plantio e à colheita manual, gerando melhores rendimentos. Porém, tal prática não está isenta de proporcionar conseqüências negativas ao ambiente, tendo em vista que as máquinas são alimentadas por combustíveis fósseis.

Em consonância com Nocelli *et al.* (2017), o rendimento da produção de cana-de-açúcar por hectare associa-se à seleção da variedade adequada para plantio, precipitação fluvial, temperatura e propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além da resistência a herbívoros e doenças.

Para Sobrinho *et al.* (2019), pelo fato de a cana representar uma cultura com *déficit* hídrico, o seu rendimento na fase de industrialização, com a produção de açúcar e etanol, depende, principalmente, da quantidade de água empregada na fase de cultivo. Sendo assim,

faz-se necessário combinar a irrigação da planta com as condições de adubação, o uso do solo adequado, o tipo de corte e o clima.

Os referidos autores sugeriram o emprego do método de irrigação por gotejamento, dada a necessidade hídrica existente e as especificidades da planta. Então, o emprego dessa prática gera benefícios, como o aumento da produtividade e longevidade da espécie, sem falar da redução do tempo empregado para manejo da cultura.

Admite-se neste trabalho que o rendimento da produção de cana tem influência tanto de fatores controláveis como por exemplos mecanização agrícola, manejo, insumos empregados, quanto daqueles não controláveis durante o processo de cultivo, como influência de alterações climáticas durante a safra. Não obstante, o planejamento agrícola, considerando essas práticas e fatores, é essencial para o alcance de bons rendimentos na safra.

Quanto ao tipo de preparo dos solos, há três tipos tradicionais na agricultura para o cultivo da cana: sistema convencional; sistema de cultivo mínimo; e sistema de plantio direto. No primeiro se utilizam técnicas tradicionais, necessitando-se adotar procedimentos como remoção de vegetação, aração, calagem, adubação natural, semeadura, entre outra. Já no segundo, considerado intermediário, é indicado para solos compactados, desse modo pouco necessita do uso de maquinários agrícolas. No terceiro otimiza-se o uso dos solos conservando suas propriedades orgânicas e também utilizando-se técnicas como rotação de culturas. Desses, o último proporciona menor impacto ambiental e é uma eficiente alternativa para a acumulação de matéria orgânica nos solos, melhorando a qualidade das terras cultiváveis (DUARTE JUNIOR; COELHO, 2008).

Diversos efeitos ambientais atinentes ao cultivo de cana são identificados também na literatura internacional. Um estudo desenvolvido na África subsaariana, por Hess *et al.* (2016), agrupou esses impactos nas categorias: atmosfera; alterações nos solos; recursos hídricos; e uso da terra. Sobre esta, os referidos autores argumentam que na conversão de terras agrícolas existentes, pode acontecer desapropriação, deslocamento e meios de subsistência interrompidos, os quais podem reduzir a produção de alimentos e ameaçar a segurança alimentar, além de afetar a biodiversidade presente na vegetação nativa, objeto de desmatamento.

Na província de Tucuman, na Argentina, Hun, Mele e Pérez (2017) avaliaram que a intensificação do cultivo da cana teve como benefício a geração de um combustível ambientalmente sustentável, gerando menores riscos ao meio ambiente. No entanto, se por um lado, o etanol da cana causa menos impactos ao meio ambiente, por outro, o aumento das escalas de produção da cana pode provocar mudança no uso da terra; competição por alimentos,

afetando a segurança alimentar; geração de líquidos residuais; e liberação de substâncias químicas para abastecimento dos veículos necessários para a movimentação da cana cortada.

Na pesquisa de Cherubin *et al.* (2015) constata-se que a mudança no uso da terra, influenciada pelo cultivo de cana, alterou a dinâmica dos nutrientes do solo, uma vez que o uso extensivo de pastagens acidifica o solo, afetando a disponibilidade de nutrientes. Por outro lado, a utilização de insumos de cal e fertilizantes melhoraram a fertilidade do solo nas plantações, bem como a substituição às pastagens recupera parcialmente a qualidade química do solo.

No estudo de Prasara e Gheewala (2015) sobre a avaliação da sustentabilidade no cultivo de cana na Tailândia, desenvolveu-se uma análise acerca de seu ciclo de vida, denotando que os maiores impactos estão relacionados aos recursos hídricos, com ênfase na ecotoxicidade da água doce, eutrofização em água doce e ecotoxicidade marinha. Destarte, identificaram-se ótimas quantidades para aplicação de fertilizantes e pesticidas, a fim de aumentar a produtividade. Nesse sentido, a pesquisa considerou a sustentabilidade apenas sob o ponto de vista ambiental.

No entorno das bacias hidrográficas, Davis *et al.* (2013) identificaram que o cultivo de cana pode causar contaminação das águas por meio do escoamento de agrotóxicos e fertilizantes agrícolas. Por essa razão, é necessário um cuidado elevado na aplicação desses produtos químicos, de modo que não provoquem danos ao meio ambiente e à população consumidora dessas águas.

Corroborando essa visão, na Austrália, Thorburn *et al.* (2013) verificaram que as perdas de nitrogênio dos solos podem ser proporcionadas pela alta disposição de água para irrigação e aplicação de fertilizantes. Tal problema se agrava ainda mais quando se desenvolve esse cultivo em bacias hidrográficas.

Diante dos impactos discutidos, nota-se que a maioria dos artigos averiguados abordaram mais de um aspecto ambiental. Pode-se atrelar isso à interdependência existente entre esses elementos, por exemplo: as queimadas na colheita da cana estão diretamente relacionadas à liberação de gases de efeito estufa e ao induzimento de doenças respiratórias no ser humano. Já o uso de fertilizantes pode acarretar um conjunto perdas de nitrogênio e depleção dos nutrientes do solo. Portanto, valida-se que embora os impactos possam ser categorizados, dificilmente acontecerão de forma isolada na natureza.

Assim, para os fins desta dissertação, alude-se à dimensão ambiental, ao uso da terra e à supressão de vegetação nos municípios produtores de cana no Maranhão.

## 2.4 Uso e cobertura da terra

Nesta seção, discutem-se trabalhos que abordam o uso e cobertura da terra, relacionando este como fator econômico modificador da vegetação. Para tanto, verificam-se, inicialmente, as bases conceituais do tema, perscrutando estudos sobre o avanço da agropecuária e sua relação com a cobertura, finalizando-se, nas subseções seguintes, com trabalhos sobre a influência da cana na supressão de vegetação e o desmatamento no Maranhão.

Conceitualmente, pode-se definir a cobertura da terra como os elementos da natureza como a vegetação (natural e plantada), água, gelo, rocha nua, areia e superfícies similares, além das construções artificiais criadas pelo homem, que recobrem a superfície da terra (BIE; LEEUWEN; ZUIDEMA, 1996; ANDERSON *et al.*, 1979).

Já “o uso da terra está relacionado com a função socioeconômica (agricultura, habitação, proteção ambiental) da superfície básica” (BOSSARD; FERANEC; OTAHEL, 2000, p. 15).

No entendimento de Novo (1989), a cobertura diz respeito ao tipo de revestimento da terra, que pode ser vegetação ou área artificial. Embora sejam categorias genéricas, podem demonstrar diferentes tipos de uso. Por exemplo: a vegetação pode ser ocasionada por pastagens, áreas naturais ou uso agrícola.

Complementando essa concepção, Rosa (2007) afirma que o conhecimento sobre uso e ocupação da terra ou dos solos é relevante para o entendimento sobre a organização do espaço geográfico, ou melhor, a forma como o homem ocupa o espaço. Então, é possível inferir quais foram as interferências sobre a natureza e o tipo de ocupação de determinado espaço.

Nessa perspectiva, estudos sobre a dinâmica de ocupação da terra podem servir como instrumentos para a construção de indicadores ambientais e para a avaliação da capacidade de suporte do ambiente, frente às condições empregadas. Com isso, podem facultar a identificação de alternativas que visem a promover a sustentabilidade (IBGE, 2013).

Por cúmulo, considera-se a visão de Mas, Vasconcelos e Rocha (2019), ao defenderem que os estudos sobre mudanças no uso e na cobertura mantêm relação com processos de mudanças tanto em nível global quanto regional, envolvendo, por exemplo, perda de biodiversidade, mudanças climáticas, erosão e inundações.

Para Souza Júnior *et al.* (2020), a trajetória histórica contendo informações espaciais e numéricas sobre as modificações no uso e cobertura da terra no Brasil são fundamentais para o planejamento, a gestão sustentável dos recursos naturais, assim como para a formulação de políticas públicas.

A aplicabilidade dos estudos sobre mudanças no uso e cobertura da terra consiste, inclusive, na detecção da degradação ambiental ao longo do tempo (COSTA *et al.*, 2018). No campo do sensoriamento remoto, identificou-se e optou-se pelo Projeto MapBiomias – entre outros instrumentos existentes no Brasil –, cuja base de dados e imagens captadas por satélites permite a detecção de transformações nos biomas em escala nacional, estadual e municipal, de 1985 a 2019.

A descrição sobre como funciona a captação de imagens é proposta na sequência:

O projeto utiliza a base da coleção Landsat (resolução 30 metros), com processamento de pixel a pixel em nuvem de forma automatizada através da plataforma *Google Earth Engine*. Os resultados dos mosaicos de uso e cobertura de cada ano, são publicados no site do Mapbiomas com livre acesso para o público e com a possibilidade de downloads de seus produtos bem como os mapas de referência utilizados pelo projeto (COSTA *et al.*, 2018, p. 3).

Souza Júnior *et al.* (2020) argumentam que o MapBiomias constitui um esforço multidisciplinar para retratar as modificações em todo o território brasileiro. À vista disso, abordaram as alterações no uso e cobertura da terra no Brasil, no horizonte de três décadas (1985-2017), considerando os biomas Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga, Cerrado, Pampa e Pantanal.

O estudo dos supracitados autores apontou as tendências temporais das cinco principais classes de uso e cobertura da terra, que se referem à primeira camada de classificação. De modo geral, no conjunto dos seis biomas existentes, a classe de florestas foi a que obteve maior redução no período, aproximadamente 61 milhões de hectares de perdas florestais (10%); a formação natural não florestal, composta principalmente por campos, conhecida também por *formação campestre* ou *pastagens naturais*, contou com redução de quase 10%, perdendo 5,7 milhões de hectares; enquanto a agropecuária, constituída por pastagens plantadas e agricultura, avançou 38%, expandindo 66 milhões de hectares. Outras classes, como água e áreas não vegetadas, também cresceram 8% (1 milhão de hectares) e 44% (960 mil hectares), respectivamente.

Vislumbra-se que o monitoramento ambiental equivale a uma importante ferramenta de identificação de problemas e vulnerabilidades, cujo uso pode se dar para o planejamento e a gestão de políticas públicas ou para a mitigação de tais questões.

Nesta dissertação, enfatizam-se as mudanças no uso e cobertura da terra nos biomas Amazônia e Cerrado, devido ao fato de os municípios produtores da cana estarem inseridos neles ou em áreas de transição equivalente.



O bioma Amazônia caracteriza-se por ter florestas que contribuem para o clima global (WERTH, 2002), ao passo que o Cerrado, pela relevância ecológica das vegetações nativas ali presentes, que contém maior diversidade biológica, aspecto que o configura como “*hotspot*” da biodiversidade global (MITTERMEIER *et al.*, 2011). As formações florestais são predominantes no bioma Amazônia, assim como em áreas de transição do bioma Amazônia para Cerrado (ALENCAR *et al.*, 2020).

Nessa conjuntura, Souza Júnior *et al.* (2019) estudaram as mudanças anuais no nível de águas no bioma Amazônia, entre 1985 e 2017. Os resultados identificaram uma redução das águas mais significativa entre 2010 e 2017, de aproximadamente 10% em águas naturais, como rios grandes, pequenos lagos e planícies aluviais. Tal mudança possui ligações com o desmatamento, associado à expansão agrícola; ao desenvolvimento de infraestruturas nas cidades; e à inserção de águas superficiais de natureza antrópica, como a criação de barragens hidrelétricas.

No Brasil, recentemente nos anos de 2019 e 2020, o bioma Amazônia alcançou níveis elevados de supressão de vegetação. Fato esse que gerou o desgaste da imagem do país no exterior, e críticas quanto a necessidade de se executar com eficiência as políticas ambientais vigentes para controle do desmatamento, citam-se por exemplo, o Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) e o Fundo da Amazônia para captação de recursos (MARCOVITCH; PINSKY, 2020).

Ressalta-se que a Amazônia Legal foi criada em 1953 para fins de planejamento territorial. Sua extensão cobre cerca de 60% do território brasileiro, onde engloba os estados da Região Norte, o Mato Grosso e parte do Maranhão. Esse território possui como característica marcante a predominância da floresta tropical amazônica, embora também exista em outros biomas como Pantanal e Cerrado (CARVALHO; DOMINGUES, 2016).

No Cerrado, a savana é um tipo de vegetação nativa heterogênea em relação ao clima, ao solo e à biodiversidade. Outrossim, é sazonal, com estações secas e chuvosas. Diante disso, a detecção de mudanças naturais e de influências antrópicas, representa um desafio. No Brasil, o Cerrado constitui a maior floresta savânica em relação aos países da América do Sul, sendo, inclusive, o bioma mais ameaçado, devido à expansão agrícola. Importa considerar que mesmo a savana sendo abundante nesse bioma, coexistem as seguintes vegetações nativas: as pastagens naturais, também conhecidas por *campos* ou *formação campestre*, e as formações florestais (ALENCAR *et al.*, 2020).

Bayma e Sano (2015) utilizaram o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) para mapearem a supressão de formações florestais e savanas nos municípios de Jataí/GO, Luís Eduardo Magalhães/BA, Mateiros/TO e São Miguel do Araguaia/GO. Os autores consideraram os índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e índice de vegetação realçado (EVI) como válidos para tal finalidade, tendo em vista ambos consideram a sazonalidade da vegetação e a precipitação.

Rodrigo et al. (2019) em um estudo realizado no Oeste da Bahia, utilizaram imagens de radar do satélite *Sentinel-1A* para identificar os níveis de supressão. Os autores defenderam que o uso do sensoriamento remoto para a detecção de mudanças na cobertura da terra no Cerrado pode subsidiar as atividades de fiscalização e controles da ocorrência de desmatamentos ilegais.

Alencar *et al.* (2020) mapearam as mudanças nas vegetações nativas do Cerrado e detectaram que as maiores variações aconteceram nas vegetações entre os anos de 1985 e 2017. Detectaram, ainda, uma taxa média de redução 0,5% ao ano, equivalendo a 748.687 ha/ano. O total de áreas de savanas reduzidas foi de 18% ao longo dos 33 anos, enquanto as florestas reduziram 23%. Contudo, ressalta-se que estas se apresentam em menor proporção – correspondendo a cerca de um quarto das áreas de savanas. Assim, a quantidade mais expressiva de áreas suprimidas foi de formações savânicas.

Conforme Mas, Vasconcelos e Rocha (2019), as categorias de uso e cobertura da terra não são exclusivas, porquanto sua gestão é dinâmica e complexa, podendo uma classe ser convertida em outra. Nesse contexto, as formações savânicas mudam fácil e rapidamente para áreas de pastagens, a pretexto de fatores antrópicos, como o uso de fogo e bióticos com invasão lenhosa, e abióticos com mudanças nas chuvas.

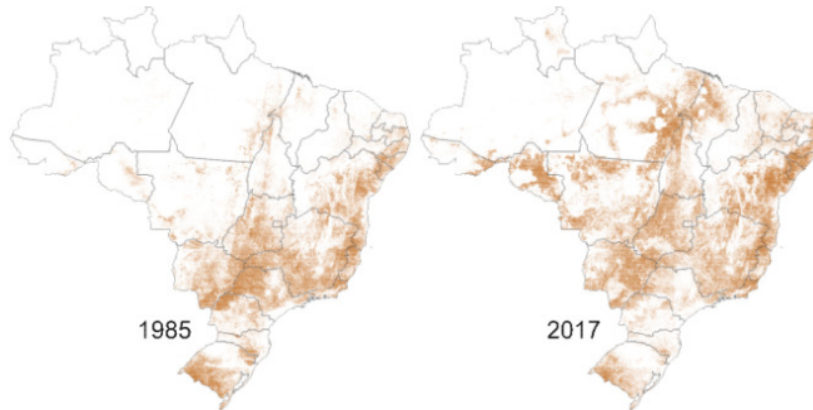
Desse modo, categorias de uso da terra, como pastagens, agricultura, tipos de culturas agrícolas e mosaico de áreas de pastagens e agrícolas são complexas para medição em uma dinâmica espaço-temporal, pois nelas ocorrem mudanças frequentes. Portanto, deve-se considerar a existência de erros de classificação das áreas, tendo em vista a “confusão espectral”, quando os sensores dos satélites classificam de maneira inadequada as categorias (MAS; VASCONCELOS; ROCHA, 2019).

Aliás, Alencar *et al.* (2020) afirmam que esse equívoco pode acontecer na classificação de categorias pastagem e pastagens plantadas, bem como entre savanas, florestas e pastagens naturais. Tal dificuldade também decorre das variações entre as estações chuvosas e secas.

As pastagens plantadas compõem a maior classe de uso da terra no Brasil. Sua finalidade principal é alimentar animais na atividade pecuária. De acordo com Parente *et al.* (2019), ao avaliarem essa categoria e a dinâmica da pecuária no País, entre 1985 e 2017, por meio de

imagens do MapBiomas, seus achados revelaram um crescimento de, aproximadamente, 60 milhões de hectares no período em 33 anos. Cabe ressaltar, ainda, que o maior aumento dessas áreas aconteceu nos primeiros 17 anos do período de estudo. Logo, observou-se um aumento de 57 milhões de hectares até o ano de 2002, seguido por tendência de estabilização nos anos seguintes.

Mapa 1 – Evolução das áreas de pastagens plantadas (1985-2017)



Fonte: Parente *et al.* (2019).

Parente *et al.* (2019) afirmam que as maiores modificações se sucederam nos estados que integram a Região Norte e Centro-Oeste, como se constata na observação do Mapa 1, construído pelos susoditos autores.

No estudo de Parente e Ferreira (2018), concebe-se aumento de cerca de 25 milhões de hectares de pastagens entre os anos de 2000 a 2016. Aproximadamente 80% dessas áreas evoluiu nos seis primeiros anos, sendo a maior parte no bioma Amazônia – cerca de 15 milhões de hectares; no Cerrado, na Caatinga e no Pantanal, esse índice correspondeu, conjuntamente, a 8 milhões de hectares; a Mata Atlântica foi o único bioma que demonstrou retração das áreas de pastagens no período; já o Pampa – bioma cuja predominância é de pastagens naturais – apresentou estabilidade. A partir de 2006, nota-se a tendência de estabilização no incremento das novas áreas.

Na visão Alencar *et al.* (2020), a perda mais recente de vegetações nativas do Cerrado deu-se nos quatro estados que integram o Matopiba, a saber: Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Juntos, esses estados representaram cerca de 55% de perda de cobertura vegetal, entre 2005 e 2017. Assim, atenta-se que a redução da vegetação resulta da expansão agrícola nessa região.

Nesse sentido Buainain, Garcia e Vieira Filho (2018) destacaram que o intenso avanço do setor agropecuário aconteceu especialmente na agricultura com a intensificação de lavouras temporárias no Matopiba. Embora a região seja vista com grande potencial para o agronegócio, tem-se um cenário onde existem desigualdades produtivas, sendo marcado por heterogeneidade, ou seja, muitos municípios possuem características distintivas em relação aos solos, topografia, clima e potencialidade de exploração.

Pitta, Boechat, Mendonça (2017) criticaram a intensificação produtiva nessa região ao afirmarem que as compras de terras a um preço mais baixo para a formação de fazendas teve como consequências a apropriação ilegal por meio de grilagem, expropriação dos camponeses e o desmatamento de vegetação nativa típica do bioma para a instalação dos empreendimentos.

Matricardi *et al.* (2018) realizaram a modelagem do desmatamento no Matopiba por meio de sensoriamento remoto e identificaram que a maior parte da supressão de vegetação nativa está relacionada a expansão das atividades de produção das *commodities* agrícolas. Neste sentido foram simulados três cenários para o período compreendido entre os anos de 2011 e 2050. No cenário otimista foram previstos redução 10,3 milhões de hectares de florestas, no cenário tendencial, previu-se 15,3 milhões, enquanto no pessimista 15,9 milhões.

No Brasil, o Código Florestal brasileiro, instituído pela Lei nº 12651/2012, é a legislação vigente responsável por regulamentar a proteção da vegetação nativa em âmbito nacional. O dispositivo define os seguintes índices de reserva legal para a proteção da cobertura nativa por parte de imóveis rurais: se for localizado em estados da Amazônia Legal, deverá preservar 80% da cobertura da propriedade localizada em florestas; 35% em imóvel situado no cerrado; e 20% em imóveis situados em campos gerais. No entanto, para as demais regiões do País, o percentual de reserva equipara-se a 20%.

Nesse contexto, os estabelecimentos agropecuários que exploram florestas para fins econômicos devem seguir os percentuais de reserva da cobertura nativa para o manejo sustentável adequado e, caso demandem a utilização de mais áreas, estarão vinculados à autorização dos órgãos competentes.

Manejo sustentável: administração da vegetação natural para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras ou não, de múltiplos produtos e subprodutos da flora, bem como a utilização de outros bens e serviços (BRASIL, 2012, p. 2).

A exploração de florestas nativas deve vincular-se a um Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), e ser licenciada por órgão competente do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA).

O Código Florestal, além de regulamentar o uso da cobertura vegetal, tem como contribuição a criação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), segundo o qual as informações das propriedades rurais devem ser cadastradas em uma base de dados, visando ao planejamento e monitoramento ambiental delas.

Conforme Farias *et al.* (2018) o CAR também pode ser utilizado como instrumento potencial para o controle do desmatamento pois apresenta a situação dos estabelecimentos agropecuários, bem como o rastreio de sua evolução ao longo dos anos. Desse modo é possível identificar a relação dos empreendimentos com as supressões das vegetações nativas nas proximidades de suas localizações, tendo em vista que a implementação do cadastro leva em conta o georreferenciamento das áreas totais das propriedades.

Nesse diapasão, é oportuno acrescentar que as mudanças sobre a dinâmica do uso e cobertura da terra são influenciados pelo cenário político. Corroborando Fendrich *et al.* (2020), considera-se como exemplo o caso do Brasil, que passou recentemente por mudança de Presidente, no ano de 2018, e recupera-se de uma das maiores crises econômicas de sua história. Tais fatores contribuem para a elaboração de planos governamentais que ameaçam a conservação ambiental, a exemplo da construção de novas estradas em áreas de difícil acesso na Amazônia e construção de grandes represas.

Diante do exposto, adota-se como posicionamento que estudos sobre uso e cobertura da terra são capazes de demonstrar a dinâmica das cidades e alguns de seus problemas, como é o caso da interferência da ação antrópica sobre o ambiente natural. Destarte, pesquisas com essa perspectiva representam instrumentos inescusáveis para o diagnóstico e monitoramento ambiental.

Nesse contexto, esta dissertação discorre sobre a dinâmica das modificações sobre o uso e cobertura da terra nos municípios produtores maranhenses sob uma perspectiva temporal.

#### 2.4.1 Agricultura canavieira e desmatamento

Diversos trabalhos no Brasil estudam a relação entre o crescimento do cultivo de cana e o desmatamento, como o Santos e Carneiro (2014), realizado em Ituiutaba (MG), em que defenderam que, além da competição por terras e substituição de outras culturas agrícolas, a

expansão canavieira proporciona a destruição do bioma, por meio de interferências na fauna e na flora, afetando a qualidade ambiental local.

Andrade e Matos (2018) investigaram a expansão canavieira no Triângulo Mineiro e no município de Santa Vitória (MG), com ênfase no uso da terra. Por oportuno, revelaram que a expansão da cana tem provocado a conversão de terras destinadas a pastagens e áreas que eram utilizadas como forma de preservação permanente, com proximidade a reservatórios artificiais. Destaca-se que esse último fato é preocupante, tendo em vista que tais áreas não deveriam ser utilizadas para o desenvolvimento de práticas agrícolas, mas foram desobrigadas de preservação em decorrência da publicação do novo Código Florestal, em 2012.

Os autores supracitados designaram essa legislação como permissiva ao desmatamento, dando o exemplo de que as propriedades no entorno de reservatórios artificiais estão desobrigadas a preservar ou reflorestar essas áreas. Na Região do Triângulo Mineiro, proprietários de terras utilizam essas áreas para cultivo da cana-de-açúcar, contribuindo para a expansão da cultura na região. Após a publicação da Lei, já se registrou um índice de 30% na quantidade de supressão da vegetação na Amazônia Legal, entre 2013 e 2017, na região pesquisada.

Manzatto *et al.* (2009) usaram o processamento digital para avaliar o potencial das terras para a expansão do cultivo da cana-de-açúcar nas unidades federativas do Brasil. Tal estudo foi sistematizado no documento ZAE Cana, conforme referido outrora.

Santos e Carneiro (2014) também explanaram que, além da competição por terras e substituição de outras culturas agrícolas, a expansão canavieira afeta diretamente a agricultura familiar local, desgastando as relações produtivas e o abastecimento interno dos municípios.

Para Sant'anna *et al.* (2016), o cultivo de cana pode utilizar diferentes tipos de terras. Os seguintes grupos de produtores e arrendatários foram identificados no estudo: donos de terra que não plantam, mas arrendam terras para a sua produção; produtores que não têm terra, mas as arrendam a terceiros para produzir a cana; e os produtores que detêm a terra e cultivam a cana.

Sparovek *et al.* (2010), em um estudo da evolução da cana no Brasil, entre 1996 e 2006, a partir de dados de bases secundários, como censos e pesquisas agropecuárias, defenderam a tese de que o cultivo de cana concorre com áreas de pastagens, influenciando diretamente a pecuária, com a redução do número de cabeças de gado. Indiretamente, isso interfere na segurança alimentar, pois reduz a quantidade de carne bovina disponibilizada ao consumidor e, certamente, influencia os preços de mercado, em função da lei da oferta e da procura.

Lourenzani e Caldas (2014), ao usarem o método *shift-share*, aplicado em São Paulo, conseguiram identificar que tal expansão da cana utilizou, predominantemente, áreas de pastagens e outras que eram empregadas pela pecuária, afetando-a diretamente, provocando a redução de bovinos na região. As condições edafoclimáticas e o avanço do setor sucroalcooleiro contribuíram identicamente para a expansão da cana na região, tendo em vista que a região se mostrava favorável quanto às condições de relevo (declividade) e clima, revelando potencial favorável também pelo zoneamento agroecológico.

No estado de São Paulo, Câmara e Caldarelli (2016), por meio de uma dinâmica espaço-temporal, baseada no modelo *shift-share*, avaliaram os efeitos da expansão canavieira, averiguando a competição existente pelo uso da terra com relação a outras culturas agrícolas. O estudo deixou como sugestão a investigação sobre como as mudanças no uso da terra afetam a capacidade produtiva por meio da agricultura familiar de comunidades locais, considerando-se a concentração fundiária, os preços das terras, de insumos e de alimentos.

Tendo em vista as repercussões ambientais decorrentes do cultivo de cana, existem métodos para identificar as transformações que ocorrem no ambiente em decorrência das lavouras plantadas. Um deles é o uso satélites para a verificação de alterações no uso e cobertura da terra (GOMES; SANTOS; JANSEN, 2013).

Brito e Reis (2012) investigaram, por meio de sensoriamento remoto, imagens na mesorregião do Triângulo Mineiro, no Brasil, contendo as modificações no uso da terra que foi substituída pelo avanço da cana-de-açúcar no estado. O uso de imagens de satélites apresenta a vantagem de possibilitar o mapeamento de grandes áreas sem a necessidade de ir a campo, onde as imagens foram captadas. No entanto, é necessário conhecimento técnico suficiente para classificar as imagens adequadamente.

No trabalho supracitado, definiram-se quatro tipos de imagens para a cultura da cana, agrupadas nas seguintes categorias: cana-de-açúcar adulta (cor vermelha, com textura lisa e forma geométrica retangular); cana jovem (cor vermelha, brilhante, com textura lisa e forma geométrica retangular); cana colhida (cor verde claro, com textura lisa e forma geométrica retangular); e cana reformada (cor branca, com textura lisa e forma geométrica retangular). Diante dessa delimitação, envidou-se a classificação das imagens dos municípios para filtrar o avanço canavieiro neles, em detrimento de outras culturas agrícolas e usos da terra.

Discussões de vários autores alegam que a expansão canavieira pode acontecer sem a necessidade de desmatar áreas nativas existentes. Isso seria possível a partir da substituição/competição com outras culturas, e redução de áreas de pastagens destinadas para a pecuária.

Para Sparovek *et al.* (2010), a expansão canavieira na Amazônia brasileira não influenciou o desmatamento de novas áreas com vegetação nativa. Para esses autores, pode-se vincular o crescimento da cana a uma redução significativa no tamanho de áreas de pastagens e no número de cabeças de gado na região. O aumento da cana propiciou um crescimento econômico mais elevado nos municípios com expansão, em relação aos que não obtiveram a mesma tendência.

Neves *et al.* (2014) identificaram, em um estudo sobre expansão da cana no Mato Grosso do Sul, que esse avanço não influenciou os índices de desmatamento dos municípios, tendo em vista que para o progresso dessa cultura agrícola no estado, utilizaram-se áreas de pastagens e de cultivo de outras culturas. Ademais, investigaram a influência no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios, constatando a não ocorrência de cenários de melhoria diretamente proporcionados pelo avanço do cultivo.

Por cúmulo, a relação entre crescimento econômico e desmatamento foi alvo dos estudos promovidos por Young (2006), para quem o avanço da agropecuária não motivou o desmatamento de florestas naturais da Amazônia no Sul e Sudeste do Brasil, desmitificando o argumento de que a supressão de vegetação é necessária para que ocorra o aumento das atividades agrícolas e da geração de empregos. Então, um fato igualmente considerável de sua pesquisa aponta que nos estados onde ocorreu maior expansão agrícola, não houve a mesma tendência quanto ao desmatamento.

Diante do exposto, destaca-se a existência de duas correntes teóricas principais: a que defende que a expansão da cana proporciona desmatamento; e a que acredita que esse crescimento pode acontecer sem a necessidade de desmatar novas áreas, sendo ocasionada pela substituição áreas de pastagens e ou áreas agrícolas existentes.

Dito isso, adota-se como linha analítica nesta pesquisa a primeira corrente. Nessa direção, admite-se que a expansão da cana gera desmatamento de vegetação nativa, afetando os biomas e a biodiversidade, com a redução da fauna e flora.

#### 2.4.2 Desmatamento no Maranhão

No Maranhão, existe uma escassez na literatura de pesquisas com enfoque ambiental sobre uso e cobertura da terra. Contudo, localizaram-se alguns estudos que contemplam essa perspectiva.

É o caso da análise de Costa, Andrade e Araújo (2011), em que relacionaram a distribuição espacial da cobertura vegetal e a evolução do uso agrícola no município de



Chapadinha, localizado na mesorregião leste do estado. O estudo revelou intensa ocupação de vegetação nativa para o avanço de áreas agrícolas, especialmente para a expansão da cultura da soja. Ademais, a ocorrência de competição pelo uso da terra para o cultivo da soja, em detrimento de outras culturas, como arroz, milho, feijão e mandioca, acarretando riscos ao abastecimento local.

Por sua vez, Meneghetti e Kux (2014) manusearam imagens por sensoriamento remoto para mapear a cobertura da terra no município de Raposa, que se caracteriza por estar localizado em áreas costeiras próximas à capital maranhense. Para os supramencionados autores, o sensoriamento constitui uma abordagem de monitoramento ambiental para essas áreas, pois transparece a organização de um espaço geográfico com imagens de alta resolução.

Cardoso e Aquino (2015) realizaram um mapeamento do uso e cobertura da terra em cinco microbacias localizadas na sub-bacia do Riacho Roncador, no município de Timon. No estudo, verificaram as áreas por tipo de vegetações e as áreas pressionadas por ações antrópicas como, por exemplo, para construções de propriedades e áreas de lazer.

Já Nascimento *et al.* (2019) promoveram uma análise ambiental acerca do uso e cobertura da terra em uma comunidade quilombola no município de Vargem Grande, em um horizonte temporal de duas décadas (1997 a 2017). No estudo, identificou-se redução de cobertura nativa e aumento de solos improdutivos. Em contrapartida, na área estudada, assimilou-se aumento de vegetação, com influência fluvial e campos agrícolas.

No leste maranhense, especialmente nos municípios de Chapadinha e Buriti, a expansão agrícola de monoculturas cultivadas em larga escala ocasionam a perda de vegetação natural do bioma Cerrado, implicando diretamente a redução da biodiversidade nas áreas suprimidas (ARAÚJO *et al.*, 2019).

Silva *et al.* (2019) investigaram o desmatamento e as suas causas em 170 municípios pertencentes à Amazônia Legal, no Maranhão. Lá identificaram a quantidade de áreas desmatadas por município, entre os anos de 2002 a 2017, apontando uma tendência de redução de áreas desmatadas nos últimos anos. Porém, constataram também o crescimento significativo da agropecuária, com o crescimento do número de bovinos e de áreas utilizadas para a agricultura. Assim, desvelaram que os 25 municípios com maior incidência de desmatamento se localizam nas proximidades de rodovias ou acessos fronteiriços, facilitando o escoamento de produtos agropecuários.

Em nenhum dos trabalhos referidos nesta subseção denotou-se preocupação com a relação entre o cultivo de cana e o desmatamento nesses municípios produtores do Maranhão. Dessa forma, depreende-se que esta pesquisa preencherá essa lacuna de conhecimento científico

no sentido de incitar um avanço nos estudos sobre a expansão da cana-de-açúcar no estado maranhense.

Diante dos estudos ora sistematizados, destaca-se o cuidado dos autores que fundamentam esta averiguação em relacionar o crescimento da agricultura com a ocorrência de supressão de vegetação, indo ao encontro deste trabalho, no qual se adota o mesmo posicionamento, investigando a existência de desmatamento nos municípios produtores de cana.

### 3 METODOLOGIA

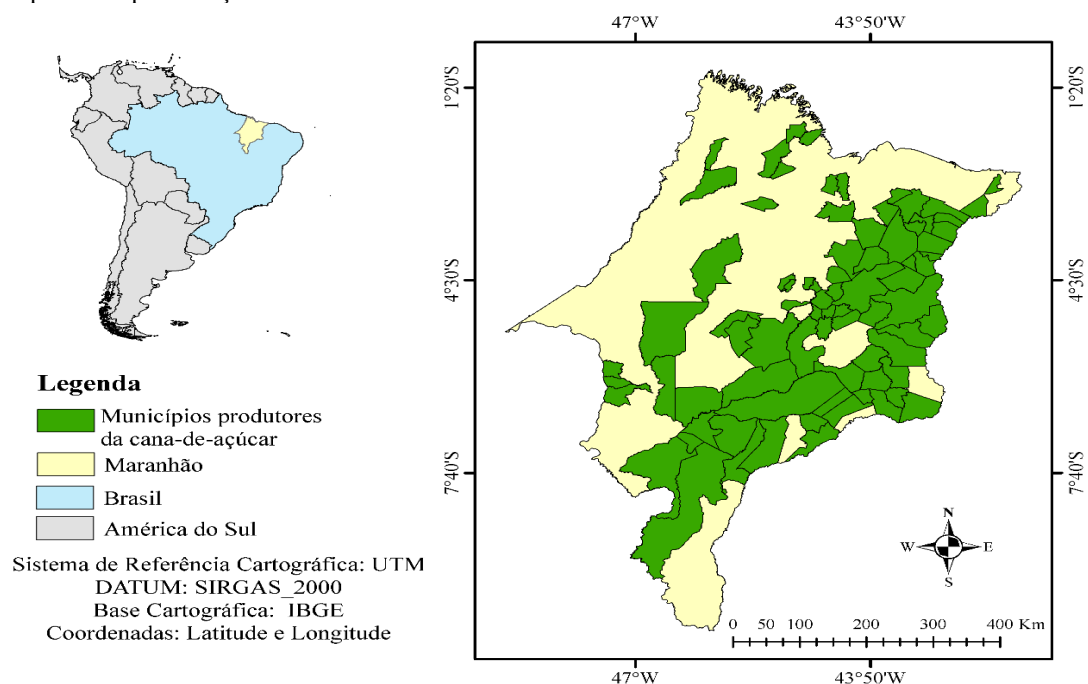
Neste capítulo, detalham-se os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa, quais sejam: a área e o período de estudo; as fontes de dados; as técnicas de coleta; o tratamento e as análises utilizadas.

Em face dessa perspectiva, empregou-se como estratégia de pesquisa a realização de um levantamento de dados em bases de dados secundárias, abrangendo os municípios maranhenses com incidência de produção de cana-de-açúcar. Outrossim, lançou-se mão de pesquisa bibliográfica, bem como visitas *in loco* nos dois municípios com maiores áreas de cultivo.

#### 3.1 Delimitação da área de estudo

O Maranhão localiza-se na Região Nordeste do Brasil, e é composto por 217 municípios. Como critério de seleção da área de estudo, designaram-se os produtores de cana-de-açúcar nesse estado, totalizando um universo de 80 municípios. Para alcançar essa quantidade, utilizou-se o Sistema de Recuperação Automática (SIDRA) do IBGE, por meio de filtragem com base na PAM. No Mapa 2, observa-se a localização dos municípios produtores da cana-de-açúcar no estado em epígrafe.

Mapa 2 – Representação da área de estudo

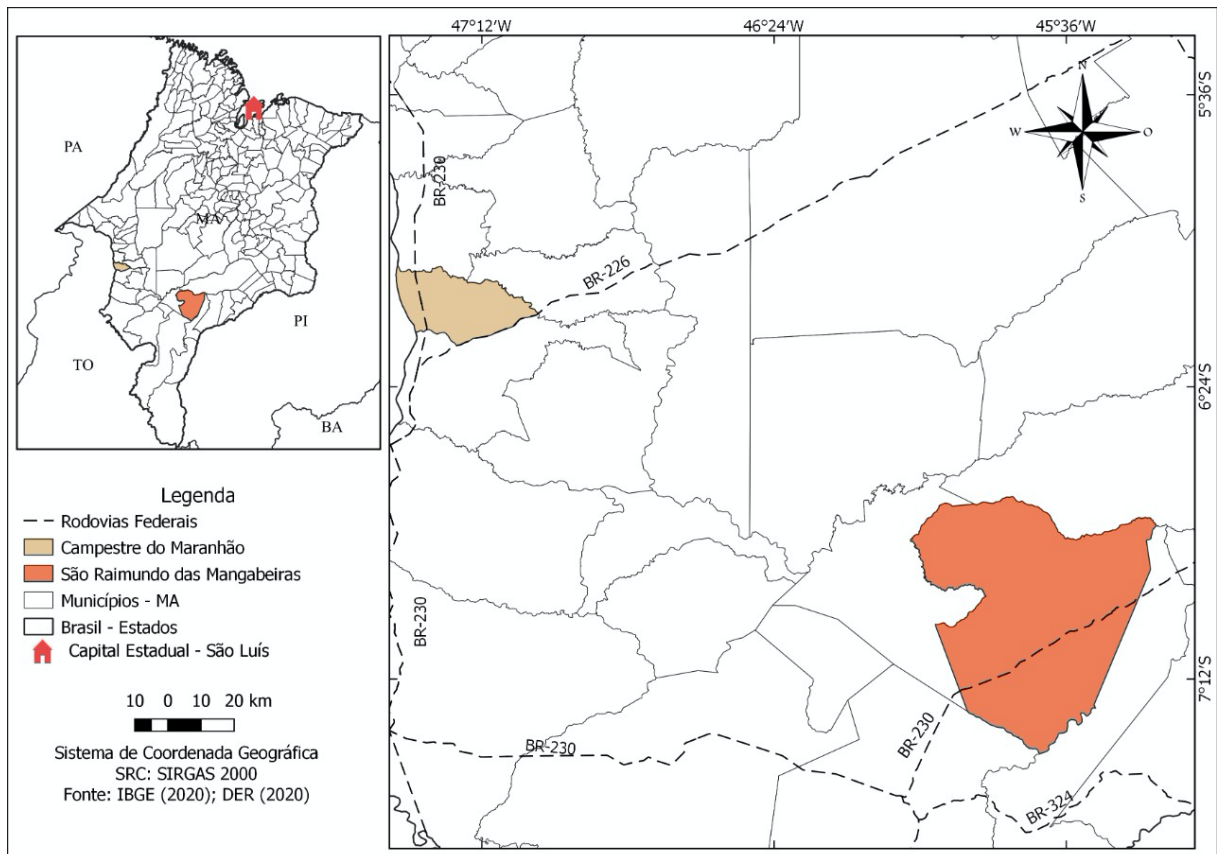


Fonte: organizado e elaborado pelo autor (2020).

Pela localização de todos os municípios estudados, depreende-se que juntos, representam 37% do total da quantidade de municípios do estado. No Apêndice A, disponibiliza-se a lista nominal completa.

A partir do total de municípios produtores, selecionou-se São Raimundo das Mangabeiras e Campestre do Maranhão para verificar as mudanças no uso e na cobertura da terra, a fim de averiguar a supressão da vegetação nativa em decorrência da atividade produtiva de cana. Nesses municípios, cumpriram-se visitas *in loco* em outubro de 2020 para a marcação de pontos de cultivo da cana e levantamento de informações por meio de conversas informais junto a trabalhadores que lidam diretamente com a atividade produtiva e órgãos públicos municipais como secretarias de agricultura e meio ambiente, a fim de se conhecer sobre o funcionamento da atividade em âmbito municipal. No Mapa 3, observa-se a localização dos municípios com maior produção da cana-de-açúcar.

Mapa 3 – Representação dos municípios de Campestre do Maranhão e São Raimundo das Mangabeiras



Fonte: organizado e elaborado pelo autor (2021).

O critério de seleção adotado configurou-se como não probabilístico, com amostragem por conveniência. Destaca-se como justificativa que os dois concentram 52,47 % da produção total da cana no estado, segundo os dados da PAM/IBGE, no ano de 2018, e possuem em seus

territórios usinas de processamento de cana, quais sejam a Agro Serra, no primeiro, e a Maity Bioenergia, no segundo – ambas com a finalidade de produção de etanol. Logo, detêm as maiores áreas de cultivo e produção de cana no estado.

Os municípios estão na mesorregião sul, onde predominam as atividades agrícolas no estado. A distância entre eles é de 401 quilômetros, e estão inseridos no bioma Cerrado.

São Raimundo das Mangabeiras localiza-se a 712,3 quilômetros da capital, São Luís. Com uma extensão territorial de 3.521,513 km<sup>2</sup>, ocupa a vigésima posição no estado. A densidade demográfica do município, em 2017, foi de 5,30 habitantes/km<sup>2</sup>; enquanto o PIB *per capita*, R\$ 20.683,00 reais/habitantes; e o valor da produção da agropecuária esteve em cerca de R\$ 128.558.000,00 (IBGE, 2017).

Já Campestre do Maranhão encontra-se a 739,1 quilômetros da capital. Contudo, sua extensão territorial é bem menor, totalizando apenas 614,658 km<sup>2</sup>, ocupando a posição nº 153 no estado. Conta com densidade demográfica estimada em 23,13 habitantes/km<sup>2</sup>; PIB *per capita* de R\$ 12.238,27; e valor da produção agropecuária totalizado em R\$ 87.375.000,00 (IBGE, 2017).

Desse modo, percebe-se que a economia do primeiro município é elevada, em relação ao segundo. Contudo, considera-se que este possui área bem menor, fato que interfere nas dimensões de uso da terra, no que alude às atividades desenvolvidas.

Na sequência, estabeleceu-se como período de estudo os anos de 1998 a 2018. Os motivos para a definição desse período foram: ser um período contemplado após a extinção do Proálcool, na década de 1990 e o aquecimento das vendas de carro *flex*, nas primeiras décadas do século XXI, conforme Shikida e Rissardi Junior (2017); e por ser um período no qual houve aumento substancial na quantidade produzida da cana no estado (117,74%) consoante a PAM/IBGE(2018).

Também se delimitou o ano de 2017 para a realização de uma análise socioeconômica envolvendo todos os municípios produtores, a fim de demonstrar a realidade mais recente, com base na disponibilidade de dados para coleta das variáveis de estudo.

### **3.2 Fontes secundárias e técnicas de coleta**

Utilizaram-se bases secundárias para o alcance de informações sobre a atividade produtiva da cana-de-açúcar nos 80 municípios produtores, tendo em vista a verificação de medições de áreas das classes de uso e cobertura da terra, e a captação de imagens para construir mapas temáticos referentes aos municípios produtores.

Nesse ensejo, manuseou-se a base de dados da CONAB, da PAM e do Censo Agropecuário mais recente (ano de 2017), cujas informações estão disponíveis no Sistema de Recuperação Automático do IBGE (SIDRA) e do banco de dados sobre uso e cobertura da terra do Projeto MapBiomias, Coleção 5.0.

A PAM já é tradicionalmente realizada pelo IBGE, desde o século XX. Seus dados consistem em levantamento sistemático realizado *in loco* por agentes da instituição em estabelecimentos agropecuários, com a finalidade de obtenção e atualização de informações sobre culturas agrícolas de lavouras permanentes e temporárias (IBGE, 2018).

O Projeto MapBiomias foi escolhido por se considerar que seus dados sobre uso e cobertura da terra atendem a investigação objeto de estudo dessa pesquisa, haja vista que é possível se investigar a ocorrência de supressão das vegetações nativas dos municípios pesquisados considerando as características de cada bioma onde estão inseridos.

Criado em 2015, consiste em uma iniciativa multidisciplinar desenvolvida pelo Observatório do Clima e do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) com parceiros institucionais, como SOS Mata Atlântica, Google, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, ArcPlan, entre outros (MAPBIOMAS, 2020).

O trabalho que o MapBiomias desenvolve consiste em mapear anualmente o uso e cobertura da terra em todo o território nacional. Na plataforma do projeto, é possível consultar dados e imagens do período de 1985 até 2019, onde se identificam evoluções nas localizações delimitadas. O cálculo das áreas de cada classe é realizado pelo projeto, considerando-se os *pixels* das respectivas imagens sensoriadas remotamente. Os dados utilizados foram os da Coleção 5, que é a série de dados e imagens com maior nível de atualizações dos satélites empregados (MAPBIOMAS, 2020).

Do ponto de vista técnico, a classificação realizada pelo MapBiomias é um sistema hierárquico com uma combinação de classes uso e cobertura da terra compatível com os sistemas de classificação da Organização para Agricultura e Alimentação (FAO) e IBGE (2013), sendo guiado pelo algoritmo de classificação *Random Forest* (MACDICKEN, 2015).

Do projeto, utilizou-se banco de dados, contendo a quantificação das áreas de classes de uso e cobertura da terra de cada município produtor de cana, anualmente disponibilizados em planilha eletrônica. Dessa forma, tais áreas foram utilizadas para averiguação da quantificação da evolução de cada classe identificada no mapeamento. Ademais, empregaram-se imagens georreferenciadas, disponibilizadas na plataforma que foram obtidas por meio de sensoriamento remoto, por meio dos satélites *LandSat 5*, para os anos de 1998 a 2011, e *LandSat 8*, entre 2013 e 2018 (MAPBIOMAS, 2020).

A captação de imagens do MapBiomias considera os níveis de precipitação de cada estado. Com isso, define-se o período ótimo de imagens para compor os mosaicos anuais, integrando tanto a estação chuvosa como a seca (ALENCAR *et al.*, 2020).

Vale destacar que assim como em outras metodologias de mapeamento do uso e cobertura da terra, nas imagens do MapBiomias também existem limitações de acurácia, ou de exatidão no mapeamento, que indicaram erros de alocação das classes ou erros nas quantificações das áreas. Isso se deve a complexidade das classes, que são dinsofrem mudanças ao longo do tempo.

Assim, cita-se conforme Alencar *et al.* (2020) a análise de acurácia das imagens captadas do projeto é realizada com base na seleção de pontos amostrais que são analisados por especialistas em sensoriamento remoto, com a intenção de se comparar e interpretar as imagens captadas.

No Quadro 2, verificam-se as variáveis utilizadas na pesquisa, cuja escolha está de acordo com as bases de dados adotadas, tendo em vista o alcance dos objetivos, a problemática e a hipótese definida. Desse modo, considera-se que estas variáveis serão suficientes para identificar a supressão vegetal.

Quadro 2 – Variáveis de estudo

N °	Variáveis de estudo	Unidade de medida	Origem
1	Quantidade produção da cana	Toneladas	Pesquisa Agrícola Municipal
2	Rendimento médio da produção da cana	Quilograma/hectare	
3	Área plantada da cana	Hectare	
4	Valor da produção da cana	Reais	
5	Colheita mecanizada	%	Conab
6	Colheita manual	%	
7	Total área de floresta natural	Hectare	Projeto MapBiomias
8	Área formação florestal	Hectare	
9	Área formação savânica	Hectare	
10	Formação campestre	Hectare	
11	Total área da agropecuária	Hectare	
12	Área de agricultura	Hectare	
13	Área de pastagem	Hectare	
14	Área não vegetada	Hectare	

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

As classes utilizadas e disponibilizadas pelo MapBiomias para a construção dos mapas sobre uso e cobertura da terra estão em consonância com Anderson (1979); Ribeiro e Walter (1998); Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012); e Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013). Observa-se no Quadro 3 a descrição delas.

Quadro 3 – Classes de uso e cobertura da terra utilizadas para construção de mapas temáticos

Classe	Descrição
Formação Florestal	<p>Presente nos biomas: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal.</p> <p>No bioma Amazônia: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Sempre-Verde, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, Savana Arborizada, Áreas que sofreram ação do fogo ou exploração madeireira, Floresta resultante de processos naturais de sucessão, após supressão total ou parcial de vegetação primária por ações antrópicas ou causas naturais, podendo ocorrer árvores remanescentes de vegetação primária. Floresta Ombrófila Aberta Aluvial estabelecida ao longo dos cursos de água, ocupa as planícies e terraços periodicamente ou permanentemente inundados, que na Amazônia constituem fisionomias de matas-de-várzea ou matas-de-igapó, respectivamente.</p> <p>No bioma Cerrado, são tipos de vegetação com predomínio de espécies arbóreas, com formação de dossel contínuo, denominadas de Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão, além de florestas estacionais semidecíduais.</p>
Formação Savânica	<p>Presente nos biomas: Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal.</p> <p>No bioma Cerrado: são formações com estratos arbóreo e arbustivo-herbáceos definidos. Denominadas de Cerrado Sentido Restrito: Cerrado denso, Cerrado típico, Cerrado ralo e Cerrado rupestre.</p>
Formação Campestre	<p>Presente nos biomas: Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal.</p> <p>No bioma Cerrado: formações campestres com predominância de estrato herbáceo, também denominadas de campo sujo, campo limpo e campo rupestre, e algumas áreas de formações savânicas, como Parque de Cerrado e Cerrado rupestre. São também denominadas de pastagens naturais.</p>
Agricultura	<p>Trata-se de terras destinadas para a produção de alimentos, fibras e <i>commodities</i> da cadeia do agronegócio. Incluem: a) lavouras temporárias ou anuais – culturas com curta ou média duração, com ciclo vegetativo menor que um ano. Exemplos: grãos, cereais, bulbos, raízes, tubérculos, hortaliças, cana e mandioca; b) lavouras permanentes ou perenes – plantas perenes com ciclo maior que um ano. São produzidos por vários anos sucessivos sem necessidade de plantio após a colheita. Exemplos: espécies frutíferas e espécies produtoras de fibra, cafeeiros, seringueiros e cacauzeiros.</p>
Pastagem	<p>São áreas destinadas ao pastoreio de gado. São compostas por solos com cobertura de gramíneas leguminosas que servem de alimentos para os animais. A pecuária é a principal atividade econômica desenvolvida nessas áreas, com a criação e o tratamento de animais de pequeno, médio e grande porte. Utilizou-se área de pastagem, predominantemente plantadas, vinculadas à atividade agropecuária, pois as áreas de pastagem natural são predominantemente classificadas como formação campestre, que podem ou não ser pastejadas.</p>
Áreas não vegetadas	<p>São compostas por áreas com infraestrutura urbana, áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistemas viários que englobam vilas, cidades, complexos industriais. Compreendem, também, áreas de praias, dunas e mineração.</p>
Corpos D'água	<p>Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.</p>

Fonte: adaptado IBGE (2013) e MapBiomias (2020).

Ressalta-se que no sistema de classificação do IBGE (2013, p. 90) a vegetação natural compreende

[...] um conjunto de estruturas florestais e campestres, abrangendo desde florestas e campos originais (primários) e alterados até formações florestais espontâneas secundárias, arbustivas, herbáceas e/ou gramíneo lenhosas, em diversos estágios sucessionais de desenvolvimento, distribuídos por diferentes ambientes e situações geográficas.



Dessa forma, nesta dissertação, em conformidade com o Quadro 3 e com base em Alencar *et al.* (2020), reputa-se como vegetação natural ou nativa as florestas naturais dos tipos formações florestais, savânicas e campestres.

As imagens captadas no MapBiomas permitiram a identificação de classes de uso e cobertura da terra em conformidade com os sistemas de classificação discutidos pelo IBGE, as quais foram consideradas nas legendas dos mapas sobre uso e cobertura da terra elaborados.

### 3.3 Tratamento e análise de dados

No SIDRA, verificou-se o Censo Agropecuário de 2017 e os limites dos municípios produtores, assim como a quantidade de produção por municípios, e elaborou-se um mapa de concentração da produção dos municípios por mesorregião.

Visualizaram-se as variáveis quantidade de produção, área plantada, rendimento e valor da produção corrente cana-de-açúcar nos 80 municípios produtores, no período de 1998 a 2018, por meio da PAM/IBGE. Posteriormente, armazenaram-se as informações em uma planilha eletrônica do *Software Excel 2007*. Também organizaram-se em planilhas as áreas das variáveis das classes de uso e cobertura da terra dos municípios produtores no período citado, por meio de acesso à base de dados do Projeto MapBiomas.

Comparou-se o valor da produção corrente da cana para verificar a participação econômica dessa cultura em relação a outras lavouras temporárias, como arroz, mandioca, milho e soja. Examinaram-se os preços anuais da tonelada da produção de todas essas lavouras, por meio da utilização da fórmula 1.

$$P = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

Em que:  $P$  = Preço anual em reais da tonelada da cultura  $x$ ;

$V$  = Valor corrente anual em reais arrecadado com a cultura;

$Q$  = Quantidade produzida anual em toneladas.

Os dados no IBGE estão disponíveis em preços correntes, mas como se deseja analisar o crescimento real, procedeu-se ao deflacionamento dos preços, com o uso do Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI), da Fundação Getúlio Vargas (FGV), por ser o mais adequado para essa finalidade, já que considera os preços de matérias-primas agrícolas e produtos finais.

Para ter acesso aos arquivos de imagens da plataforma MapBiomias, utilizou-se o *Google Earth Engine*, que é uma plataforma de armazenamento de imagens captadas via sensoriamento remoto. Dessa forma, esse sistema serviu para captação e *downloads* dos arquivos no formato *Tiff*, referentes ao uso e cobertura da terra no Maranhão, nos anos de 1998, 2008 e 2018. Posteriormente, fez-se uso do *software* ArcGis 10.6.1, a fim de recortar essas imagens, por meio da máscara dos municípios produtores de cana, disponibilizada em formato *shapefile* pelo IBGE.

Empregaram-se os arquivos para a construção de mapas georreferenciados com a evolução das classes das áreas dos 80 municípios e demais mapas temáticos da localização, intensidade de evolução da agropecuária e quantidade de desmatamento nos municípios avaliados.

Calcularam-se, ainda, as variações das quantidades, em percentuais, da evolução das classes de uso e cobertura da terra, considerando-se os anos de 1998, 2008 e 2018. Dessa forma, constataram-se as variações entre os anos de 1998 e 2018, 1998 e 2008, e 2008 e 2018, a fim de identificar o comportamento tendencial das classes.

Determinaram-se as variações em quantidades das classes em hectares, com a adoção da fórmula 2.

$$\Delta Q_C = Q_{AF} - Q_{AI} \quad (2)$$

Em que:  $\Delta Q_C$  = Variação quantidade de área da classe;

$Q_{AF}$  = Quantidade área ano final;

$Q_{AI}$  = Quantidade área ano inicial.

Já para o cálculo da variação em percentual da evolução das quantidades de áreas das classes delimitadas, adotou-se a fórmula 3.

$$\Delta \%_{QC} = \frac{Q_{AF} - Q_{AI}}{Q_{AI}} \times 100 \quad (3)$$

Em que:  $\Delta \%_{QC}$  = Variação percentual das quantidades de áreas da classe;

$Q_{AF}$  = Quantidade área ano final;

$Q_{AI}$  = Quantidade área ano inicial.

O valor obtido deve ser tratado como uma porcentagem: se positivo, representará o percentual de crescimento da classe; caso seja negativo, demonstrará o percentual de redução da área no período analisado.

Os dados foram desagregados para identificar as quantidades de áreas suprimidas e a evolução das áreas agrícolas em cada município, anualmente. Para o cálculo das quantidades de áreas suprimidas anuais de vegetação nativa em hectares, partiu-se da fórmula 4.

$$Q_{SA} = QVN_{AX} - QVN_{AX+1} \quad (4)$$

Em que:  $Q_{SA}$  = Quantidade de supressão anual (ou áreas suprimidas);

$QVN_{AX}$  = Quantidade de vegetação nativa no ano x;

$QVN_{AX+1}$  = Quantidade de florestas naturais do ano x+1;

A representação de QVN compõe-se da soma da quantidade de formações florestais, savânicas e campestres em hectares, conforme proposto por Alencar *et al.* (2020).

Caso o valor obtido  $Q_{SA}$  seja  $> 0$ , expressará a quantidade de área suprimida em determinado ano; se  $Q_{SA} < 0$ , o valor representará que não houve supressão, mas um crescimento da quantidade de vegetações naturais no ano.

Já para o cálculo da evolução das quantidades de áreas destinadas para a agropecuária anualmente, utilizou-se a fórmula 5.

$$Q_{EA} = QA_{AX} - QA_{AX-1} \quad (5)$$

Em que:  $Q_{EA}$  = Quantidade de evolução agropecuária

$QA_{AX}$  = Quantidade da área da agropecuária no ano x

$QA_{AX-1}$  = Quantidade da área da agropecuária no ano x-1

Se  $Q_{EA} > 0$ , então representará a quantidade de crescimento das áreas destinadas à agricultura em determinado ano. Se  $Q_{EA} < 0$ , indicará a redução de áreas de uso agrícola.

Lançou-se mão do Coeficiente de Pearson (HAIR, 2009) para identificar o grau de correlação entre a quantidade de áreas de vegetações nativas e de agropecuária entre 1998 e 2018. Dessa forma, verificou-se a relação entre as tendências dessas variáveis, visualizada a fórmula a seguir.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2][\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}} \quad (6)$$

Em que:  $r$  representa o coeficiente;  $x_i$  e  $y_i$  são os valores das variáveis; e  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  são as médias.

O valor de  $r$  pode variar de -1 a 1: quanto mais próximo dessas extremidades, maior intensidade existe entre as variáveis. Para processamento dos dados, usou-se o *Software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) 25.0*.

Para consolidar a sistematização da pesquisa, realizou-se a análise gráfica, tabular e cartográfica.

### 3.3.1 Análise multivariada de dados

Para a análise das características sociais econômicas dos municípios produtores de cana, empregou-se a análise multivariada de dados. Diante de diversas técnicas, adotou-se a análise fatorial exploratória, por ser a mais adequada ao objetivo proposto. Assim, o modelo foi gerado por indução, a partir das variáveis observadas (BRYANT; YARNOLD, 2000).

Segundo Hair *et al.* (2009), a análise fatorial é uma técnica de interdependência que procura explicar a correlação entre uma quantidade de variáveis observáveis. Essa totalidade de variáveis é considerada simultaneamente e elas são inter-relacionadas.

Sua aplicabilidade consiste em extrair de um grande número de variáveis, isto é, aquelas com maior relevância ou correlação estatística, por meio da identificação da variabilidade comum entre o conjunto de variáveis. Dessa forma, o uso dessa técnica identifica a correlação existente entre variáveis de forma a agrupá-las em um número menor de variáveis, denominado de fatores (MINGOT, 2005).

Os fatores são dimensões latentes, também denominadas de *construtos*, que resumem ou explicam um conjunto de variáveis observadas (HAIR *et al.*, 2009). Desse modo, servem para descrever as variáveis originais delimitadas em um número menor de conceitos ou dimensões.

Matematicamente, os fatores também são considerados a combinação linear entre as variáveis, visualizados na fórmula a seguir.

$$F_j = C_{1j}X_1 + C_{2j}X_2 + \dots + C_{nj}X_n \quad (7)$$

Onde  $F_j$  é uma combinação linear das variáveis  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , e denominado de componente principal que envolve a procura de um conjunto de valores de  $C_{ij}$ , formando-se, assim, uma combinação linear.

A construção do modelo de análise fatorial desenvolveu-se nas seguintes etapas:

#### 1) Seleção das variáveis de estudo

Adotaram-se 16 variáveis, com base no artigo de Schneider e Waquil (2001), pelo qual desenvolveram uma análise das características socioeconômicas em municípios gaúchos, a

partir de variáveis calculadas em bancos de dados secundários. Na pesquisa dos referidos autores, discute-se a pobreza rural e as desigualdades regionais com base em indicadores.

Assim, calcularam-se as variáveis dos 80 municípios produtores da cana-de-açúcar no Maranhão, considerando-se dimensões como renda, produtividade, uso de recursos produtivos e estrutura fundiária.

Após esse procedimento, elaborou-se uma planilha, em cujas linhas elencaram-se os municípios, e nas colunas, as variáveis e seus respectivos valores, servindo como dados de entrada para rodar a análise fatorial no programa *SPSS 25*.

No Quadro 4, visualizam-se as variáveis utilizadas, contendo nomenclatura, descrição, procedimento de cálculo e unidade de medida.

Quadro 4 – Variáveis utilizadas para o modelo de análise fatorial

(Continua)

Item	Variável	Descrição	Cálculo	Unidade de medida
1	POPRURAL	Proporção da população rural sobre a população total do município	$\frac{\text{População rural}}{\text{População total}} \times 100$	%
2	FINAN_EA	Valor médio de financiamentos obtidos por estabelecimento agropecuário	$\frac{\text{Valor dos financiamentos}}{\text{Quantidade de estabelecimentos}}$	R\$/ estabelecimento
3	VBP_EA	Valor bruto da produção agropecuária por estabelecimento agropecuário	$\frac{\text{Valor da produção dos estabelecimentos agropecuários}}{\text{Quantidade de estabelecimentos}}$	R\$/ estabelecimento
4	VBP_HA	Valor bruto da produção agropecuária por hectare	$\frac{\text{Valor da produção dos estabelecimentos agropecuários}}{\text{Área dos estabelecimentos}}$	R\$/ hectare.
5	VBP_PO	Valor bruto da produção agropecuária por pessoa ocupada	$\frac{\text{Valor da produção dos estabelecimentos agropecuários}}{\text{Pessoal ocupado nos estabelecimentos}}$	R\$/ pessoa ocupada
6	PO_EA	Número médio de pessoas ocupadas por estabelecimento agropecuário	$\frac{\text{Pessoal ocupado nos estabelecimentos}}{\text{Quantidade de estabelecimentos}}$	Pessoas/ estabelecimento

Item	Variável	Descrição	Cálculo	Unidade de medida
7	DESP_EA	Gastos com manutenção e custeio dos estabelecimentos	$\frac{\text{Valor das despesas realizadas pelos estabelecimentos}}{\text{Quantidade de estabelecimentos}}$	R\$ por estabelecimento
8	AREAMED	Área média dos estabelecimentos agropecuários	$\frac{\text{Área dos estabelecimentos agropecuários}}{\text{Quantidade de estabelecimentos}}$	Hectare
9	P_ATE_10	Proporção de estabelecimentos com até 10 hectares	$\frac{\text{Quantidade de estabelecimentos até 10 hectares}}{\text{Quantidade de estabelecimentos}} \times 100$	%
10	P_ATE_20	Proporção de estabelecimentos com até 20 hectares	$\frac{\text{Quantidade de estabelecimentos com até 20 hectares}}{\text{Quantidade de estabelecimento}} \times 100$	%
11	P_ATE_50	Proporção de estabelecimentos com até 50 hectares	$\frac{\text{Quantidade de estabelecimentos com até 50 hectares}}{\text{Quantidade de estabelecimentos}} \times 100$	%
12	P_PRCONS	Proporção de estabelecimentos que utilizam práticas conservacionistas	$\frac{\text{Quantidade de estabelecimentos que utilizam as práticas}}{\text{Quantidade de estabelecimentos}} \times 100$	%
13	P_MATAS	Proporção de área ocupada com matas naturais e plantadas	$\frac{\text{Quantidade de matas naturais + plantadas}}{\text{Área dos estabelecimentos por uso de terras}} \times 100$	%
14	P_FINAN	Proporção de estabelecimentos que receberam financiamentos	$\frac{\text{Quantidade de estabelecimentos que receberam financiamentos}}{\text{Quantidade de estabelecimentos agropecuários}} \times 100$	%
15	P_ASSTEC	Proporção de estabelecimentos que receberam assistência técnica	$\frac{\text{Quantidade de estabelecimentos que receberam assistência técnica}}{\text{Quantidade de estabelecimentos agropecuários}} \times 100$	%
16	P_ELETR	Proporção de estabelecimentos rurais que consomem energia elétrica	$\frac{\text{Quantidade de estabelecimentos com energia elétrica}}{\text{Quantidade de estabelecimentos agropecuários}} \times 100$	%

Fonte: adaptado de Schneider e Waquil (2001).

Buscou-se retratar a realidade mais recente dos municípios. Coletou-se a variável 1 no Censo Demográfico de 2010, por ser o mais recente publicado. Na variável 2, considerou-se o valor dos financiamentos Censo Agropecuário de 2006, já que o seguinte não apresentava esse dado. Calculam-se as demais variáveis a partir das tabelas do Censo Agropecuário de 2017 localizadas no SIDRA.

## 2) Normalização dos dados

Devido ao uso de variáveis distintas e ao fato de serem representadas por unidades de medidas diversas, normalizaram-se os dados por meio do *Teste Score Z*.

## 3) Verificação da adequabilidade do modelo

Calculou-se a matriz de correlações entre as variáveis, também denominada *Matriz-R*. A partir desse procedimento, para verificar a adequabilidade de aplicação da análise fatorial, realizou-se o teste de esfericidade de *Bartlett* e *Kaiser Meyer Olkin* (KMO).

Utiliza-se a esfericidade de *Bartlett* para mostrar a significância total de todas as correlações identificadas, gerando-se uma matriz, pelo qual se testa a hipótese nula: se a matriz é do tipo identidade, ou seja, os elementos fora da diagonal principal são iguais a 0. Caso seja confirmado, o modelo se torna inadequado, pois as variáveis não se agruparão e não servirão para a construção dos fatores. Já a rejeição da hipótese denota a aplicabilidade do modelo de análise fatorial (FIGUEIREDO; SILVA, 2010). Assim, o teste deve ser estatisticamente significativo ( $p < 0,05$ ) (FIELD *et al.*, 2012).

O *KMO* é um critério em forma índice que calcula a proporção da variância das variáveis (HAIR *et al.*, 2009). Sua fórmula constatada segue abaixo.

$$KMO = \frac{\sum_{j \neq k} \sum r_{jk}^2}{\sum_{j \neq k} \sum r_{jk}^2 + \sum_{j \neq k} \sum p_{jk}^2} \quad (7)$$

Onde:

$r_{jk}$  é o coeficiente de correlação simples entre as variáveis  $X_j$  e  $X_k$ ;

$p_{jk}$  é o coeficiente de correlação parcial entre  $X_j$  e  $X_k$ , dados os outros  $X_s$ .

A medição do *KMO* varia entre 0 e 1. Quanto mais próximo estiver de 1, mais adequados os dados estão para o modelo de análise fatorial. Hair *et al.* (2009) defendem que *KMO* abaixo de 0,5 remete à necessidade de repensar na inclusão ou retirada de variáveis para o modelo.

Por sua vez, Field *et al.* (2012) classificam os níveis de aceitabilidade dos valores do *KMO* para analisar os dados obtidos. Segundo os supracitados autores, *KMO* abaixo de 0,5 é inaceitável; entre 0,5 e 0,7 é medíocre; maior que 0,7 e menor que 0,8 é considerado bom; entre 0,8 e 0,9 é ótimo; e acima desse valor é excelente.

#### 4) Extração de fatores

Estimou-se a variância comum de cada variável. Esse tipo é o mais usual nos modelos de análise fatorial, e serviu para verificar o comportamento da variância das variáveis em relação as demais. A partir de então, calculou-se as comunalidades que representam a quantia total de variância que uma variável compartilha com as demais incluídas no modelo (HAIR *et al.*, 2009).

Conforme Matos e Rodrigues (2019), a literatura recomenda que as comunalidades de cada variável obtenham valores de, pelo menos, 0,5 para que a análise fatorial seja satisfatória. Tal visão se deve ao fato de que para as variáveis funcionarem bem no modelo, elas devem ter elevada proporção de variância comum.

Para estimar os fatores subjacentes, considerou-se como método de extração a Análise dos Componentes Principais (ACP), que investiga as inter-relações existentes entre as variáveis por meio da variância. Então, designam-se as variáveis por *componentes principais*, sendo os primeiros mais importantes, pois explicam a maior parte da variância total (HAIR *et al.*, 2009).

Determinou-se o número de fatores com base autovalor de cada variável. Assim, utilizou-se o critério *kaiser*, que sugere a extração de fatores com autovalor maior que 1 (FIELD *et al.*, 2012). Também se considerou o percentual da variância explicada dos fatores conjuntos da variância total.

Após a extração quantificou-se cada variável nessa fase, por meio de escores fatoriais ou cargas fatoriais, como também são denominados. Para Matos e Rodrigues (2019), esses representam um coeficiente de regressão de cada variável no fator, logo, representam o quanto uma variável contribui no fator.

#### 5) Rotação

As cargas fatoriais geralmente se apresentam de formas distintas. No momento da extração, o que acontece, na maioria das vezes, é a presença de variáveis com cargas fatoriais altas nos fatores com maior participação na variância, e cargas menores nos demais fatores.



Assim, a rotação serve para calcular o grau de adaptação das variáveis aos fatores, por meio das cargas, além de tornar os resultados mais interpretáveis (MATOS; RODRIGUES, 2019).

Utilizou-se a rotação ortogonal, pela qual se considera cada fator como independente em relação aos demais. O método de rotação empregado foi *varimax*, por ser um dos mais relevantes e adotados, com a finalidade de maximizar a dispersão das cargas dos fatores, gerando fatores independentes após a rotação (FIELD *et al.*, 2012).

## 6) Interpretação

Cumpriu-se a interpretação com base na identificação das cargas fatoriais das variáveis agrupadas nos fatores após a rotação. Com isso, observou-se o comportamento dessas variáveis para atribuição de nomes a cada fator, com a intenção de explicar suas características.

A partir dos resultados da análise fatorial foram formados *clusters* dos municípios produtores. Utilizou-se a análise de cluster do tipo hierárquica. A medida de distância, ou de dissimilaridade, de cálculo da distância dos grupos foi a distância quadrática euclidiana e se utilizou o método de distância média para formação dos grupos. Preferiu-se trabalhar com 3 *clusters*, pois mais do que isso implicaria em aceitar coeficientes maiores de distância dimensionada, veja dendograma exposto no Apêndice D.

Também se fez uso da análise de cluster não hierárquica *K-means* a partir da definição dos grupos de municípios para se verificar quais fatores ajudaram a diferenciar os clusters formados e se esses são estatisticamente significantes nos *clusters* obtidos na análise hierárquica.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo, apresenta-se um breve panorama da expansão canavieira no Brasil. Em seguida, realiza-se uma análise socioeconômica dos municípios produtores no Maranhão, revelando o comportamento da atividade produtiva da cana no estado, no tocante à quantidade, ao rendimento e ao valor, no período de 1998 a 2018. Posteriormente, examinam-se as modificações no uso e na cobertura da terra dos municípios produtores.

### **4.1 Expansão e zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar em âmbito nacional e regional**

Em um breve panorama, reconhece-se que agricultura canavieira se expandiu após a crise do café, no século XIX, da Região Nordeste para a Sudeste, que atualmente lidera a produção nacional. Concebe-se que devido às suas condições de relevo, clima e vasta extensão territorial, o País ainda possui fronteiras agrícolas que podem ser exploradas para o cultivo da cana.

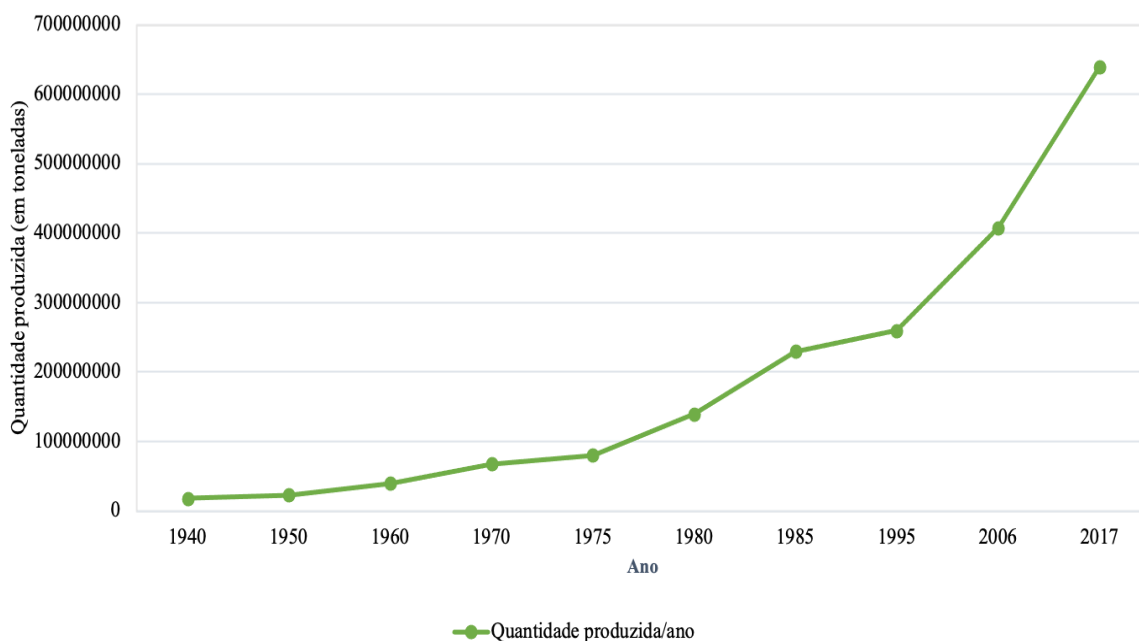
No Brasil, investe-se no cultivo da cana como forma de aproveitar áreas de pastagens degradáveis, tendo em vista que essa cultura é de fácil adaptação e há boas condições de clima e relevo (GUIMARÃES; TURETTA; COUTINHO, 2010).

Considera-se que o uso dessas áreas consiste em uma ação relevante no sentido de não pôr em risco as áreas destinadas à produção de outras culturas alimentícias, contribuindo, assim, para a recuperação e a otimização de áreas outrora inaptas.

Ao perscrutar dados evolutivos sobre o histórico da cana no Brasil, contempla-se uma escassez de publicações com dados históricos. Embora a temática seja discutida nos livros clássicos de formação da economia brasileira, como é o caso de Prado Junior (2004) e Furtado (2005), que tratam da organização produtiva da cana desde o período colonial, não se localizaram dados de produção anteriores ao século XX nesses e em diversas publicações revisadas sobre a temática.

Por cúmulo, a base de dados principal, com maior abrangência temporal, é o Censo Agropecuário do IBGE, que conta com séries históricas de produção desde o ano de 1940. Desse modo, no Gráfico 1, visualiza-se a tendência de produção da cana a partir do ano citado até o último censo realizado pela instituição, no ano de 2017.

Gráfico 1 – Expansão da produção da cana no Brasil (1940-2017)

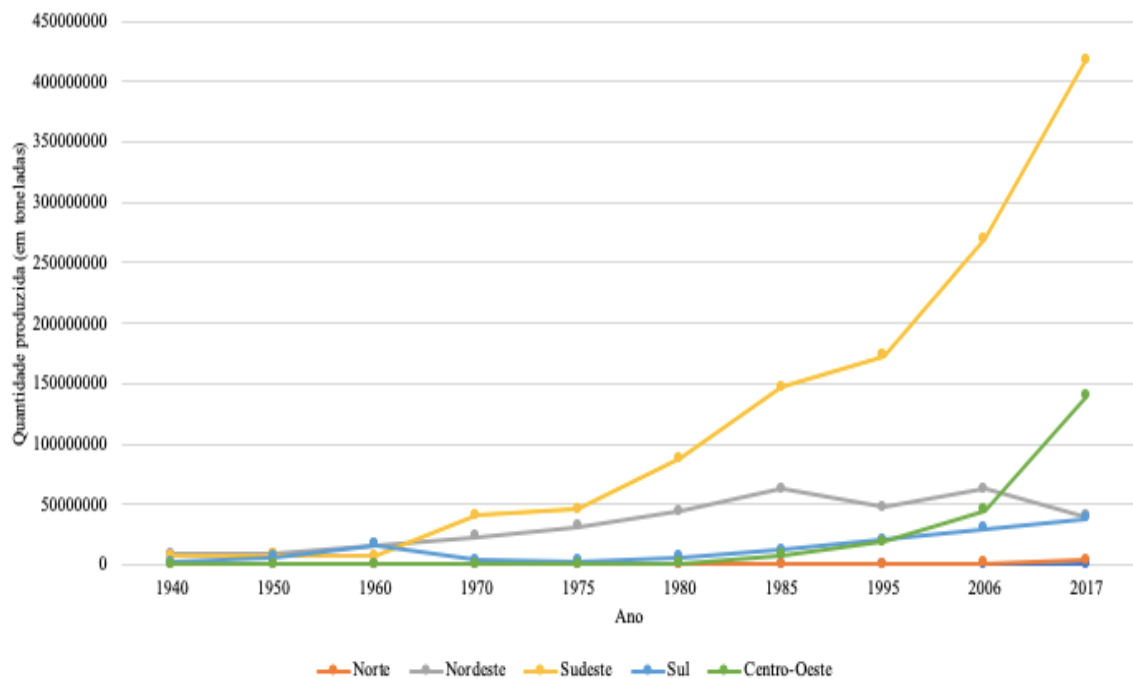


Fonte: adaptado do Censo Agropecuário IBGE (2017).

Constata-se, a partir do Gráfico 1, a ocorrência de expansão significativa da produção de cana no Brasil, passando de 17.919.757 toneladas, em 1940, para 638.689.875 toneladas, em 2017. Registra-se que a tendência de crescimento foi maior no período entre os anos de 1975 e 2017, saltando de 79.959.024 para 638.689.875 toneladas. Tal fato coincide com três acontecimentos: primeiro, o lançamento do Proálcool, em 1975, enquanto política de incentivo ao setor sucroalcooleiro (SILVA *et al.*, 2013); o segundo foi o lançamento dos carros *flex*, no início dos anos 2000 (MELO; SAMPAIO, 2014); e o terceiro consistiu na redução da alíquota de IPI entre os anos de 2007 e 2015 (APOLINÁRIO, 2018).

Para mais, desagregaram-se as quantidades de produções por regiões brasileiras, a fim de ser verificar a tendência de crescimento/decrescimento de cada uma, conforme se pode visualizar no Gráfico 2, a seguir.

Gráfico 2 – Evolução da produção da cana nas regiões brasileiras (1940-2017)



Fonte: adaptado do Censo Agropecuário IBGE (2017).

Pela observação do mapa, nota-se que as Regiões Sudeste e Centro-Oeste obtiveram os maiores crescimentos no período verificado: a primeira cresceu de 6.712.928, em 1940, para 417.470.430 toneladas em 2017; enquanto a segunda aumentou de 213.383 para 139.538.476 toneladas no mesmo período. As Regiões Norte e Sul mostraram-se com baixa tendência de crescimento, se comparadas com as duas já citadas; enquanto no Nordeste, perceberam-se oscilações nas últimas décadas, de forma que a tendência recente entre 2006 e 2017 é de decréscimo.

No Centro-Sul do Brasil, mais especificamente nos estados de Goiás e de Mato Grosso do Sul, no fim do século XX, assistiu-se à grande expansão do cultivo de cana-de-açúcar. Para Castro *et al.* (2010), esse crescimento teve razão de ser pelo aquecimento do setor sucroalcooleiro, principalmente pelo aumento da produção do etanol entre as décadas de 1970 e 1980, quando do funcionamento do Proálcool. Essa expansão agrícola ocorreu, nomeadamente, no bioma Cerrado, por ser o mais propício para o cultivo, e foi marcada por competição do uso da terra para o cultivo da cana, em detrimento de outras culturas, como a soja.

Assim, pode-se inferir que a expansão da cana competiu com atividades de consumo alimentar na região, tendo em vista que as terras utilizadas para a criação dos animais foram reduzidas, a fim de que se destinassem à ampliação de seu cultivo.

No Centro-Oeste, a expansão da cana vem sendo ocasionada pela preocupação com a segurança alimentar, com ênfase na produção de açúcar e na busca por uma eficiência energética sustentável, uma vez que a produção de etanol é menos danosa ao meio ambiente, em relação a outros combustíveis fósseis (SHIKIDA, 2013).

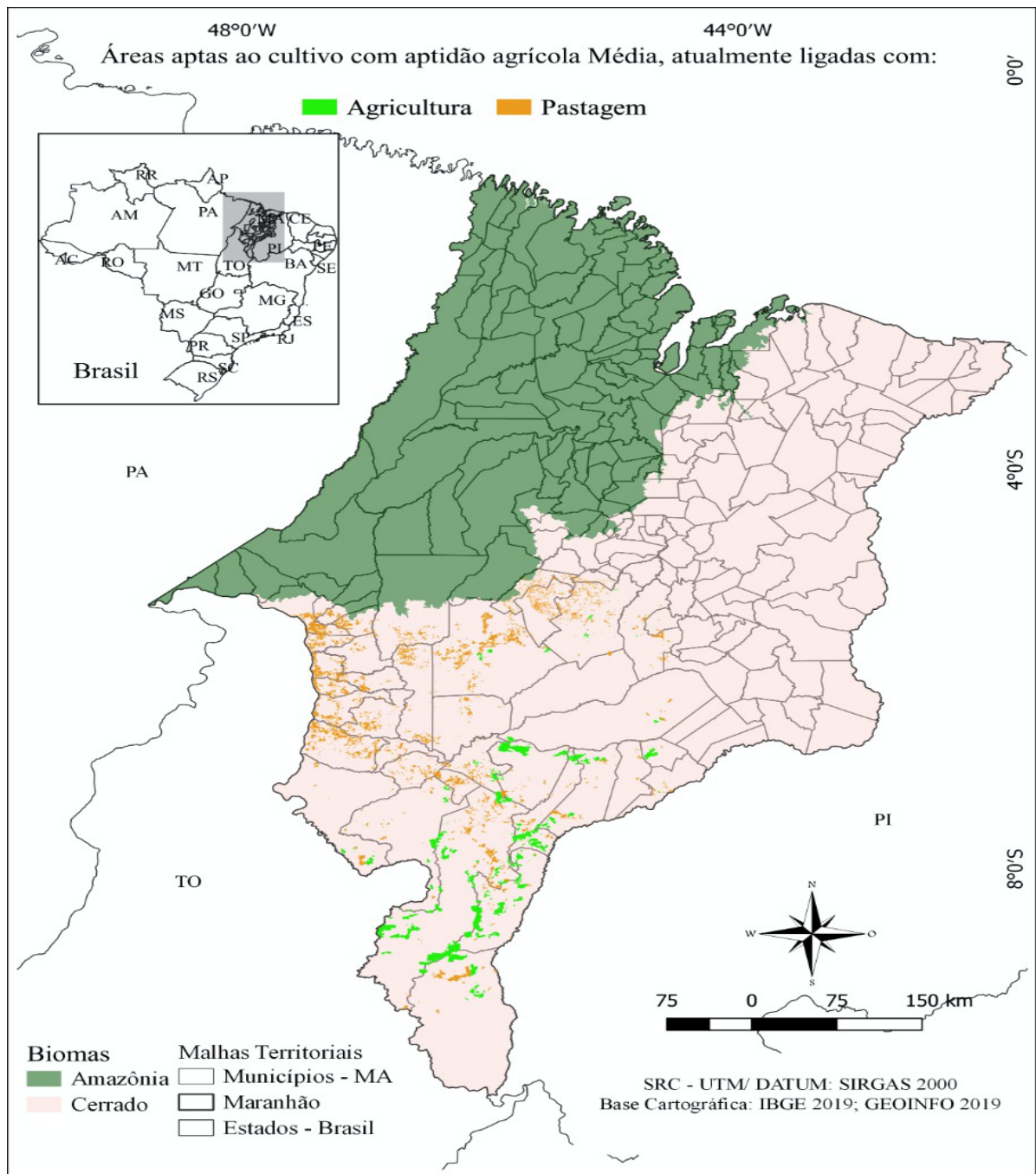
No Nordeste, a variação climática anual representa um dos fatores para a redução da produtividade de cana-de-açúcar ao longo dos anos. Uma vez que a água é considerada essencial para a produção da cana, o *déficit* hídrico anual causado pelos períodos de estiagens, entre os meses de setembro e fevereiro, aliado ao uso de variedades da planta com baixa adaptabilidade ao perfil climático existente, afeta o rendimento da produção (ABREU *et al.*, 2013).

Em 2009, a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária (EMBRAPA), o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) e o Ministério do Meio Ambiente (MMA) desenvolveram o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar (ZAE Cana). Nesse ensejo, excluíram-se do zoneamento as seguintes áreas: localizadas nos biomas Amazônia e Pantanal, e a Bacia do Alto Paraguai; terras com declividade superior a 12%; áreas com cobertura vegetal nativa; áreas de proteção ambiental; terras indígenas; mangues; dunas; remanescentes florestais; escarpas e afloramento de rochas; reflorestamentos e áreas urbanas, e de mineração (BRASIL, 2009).

O objetivo do ZAE Cana foi fornecer subsídios para a formulação de políticas públicas visando à expansão e produção sustentável de cana-de-açúcar no território brasileiro. O estudo apontou 64,7 milhões de hectares de áreas aptas, sendo 19,3 milhões com alto potencial produtivo; 41,2 milhões com médio potencial; e 4,3 milhões com baixo potencial. Os critérios para a avaliação do potencial das áreas foram assim estabelecidos: a aptidão edáfica ou pedológica do solo; o clima, incluindo a aptidão climática ou o risco climático; e as especificidades da cultura da cana (MANZATTO *et al.*, 2009).

No Mapa 4, apresentam-se as áreas aptas ao cultivo de cana-de-açúcar no Maranhão, segundo o ZAE Cana.

Mapa 4 – Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar no Maranhão



Fonte: elaborado a partir de Manzatto *et al.* (2009).

No Maranhão, o ZAE Cana apontou 789.547,15 hectares com aptidão média para a expansão do cultivo (veja anexo), assim distribuídas: 507.258,52 (64,2%) hectares em áreas usadas como pastagens; 202,6 (0,02%) hectares em áreas usadas para atividades agropecuárias; e 282.085,96 (35,7%) hectares em áreas agrícolas (MANZATTO *et al.*, 2009).

Destaca-se que a maioria das áreas aptas para a expansão da atividade localiza-se nas mesorregiões centro e sul do Maranhão, onde se concentra a maior parte das atividades agrícolas do estado, que alcançou a segunda posição em relação ao total de quantidades de áreas

aptas para a expansão da cana na Região Nordeste, ficando atrás apenas da Bahia. Tal fato é positivo e demonstra o potencial de expansão da cana.

As áreas indicadas pelo zoneamento para a expansão da cana são aquelas com produção agrícola intensiva, semi-intensiva, lavouras especiais (perenes, anuais) e pastagens. Devido à abundância de terras disponíveis, o zoneamento demonstrou que o País não precisa incorporar áreas novas nem usar áreas com vegetação nativa para o processo de expansão do cultivo da cana. Dessa forma, segundo o estudo, a expansão canavieira deveria ser efetivada sem colocar em risco ou afetar as áreas utilizadas para a produção de alimentos.

No ano de 2019, o zoneamento agroecológico da cana foi revogado pelo Presidente do Brasil com mandato em vigor, vinculando a decisão ao Decreto de nº 10.084/2019. Essa ação proporciona incertezas e põe em risco a preservação da natureza, com a possibilidade de utilização de áreas que antes não poderiam ser exploradas para uso agrícola.

#### **4.2 Análise das características socioeconômicas dos municípios produtores da cana-de-açúcar no Maranhão**

Nesta seção discute-se as características socioeconômicas dos municípios produtores da cana no Maranhão. Para tanto, utiliza-se da análise multivariada de dados a fim de se resumir os dados, considerando-se 16 variáveis identificadas a partir de Schneider e Waquil (2001). Assim, expõem-se a seguir os resultados da análise fatorial exploratória e da análise de *cluster* para cumprir tal propósito.

Os testes de viabilidade das variáveis para a análise fatorial se mostraram favoráveis, apontando para a adequabilidade do modelo. O KMO resultou em 0,73, um valor que, conforme Field *et al.* (2012), configura-se como bom, indicando que as variáveis podem ser utilizadas. Já o teste de *Bartlett*, realizado com significância de 0,000 e qui-quadrado de 1086,15, rejeitou a matriz da hipótese nula, logo, a matriz de correlações não é do tipo identidade, assim, apontando que os dados se ajustaram bem.

Extraíram-se quatro fatores com autovalores maiores que 1, os quais obtiveram uma capacidade explicativa de 69,60% do total da variância. A rotação ortogonal pelo método *varimax* proporcionou a diluição da variância, para que os seus percentuais fossem distribuídos entre os fatores extraídos. Na Tabela 2, mostram-se os autovalores e variância explicada dos fatores, antes e depois da rotação.

Tabela 2 – Autovalores e proporção da variância explicada antes e depois da rotação

Fator	Autovalores	Variância antes da rotação (%)	Variância acumulada (%)	Autovalores rotacionados	Variância após rotação (%)	Variância acumulada (%)
1	5,78	36,11	36,11	4,59	28,68	28,68
2	2,46	15,35	51,47	2,98	18,61	47,29
3	1,66	10,36	61,83	2,06	12,90	60,19
4	1,24	7,77	69,60	1,51	9,41	69,60

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

A partir da Tabela 2, percebe-se que antes da rotação, a variância estava com maior concentração no fator 1. Dito isso, assimila-se que a aplicação do *varimax* cumpriu o seu propósito, contribuindo para uma distribuição mais acurada da variância entre os fatores extraídos. Mesmo assim, verificou-se que os dois primeiros fatores ainda continuaram com maior representatividade no modelo, totalizando 47,29 % de variância.

Na Tabela 3, visualizam-se as cargas fatoriais obtidas após a rotação *varimax* e as comunalidades de cada variável.

Tabela 3 – Cargas fatoriais e comunalidades após a rotação

Variável	Fator				Comunalidade
	1	2	3	4	
VBP_EA	0,96				0,97
VBP_PO	0,92				0,90
DESP_EA	0,92				0,90
AREAMED	0,85				0,89
FINAN_EA	0,72				0,58
PO_EA	0,45				0,41
P_ATE_50		0,88			0,82
P_ATE_10		-0,87			0,90
P_ATE_20		0,67			0,59
VBP_HA		-0,66			0,61
P_FINAN		0,42	0,68		0,69
PÓPRURAL			-0,68		0,50
P_ELETR			0,65		0,61
P_ASSTEC	0,4		0,65		0,67
P_PRCONS				0,74	0,61
P_MATAS				0,67	0,51

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

A maioria das comunalidades observadas alcançara, valores acima de 0,5, demonstrando a utilização da análise fatorial como satisfatória, em conformidade com Matos e Rodrigues (2019). Contudo, verificou-se apenas a variável número médio de pessoas ocupadas por estabelecimento agropecuário (PO\_EA) com valor de 0,41, estando abaixo do critério apontado pelos autores. Apesar disso, decidiu-se manter a variável no modelo, por ser uma variável social relevante para o entendimento da dinâmica de funcionamento dos estabelecimentos agropecuários dos municípios produtores.



As cargas fatoriais obtidas foram mais elevadas no fator 1; nos fatores 2 e 3, verificou-se a presença de cargas com valores negativos, fato justificado pela possibilidade de variação numérica entre -1 e 1.

Também, deve-se considerar que as variáveis P\_FINAN e P\_ASSTEC foram agrupadas em mais de um fator, de acordo com suas respectivas cargas fatoriais. Nesse caso, desconsideraram-se as cargas fatoriais menores e verificou-se que a variável com maior carga realmente fazia sentido no fator extraído.

O fator 1 associa-se com o Valor Bruto da Produção Agropecuária por Estabelecimento Agropecuário (VBP-EA); Valor Bruto da Produção Agropecuária por Pessoa Ocupada (VBP-PO); gastos com manutenção e custeio dos estabelecimentos (DESP\_EA); Área Média dos Estabelecimentos Agropecuários (AREAMED); valor médio de financiamentos obtidos por estabelecimento agropecuário (FINAN\_EA); e número médio de pessoas ocupadas por estabelecimento agropecuário (PO\_EA). Então, esse fator serve para medir o uso de recursos produtivos e a renda obtida dos estabelecimentos agropecuários. Desse modo, o fator denomina-se *produção e renda*.

O fator 2 relaciona-se com a proporção das áreas dos estabelecimentos (P\_ATE\_10; P\_ATE\_20; P\_ATE\_50); Valor Bruto da Produção Agropecuária por Hectare (VBP-HA). Dito isso, observou-se que esse fator tem como principal contribuição avaliar a estrutura fundiária, seja pela categorização dos tamanhos dos estabelecimentos ou pela eficiência econômica destes, considerando-se o valor bruto arrecadado por hectares. Denominou-se esse fator de *uso da terra*.

O fator 3 considera a proporção de estabelecimentos que receberam financiamentos (P\_FINAN); a Proporção da População Rural sobre a população total do município (POPRURAL); proporção de estabelecimentos rurais que consomem energia elétrica (P\_ELETR); e a proporção de estabelecimentos que receberam assistência técnica (P\_ASSTEC). Portanto, esse fator caracteriza, predominantemente, o uso e o acesso aos recursos produtivos nos estabelecimentos agropecuários, e é denominado de *infraestrutura produtiva*.

Por fim, o fator 4 relaciona-se apenas à proporção de estabelecimentos que utilizam práticas conservacionistas em seus sistemas agrícolas (P\_PRCONS); e proporção de área ocupada com matas naturais e plantadas (P\_MATAS). Assim, considera-se que possui relação significativa com a dimensão *meio ambiente e recursos naturais*. Portanto, esse fator recebe a denominação de *conservação ambiental*.

A partir da análise fatorial foi realizada a formação de *clusters* a fim de se compreender como os fatores extraídos contribuíram para o agrupamento dos municípios produtores da cana-de-açúcar. Desse modo, considerando-se a distância euclidiana ao quadrado, foram localizados 3 grupos de municípios

A utilização da análise de *cluster* pelo método *K-means*, possibilitou a identificação da contribuição de cada fator extraído na análise fatorial para diferenciação dos *clusters*. Para tanto, os 4 fatores foram normalizados pelo teste *Score Z*. No Quadro 5, apresenta-se os resultados obtidos, onde verifica-se os valores dos quadrados médios, teste *Fischer* e significância de cada fator para a formação dos agrupamentos.

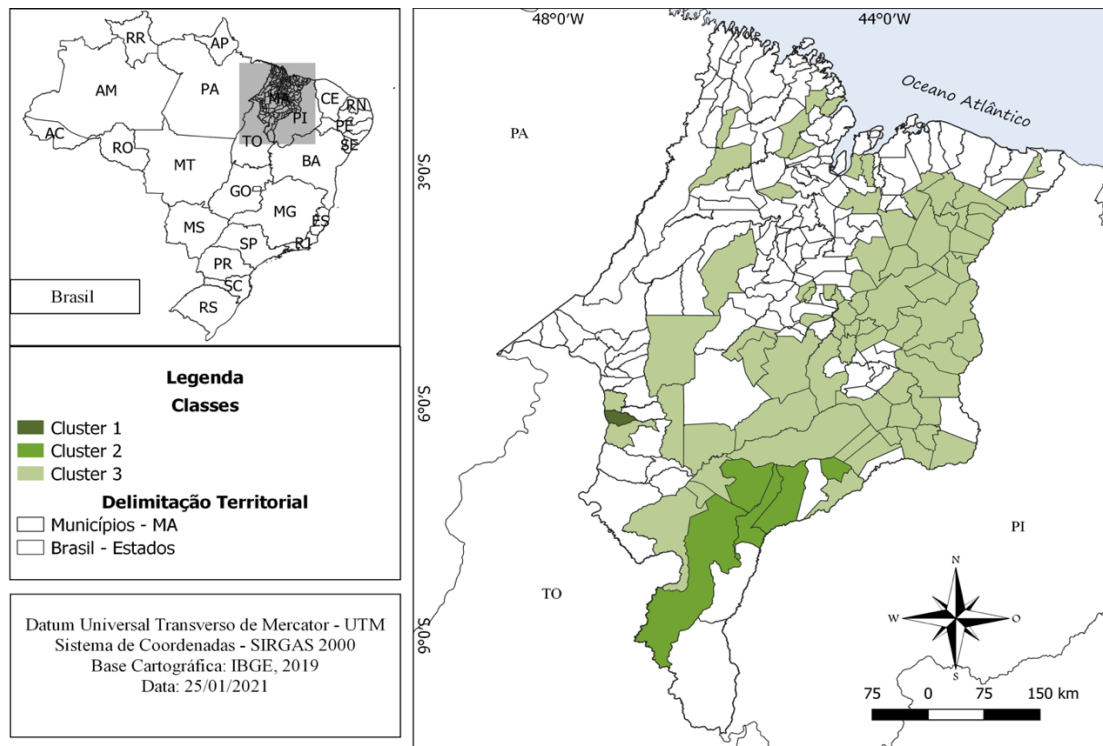
Quadro 5- Análise de cluster pelo método *K-means*

	Cluster		Erro		F (Fisher)	Sig. (Significância)
	Quadrado Médio	gl	Quadrado Médio	gl		
Fator 1	31,504	2	,208	77	151,679	,000
Fator 2	,146	2	1,022	77	,143	,867
Fator 3	1,407	2	,989	77	1,422	,248
Fator 4	9,559	2	,778	77	12,292	,000

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Percebe-se do quadro acima os fatores que distinguiram os grupos formados. Assim, observou-se que os fatores 1 (*produção e renda*) e 4 (*conservação ambiental*) foram os que mais contribuíram para a distinção dos clusters, pois apresentaram elevada variabilidade entre os grupos, ou seja, coeficientes elevados e baixa variabilidade interna nos *clusters*, proporcionando a formação de grupos com características homogêneas. Destes, o fator 1 foi o que mais discriminou a formação de cada *cluster* devido o valor do teste de *Fisher*.

Os *clusters* podem ser visualizados no Mapa 5, a seguir.

Mapa 5- Distribuição espacial dos municípios nos *clusters*

Fonte:

organizado e elaborado pelo autor (2021).

A fim de se demonstrar as características de cada *cluster* baseadas nos fatores extraídos, elaborou-se a Tabela 4 considerando os valores médios das variáveis de cada grupo de municípios, conforme pode ser visualizado a seguir.

Tabela 4- Médias das variáveis nos grupos homogêneos

Fatores	Variáveis	Municípios produtores	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
1. Produção e Renda	VBP_EA	50.040,37	422.101,45	381.032,33	22.648,19
	VBP_PO	13.473,94	37.548,35	100.874,78	7.243,15
	DESP_EA	33.150,62	457.048,31	235.713,68	13.735,58
	FINAN_EA	2.997,63	1.541,06	34.074,66	917,51
	AREAMED	70,78	229,63	321,55	51,69
2. Uso da terra	PO_EA	3,28	11,24	3,81	3,14
	P_ATE_10	53,40	4,83	17,69	56,47
	P_ATE_20	8,24	19,81	12,79	7,78
	P_ATE_50	16,29	26,57	21,93	15,77
3. Infraestrutura produtiva	VBP_HA	753,93	1.838,20	1.186,35	710,06
	P_FINAN	9,84	11,11	13,16	9,60
	POPRURAL	45,73	20,56	32,52	46,96
	P_ELETR	63,18	96,14	71,69	62,16
4. Conservação ambiental	P_ASSTEC	4,73	14,98	9,63	4,26
	P_PRCONS	64,31	15,46	82,01	63,77
	P_MATAS	28,56	18,32	39,21	27,98

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

O *cluster 1*, é atípico, pois foi formado apenas pelo município de Campestre do Maranhão. Suas características estudadas de acordo com as variáveis selecionadas não permitiram a associação desse a qualquer outro município. Destaca-se que o município está localizado na mesorregião sul, sendo considerado o segundo maior produtor da cana-de-açúcar conforme PAM/IBGE.

Nesse *cluster* foi detectado que a *produção e renda* se configuraram como média quando comparada aos demais. Chama atenção o fato de o valor bruto da produção ser o maior nos estabelecimentos agropecuários ali presentes assim como os gastos com manutenção e custeio. Ademais, constatou-se também que o *cluster* emprega o maior número de pessoas nos estabelecimentos, sendo relevante do ponto de vista econômico.

Quanto ao *uso da terra*, notou-se que a área territorial está sendo utilizada de forma mediana para a agricultura familiar, já que a proporção do estabelecimentos com 10, 20 e 50 hectares totalizaram 51,21%, enquanto para se produzir em maiores escalas se tem 48,79% das propriedades rurais são maiores que 50 hectares. Também ressalta-se como fato positivo a existência de maior rendimento e valor comercial da produção, tendo em vista que nesse *cluster* obteve-se maior valor da produção por hectare.

Na dimensão *infraestrutura produtiva* observou-se como significativa a proporção de estabelecimentos que dispõem de energia elétrica (96,14%). Mesmo obtendo proporções razoáveis em relação aos demais grupos, reputa-se a necessidade de maior acesso a financiamentos e assistência técnica para implementação de tecnologias no setor agropecuário ali existente. Destaca-se também o fato de ser considerado um *cluster* predominantemente com maior população urbana.

Também causa preocupação esse *cluster* possuir o menor nível de conservação ambiental em relação aos demais, haja vista que possui menor proporção de estabelecimentos que utilizam práticas conservacionistas no manejo dos solos (15,46%) e menor proporção de áreas ocupadas com matas naturais e pastagens plantadas (18,32%). Desse modo, há claramente uma maior exploração dos recursos naturais e não inquietação com as consequências ambientais implicadas.

Detectou-se que 5 municípios fazem parte do *cluster 2*, a saber: Balsas, São Domingos do Azeitão, Loreto, São Raimundo das Mangabeiras e Sambaíba, representando 6,25% do total de produtores. Ressalta-se que esses também estão localizados no Sul do Maranhão e também se pode constatar que os mesmos estão localizados em proximidade uns dos outros, demonstrando ser um grupo homogêneo tanto pelas semelhanças identificadas pelo critério da distância euclidiana entre as variáveis como pela aproximação física no espaço geográfico.

Nesse *cluster*, observou-se que a *produção e renda* são elevadas, tendo em vista possuir um razoável valor de produção por estabelecimento agropecuário. Destaca-se a existência de maior produtividade já que possui o maior valor da produção por pessoal ocupado. Também destacaram-se o maior acesso a financiamentos e maiores áreas médias dos estabelecimentos.

Quanto ao *uso da terra*, o *cluster* se mostrou semelhante ao anterior, com proporção mediana (52,41%) de estabelecimentos de pequeno porte, entre 10 e 50 hectares, enquanto 47,59% do estabelecimentos possuem capacidade maiores para operacionalizar atividades agrícolas. Contudo, mesmo com tal semelhança o valor da produção por hectare obtido foi bem menor, isso também se deve ao fato de se está considerando a média dos valores dos municípios. Enquanto o *cluster 1* foi formado por apenas um município, no *cluster 2* foram agrupados cinco.

Das condições de *infraestrutura produtiva* observou-se maior proporção de acesso a financiamentos por estabelecimentos agropecuários (13,16%) e maior população rural (32,52%) comparada ao *cluster* anterior. O acesso a energia elétrica nos empreendimentos ainda é considerado como razoável (71,69%), porém a assistência técnica é bastante carente pois apenas 9,63% dos estabelecimentos possuem acesso.

Além disso, ressalta-se como positivo que tal *cluster* possui maior nível de *conservação ambiental*, pois, 82,01% dos estabelecimentos ali presentes utilizam práticas conservacionistas e há uma incidência de maior proporção de áreas ocupadas com matas naturais e pastagens plantadas, 39,21%.

Já no *cluster 3*, verificaram-se a maioria dos produtores da cana, sendo composto por 74 municípios, 92,5% do total. Assim, percebe-se uma grande concentração de municípios que possuem características socioeconômicas semelhantes no que diz respeito as variáveis e fatores extraídos.

Destaca-se que nesse *cluster* a *produção e renda* é considerada baixa, pois todas as variáveis dessa dimensão apresentaram os menores valores médios comparando-se com os demais. O *uso da terra* é predominante para a prática da agricultura familiar já que 80,02% dos estabelecimentos são menores do que 50 hectares, conseqüentemente existe a menor produtividade, pois foi representada pelos menores valores de produção por hectares.

Também preocupa as condições precárias de *infraestrutura produtiva* tendo em vista que esse *cluster* caracteriza-se por ter municípios com menor acesso a financiamentos, energia elétrica e assistência técnica. Ademais, também ressalta-se nesse *cluster* obteve-se a maior proporção de população rural comparando-se aos demais, aproximadamente 46,96%. Fato esse,

que ratifica que uma parcela significativa das famílias residem no campo, desenvolvendo práticas de agricultura familiar.

Contudo, verificou-se uma *conservação ambiental* mediana nesse *cluster* pois 63,77% dos estabelecimentos agropecuários desenvolvem práticas conservacionistas. Porém causa preocupação o fato de 27,98 % das áreas ali existentes, são de vegetação nativa ou pastagens plantadas, percentual que poderia ser maior, já que boa parte dos empreendimentos são de pequeno porte.

A partir das características de cada *cluster* e considerando as variáveis que mais se destacaram nos mesmos, optou-se por denominar cada um de acordo com as características predominantes e comparação com os demais. Assim, o *cluster 1* pode ser qualificado como de *média produção e renda e baixa conservação ambiental*, já o *cluster 2* intitula-se como *alta produção e renda e alta conservação ambiental*, enquanto o *cluster 3* se denomina de *baixa produção e renda e média conservação ambiental*.

Diante dos resultados expostos nessa seção, considera-se que os três *clusters* formados possuem realidades socioeconômicas distintas sendo marcados por desigualdades tanto do ponto de vista econômico, como social e ambiental. Destacaram-se principalmente os fatores *produção e renda e conservação ambiental* para se caracterizar e comparar tais grupos. Desse modo, considera-se que os dois fatores em destaque são parâmetros que estão relacionados principalmente ao desempenho econômico da agropecuária no que diz respeito ao valor da produção, financiamentos e mão de obra dos estabelecimentos e as características ambientais dizem respeito ao uso da vegetação nativa e emprego de práticas conservacionistas na agricultura.

### 4.3 Expansão da produção da cana-de-açúcar no Maranhão

A produção total da cana-de-açúcar cresceu 1.311.505 toneladas (117,74 %), entre os anos de 1998 e 2018, no Maranhão. Dos 80 municípios produtores, observou-se elevação da quantidade em 60 municípios (75% do total). Dessa forma, é possível captar que essa variável cresceu substancialmente, mais que dobrando no período analisado. No Gráfico 3, apresenta-se a evolução da quantidade produzida no período de estudo.

Gráfico 3 – Evolução da quantidade de produção da cana-de-açúcar no Maranhão (1998-2018)



Fonte: elaborado pelo autor, a partir da PAM/IBGE (2018).

A tendência de decrescimento da produção de cana ocorreu no fim década de 1990, após a desaceleração da atividade produtiva com a crise e extinção do Proálcool, em 1991; a ruptura do padrão subvencionista, em detrimento da modernização tecnológica; e dificuldades estruturais no setor produtivo da cana, conforme argumentam Shikida e Rissardi Junior (2017).

Extinguiu-se o Proálcool em 1991. Não obstante, mesmo com a finalização dessa política, verificou-se, por meio da PAM/IBGE, que a cana-de-açúcar continuou avançando significativamente no Maranhão, o que se pode justificar pelo aquecimento do setor automobilístico, com expressivo crescimento nas vendas de carro *flex* nas primeiras décadas do século XXI.

Entre os anos de 2002 e 2010, novamente a quantidade produzida voltou a aumentar substancialmente (125,73%). Tal fato pode ser explicado, inclusive em conformidade com Shikida e Rissardi Junior (2017), pela retomada do etanol como alternativa de combustível

automotivo; pelo lançamento e crescimento do mercado *flex-fuel*; e investimentos diretos estrangeiros nessa atividade econômica.

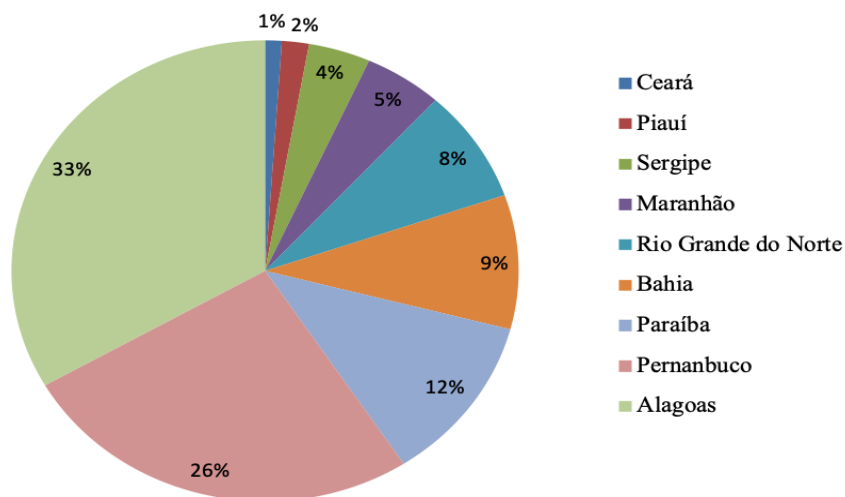
Assim, os anos de 2010 e 2015 representaram os maiores picos de quantidade da cana-de-açúcar no Maranhão: 3.176.531 e 3.124.141 toneladas, respectivamente. Enquanto isso, nos demais anos, perceberam-se oscilações, resultando no decréscimo da produção até o ano de 2018. Ou seja: entre 2008 e 2015, crescimento, e de 2015 a 2018, redução.

Coadunando Apolinário (2018), entre os anos 2007 e 2015, ocorreu uma contração da alíquota do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) em todo o território nacional, gerando um aquecimento nas vendas de automóveis *flex*, facultando maior consumo de etanol, produzido a partir da cana.

Quando se compara a produção da cana-de-açúcar no ano de 2018 no Maranhão e nos demais estados da Região Nordeste, nota-se que o estado ocupa a sexta posição, com aproximadamente 5% da produção nordestina. Mesmo apresentando expansão da produção nas últimas décadas, o Maranhão está longe de se equiparar a Alagoas e Pernambuco, por exemplo, que são os principais produtores.

No Gráfico 4, ilustra-se a representação da produção, por estados, da Região Nordeste.

Gráfico 4 – Participação da quantidade produzida de cana, por estado, na Região Nordeste (2018)



Fonte: elaborado pelo autor, a partir da PAM/IBGE (2018).

Do Gráfico 4, entende-se que mesmo com baixa participação em produção, conforme Manzatto *et al.* (2009) o Maranhão detém potencial de crescimento, com áreas aptas para a expansão do cultivo de cana, de acordo com o zoneamento agroecológico realizado no ano de 2009.

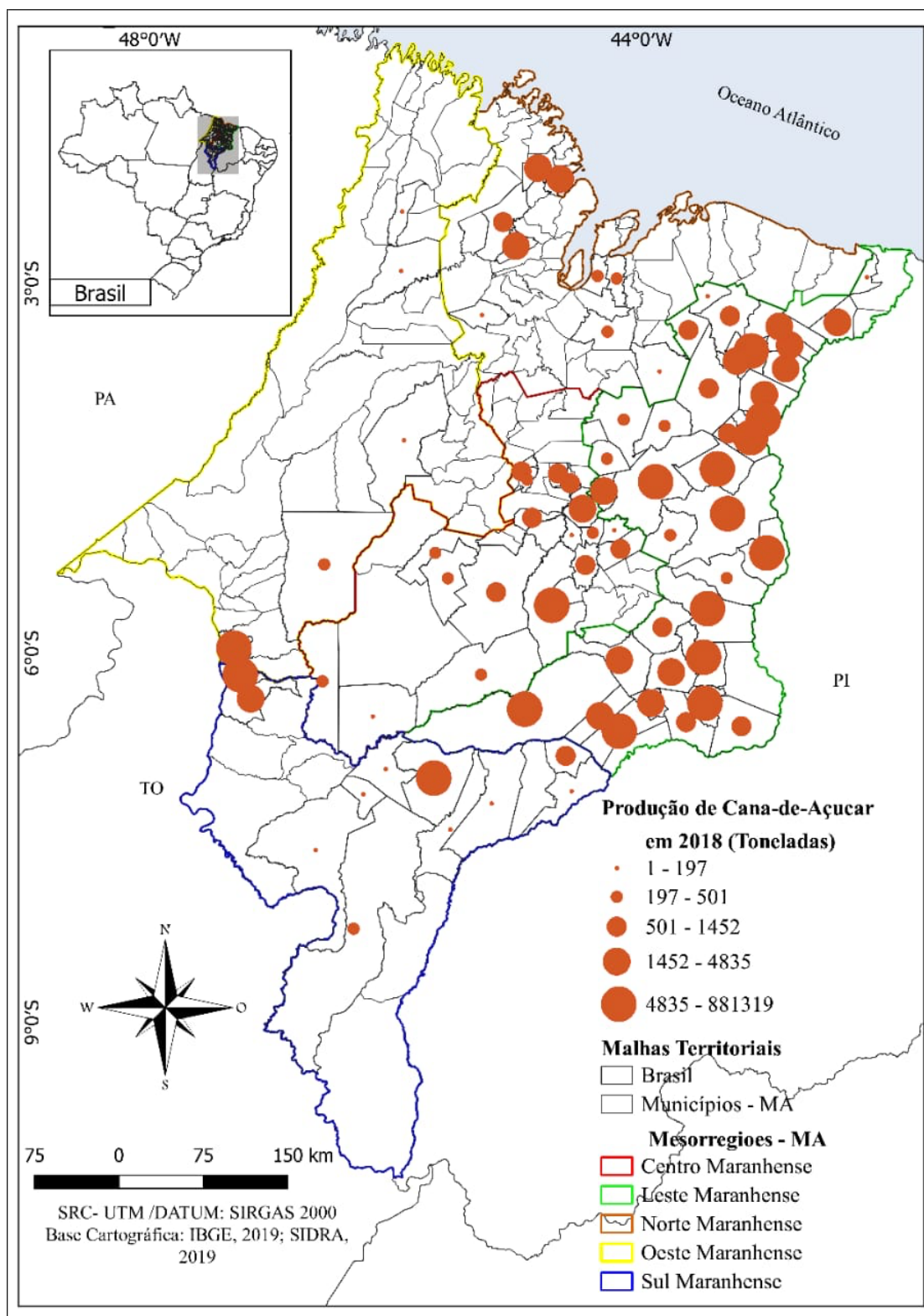


Dentre os 80 municípios produtores, a maior parte da produção (95,48%) de cana no ano de 2018 concentrou-se em dez municípios: São Raimundo das Mangabeiras; Campestre; Tuntum; Aldeias Altas; Coelho Neto; Caxias; Codó; Ribamar Fiquene; Duque Bacelar; e Mirador. O restante distribuiu-se em escalas produtivas menores, nos outros 70 municípios. Dessa forma, é possível inferir que os agricultores de cana nesses municípios são de pequeno porte e inserem-se na agricultura de base familiar.

Conforme a Resolução 4174/2012, do Banco Central do Brasil, o porte dos produtores rurais varia de acordo com a Receita Bruta Agropecuária Anual (RBA). Nessa lógica, o pequeno produtor é aquele que fatura até R\$ 160.000,00 por ano; o médio, acima desse valor até R\$ 800.000,00 (oitocentos mil reais); e acima desse teto, configura-se como grande.

No Mapa 6, visualiza-se a distribuição da produção da cana-de-açúcar nos municípios maranhenses agregados por mesorregiões, conforme a intensidade de produção identificada no Censo Agropecuário do IBGE no ano de 2017.

Mapa 6 - Produção da cana-de-açúcar no Maranhão (2018)



Fonte: organizado e elaborado pelo autor (2020).

A escala definida para a marcação da intensidade dos municípios por quantidade produzida teve geração automática pelo *software ArcGis*.

Assim, a maior concentração da produção localiza-se em municípios com a presença de usinas de açúcar e de álcool, e em municípios próximos a elas; ao sul, verificam-se, com maior expressividade, São Raimundo das Mangabeiras e Campestre do Maranhão; na mesorregião centro, o município de Tuntum; já na mesorregião leste, constata-se um conglomerado dos municípios Aldeias Altas, Coelho Neto, Caxias e Codó.

A partir da criação do Proálcool, como forma de incentivar a produção de etanol a partir da cana, ao longo das últimas décadas, instalaram-se cinco usinas de produção de etanol no Maranhão, assim distribuídas: Itapecuru Bioenergia (em Aldeias Altas); Usina Itajubara (em Coelho Neto); Usina Alternativa (em Tuntum); Usina Agro Serra (em São Raimundo das Mangabeiras); e Usina Maity (em Campestre do Maranhão).

As cinco usinas de processamento da cana operam, predominantemente, na produção do etanol anidro (puro) e hidratado (misturado com água), mas com capacidade, também, para a produção de açúcar (NOVA CANA, 2019).

Contudo, a capacidade das usinas para a produção de açúcar está subutilizada no estado. Segundo a Conab (2019), 92,4% da produção total da cana do Maranhão é destinada para a produção de etanol. Dessa forma, os 7,6% restantes são utilizadas para outros produtos decorrentes da cana, como o açúcar, a cachaça, a aguardente e a rapadura.

A partir da quantidade da produção de cana nos municípios, no ano de 2018, realizou-se uma análise acerca dos dez maiores produtores, ao que se captou que a mesorregião sul possui a maior participação em produção, sendo liderada pelos municípios de São Raimundo das Mangabeiras e Campestre que juntos, totalizam 52,47% da produção estadual. Tal fator é relevante para a economia local desses municípios, uma vez que promove de forma mais intensa a geração de empregos e renda, tanto na fase agrícola quanto na agroindústria canavieira.

Como em ambos os municípios existem usinas com a finalidade de produção de etanol, infere-se que a cana tem destinação, em sua maioria, para esse produto, já que a Conab (2019) afirma que 92,4% da produção de cana é utilizada na geração de combustível.

A mesorregião leste é a segunda maior produtora de cana, onde seis municípios são identificados como líderes de produção, a saber: Coelho Neto; Aldeias Altas; Caxias; Codó; Duque Bacelar; e Mirador. Juntos, totalizaram 36,56% da produção do estado, no ano de 2018, sendo que existem duas usinas de etanol nos dois primeiros municípios (IBGE, 2018).

Os cinco primeiros municípios são vizinhos, localizados em um raio de cerca de 125 quilômetros de distância, aspecto meritório para a logística de transporte de cana entre os municípios que realizam o processamento no sistema agroindustrial. Dessa forma, a proximidade tem como vantagem a rapidez da movimentação logística. Para Lannoni e

Morabito (2002), tal fato ajuda na eficiência operacional da movimentação para o abastecimento das agroindústrias.

A mesorregião oeste tem como líder de produção a cidade de Ribamar Fiquene, com 4,12% da produção estadual. Por seu turno, a mesorregião centro, representada pelo município de Tuntum, conta com apenas 2,26% da produção estadual. Assim, observou-se que nesse último município existe a produção de etanol. Isso posto, valida-se que a usina ali presente processa quantidades acentuadamente inferiores em relação às demais do estado (IBGE, 2018).

Quanto à produtividade de cana-de-açúcar, notou-se, por meio da PAM/IBGE, a quantidade de produção por hectare plantado. Comparando-se a produtividade de cana no Maranhão com a média do Nordeste e do Brasil, avistam-se tanto oscilações favoráveis quanto desfavoráveis no período em estudo.

Na Tabela 5, visualiza-se a comparação do rendimento da produção do Maranhão com o Nordeste e o Brasil.

Tabela 5 – Comparativo de rendimento da produção em kg/ha, no Brasil, Nordeste e Maranhão (1998-2018)

<b>Ano</b>	<b>Brasil (kg/ha)</b>	<b>Nordeste (kg/ha)</b>	<b>Maranhão (kg/ha)</b>
1998	69.247	52.572	51.841
2000	67.878	55.446	55.735
2002	71.443	54.453	60.893
2004	73.726	57.631	61.678
2006	75.117	56.385	58.686
2008	79.274	59.918	61.862
2010	79.044	55.757	62.930
2012	74.297	56.493	60.801
2014	70.646	58.027	57.653
2016	75.180	55.973	55.234
2017	74.482	53.449	54.577
2018	74.369	56.043	55.615

Fonte: elaborado a partir do IBGE (2018).

Contempla-se que a produtividade média da Região Nordeste sempre esteve abaixo da média nacional; ademais, um crescimento de 6,60% entre os anos de 1998 e 2018. No entanto, houve tendência de decréscimo a partir de 2008. Conforme Abreu *et al.* (2013) a variação climática aliada ao déficit hídrico causado por períodos de estiagem, são fatores que contribuem para redução da produtividade da cana na região nordeste.

Não obstante, ao se traçar um comparativo em relação à produtividade média do Maranhão com o Nordeste, percebe-se que em diversos anos (2000, 2002, 2004, 2006, 2010, 2012 e 2017), a produtividade do estado foi maior que a média do Nordeste.

No período de estudo, percebeu-se um aumento de 7,27% em rendimento da cana no estado, o que denota algo positivo, pois evidencia que as condições de cultivo de cana revelam melhorias no Maranhão e influenciam diretamente o aumento de sua produtividade. Semelhantemente à produtividade nacional, observou-se uma tendência de decréscimo na estadual, a partir do ano de 2010.

Em relação à renda gerada pela cana-de-açúcar, examinou-se o valor de sua produção em reais, comparando-a com outras culturas agrícolas de lavouras temporárias, tendo como base os dados da PAM/IBGE. Confrontou-se, ainda, o valor da produção de cana com a de arroz, mandioca, milho e soja, como se observa na Tabela 6.

Tabela 6– Comparação de valor da produção (em mil reais) das principais culturas de lavouras temporárias (1998-2018)

Ano	Arroz	Cana-de-açúcar	Mandioca	Milho	Soja	Outras	Total	% Cana
1998	98.224,00	41.263,00	79.477,00	24.472,00	72.428,00	36.504,00	352.368,00	11,71%
1999	161.562,00	37.888,00	85.072,00	40.503,00	102.335,00	37.241,00	464.601,00	8,15%
2000	169.664,00	43.394,00	94.010,00	58.344,00	113.574,00	39.406,00	518.392,00	8,37%
2001	193.459,00	28.499,00	105.036,00	63.127,00	134.016,00	64.097,00	588.234,00	4,84%
2002	254.223,00	82.027,00	122.924,00	94.696,00	200.343,00	68.769,00	822.982,00	9,97%
2003	335.903,00	91.288,00	157.529,00	138.448,00	397.205,00	107.397,00	1.227.770,00	7,44%
2004	438.289,00	84.200,00	198.111,00	127.473,00	425.918,00	116.117,00	1.390.108,00	6,06%
2005	277.173,00	103.812,00	210.472,00	122.267,00	475.360,00	122.681,00	1.311.765,00	7,91%
2006	280.927,00	118.792,00	231.506,00	147.477,00	304.820,00	99.542,00	1.183.064,00	10,04%
2007	304.404,00	134.425,00	286.905,00	165.984,00	336.303,00	95.270,00	1.323.291,00	10,16%
2008	510.872,00	300.313,00	423.621,00	201.538,00	944.178,00	198.932,00	2.579.454,00	11,64%
2009	361.006,00	295.110,00	291.955,00	180.867,00	811.428,00	164.147,00	2.104.513,00	14,02%
2010	339.478,00	329.813,00	397.204,00	203.514,00	928.342,00	167.066,00	2.365.417,00	13,94%
2011	442.504,00	290.867,00	453.618,00	333.877,00	1.035.441,00	230.149,00	2.786.456,00	10,44%
2012	286.022,00	239.583,00	441.068,00	369.659,00	1.220.199,00	256.650,00	2.813.181,00	8,52%
2013	341.351,00	253.691,00	605.127,00	649.488,00	1.321.389,00	291.965,00	3.463.011,00	7,33%
2014	409.823,00	675.281,00	560.042,00	613.336,00	1.734.291,00	331.235,00	4.324.008,00	15,62%
2015	224.903,00	224.314,00	464.910,00	591.935,00	1.949.912,00	337.936,00	3.793.910,00	5,91%
2016	131.284,00	196.690,00	497.537,00	511.467,00	1.314.891,00	289.804,00	2.941.673,00	6,69%
2017	216.608,00	369.029,00	491.867,00	657.074,00	2.322.178,00	399.209,00	4.455.965,00	8,28%
2018	162.916,00	213.918,00	244.823,00	723.050,00	3.152.954,00	363.342,00	4.861.003,00	4,40%

Fonte: elaborado a partir de IBGE (2018).

Comparou-se a cana com outras culturas, a fim de mensurar a sua participação em valor de produção, em relação ao total arrecadado com a produção gerada no cultivo de lavouras temporárias. Como resultado, o valor da produção de cana cresceu significativamente nas últimas décadas, corroborando o crescimento de produção já identificado.

Mesmo com o crescimento elevado no período de estudo, ao serem consideradas as demais culturas de lavouras temporárias, identificou-se que a cana ainda possui uma baixa participação em valor total de produção, alcançando maior percentual no ano de 2014 (15,62%), e menor, em 2018 (4,40%).

Entre 1998 e 2018, o valor da cana aumentou 418,42 %; o arroz, 65,86%; a mandioca, 208,04%; o milho, 2854,60%; enquanto a soja, 4253,22%. Contudo, nota-se que a soja se sobrepôs em relação às demais culturas, especialmente a partir de 2008, chegando a atingir seu pico, com uma participação de 64,86% no ano de 2018.

Calcularam-se os preços da tonelada da cana, arroz, milho, mandioca e soja, com base nas variáveis *valor e quantidade da produção*, disponibilizadas na PAM/IBGE. Empregou-se, inclusive, o Índice Geral de Preços-Disponibilidade Interna (IGP-DI), da Fundação Getúlio Vargas (FGV), com vistas a calcular a correção dos preços apoiado na inflação do período (FGV, 2020).

Na Tabela 7, mostram-se as variações dos preços das culturas entre o período de 1998 e 2018.

Tabela 7– Comparação de preços, em reais, das toneladas da cana, arroz, milho e soja no Maranhão (1998-2018)

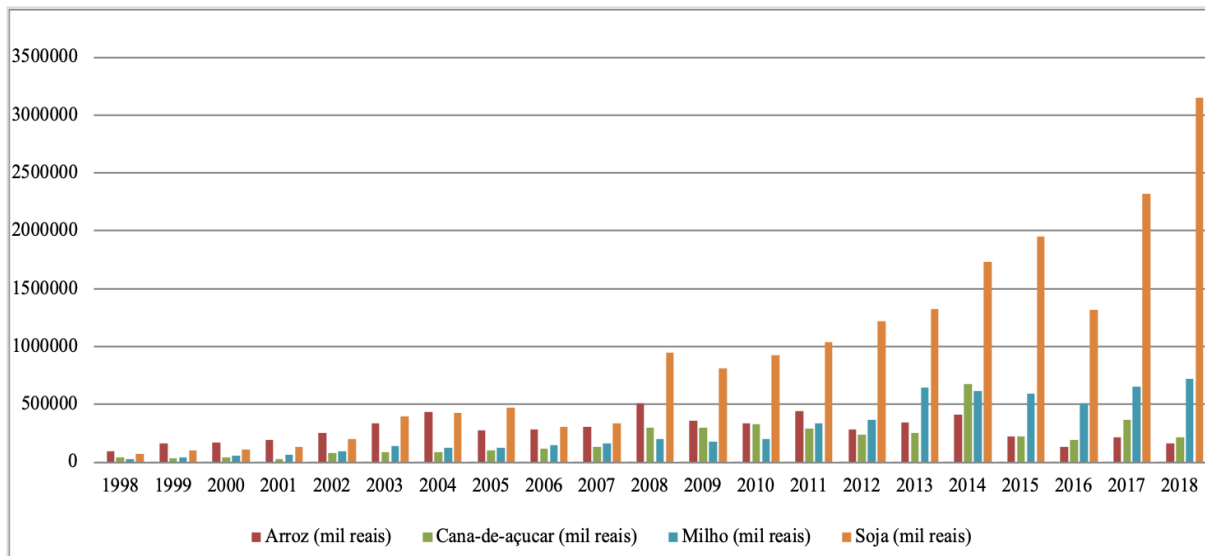
<b>Cultura</b>	<b>Preço nominal 1998/IBGE</b>	<b>Índice de correção no período</b>	<b>Preço corrigido 2018</b>	<b>Preço obtido 2018/IBGE</b>
Cana	36,77	4,78	175,74	88,11
Arroz	257,84	4,78	1232,46	787,12
Milho	169,62	4,78	810,77	547,36
Mandioca	97,70	4,78	467,01	359,50
Soja	249,38	4,78	1192,01	1146,03

Fonte: IBGE/FGV (2020).

Pela tabela, visualiza-se que a cana obteve o menor preço de comercialização no período analisado. Os preços corrigidos da cana, do arroz, do milho, da mandioca e da soja, pelo IGP-DI, no ano de 2018, mostraram-se mais elevados do que os obtidos por meio do IBGE, relativos ao mesmo ano. Dessa forma, entende-se que o valor de comercialização é inferior ao valor necessário para suprir a inflação do período.

No Gráfico 5, apresenta-se a evolução comparativa do valor da produção de cana com outras culturas de lavouras temporárias.

Gráfico 5 - Evolução do valor de produção corrente, em mil reais, da cana, do arroz, do milho e da soja, no Maranhão (1998-2018)



Fonte: elaborado a partir da Pesquisa Agrícola Municipal do IBGE (2018).

Ao observar o gráfico, constata-se que o arroz foi a cultura agrícola com maior valor de produção entre os anos de 1998 e 2002, enquanto a cana tinha a menor participação nesse período. Entretanto, nas duas primeiras décadas do século XXI, nota-se um decréscimo no valor arrecadado, e um crescimento acentuado de arrecadação da soja, seguido do milho e da cana.

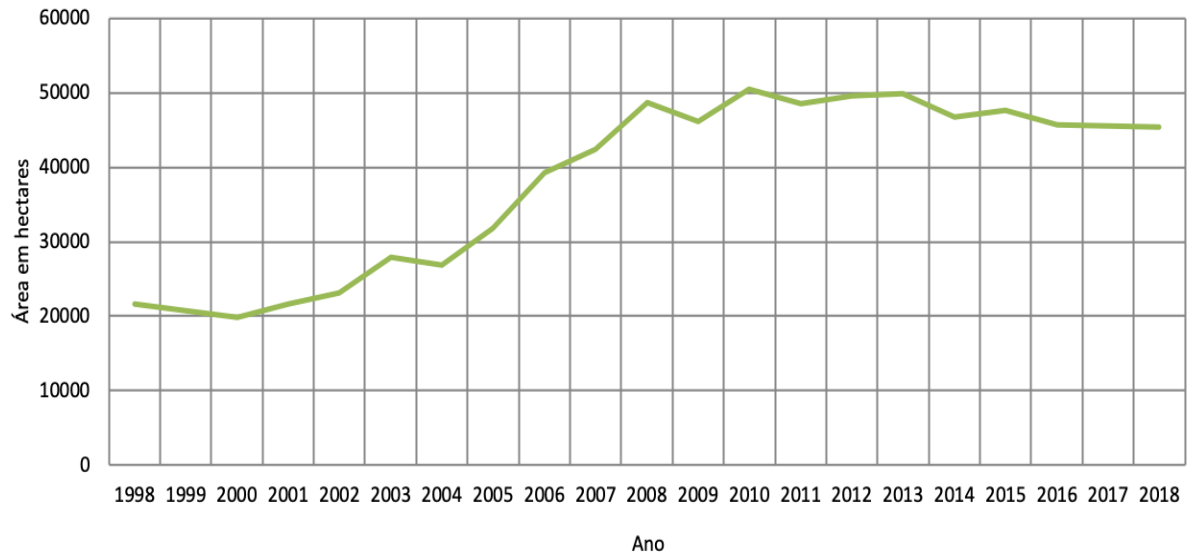
O valor da produção de cana também cresceu nas duas primeiras décadas do século XXI, apesar das oscilações entres os anos de 2010 e 2018. O pico de valor de produção deu-se em 2014, enquanto no ano seguinte, queda brusca de 66,78% no valor da produção – o maior da série histórica. Somente no ano de 2017, novamente, assistiu-se a um crescimento no valor. Contudo, no ano de 2018, houve uma queda acentuada de 42,03%.

A variável *área de cultivo* interfere diretamente na quantidade de produção, no rendimento e no valor da cana. Do total da área cultivada no conjunto dos 80 municípios, apurou-se uma tendência de crescimento do plantio de cana-açúcar em 59 deles. Outrossim, entre 1998 e 2018, detectou-se um crescimento de 112,11% na área cultivada, totalizando 23.960 hectares, o que representa similaridade também com a variável *produção*.



No Gráfico 6, apresenta-se a evolução do plantio em hectares no período.

Gráfico 6 – Evolução de áreas de plantio da cana em hectares (1998-2018)



Fonte: PAM/IBGE (2018).

Reconhece-se pelo gráfico uma variação global positiva entre os anos de 1998 e 2018, com tendência predominante de crescimento no período. Entre os anos 2000 e 2010, nota-se uma evolução significativa, com crescimento de 153,50% na quantidade de áreas plantadas. Logo após, reparam-se oscilações pequenas, até ao ano de 2018, com tendência à estabilização das áreas destinadas ao cultivo de cana.

Na contramão da queda brusca no valor da produção (66,78%, como revelado anteriormente), no ano de 2015, ocorreu aumento de 1,86% nas áreas de plantio e incremento de 13,63% no rendimento da produção. Dessa forma, justificam-se as reduções dessas variações por oscilações nos preços de comercialização da cana no mercado.

Igualmente averiguou-se, comparativamente, a área de plantio de cana com outras culturas de lavouras temporárias. Em 2018, as áreas de cultivo de cana corresponderam a apenas 2,52%, representando uma baixa participação em relação ao total de hectares destinados ao total das áreas das lavouras temporárias.

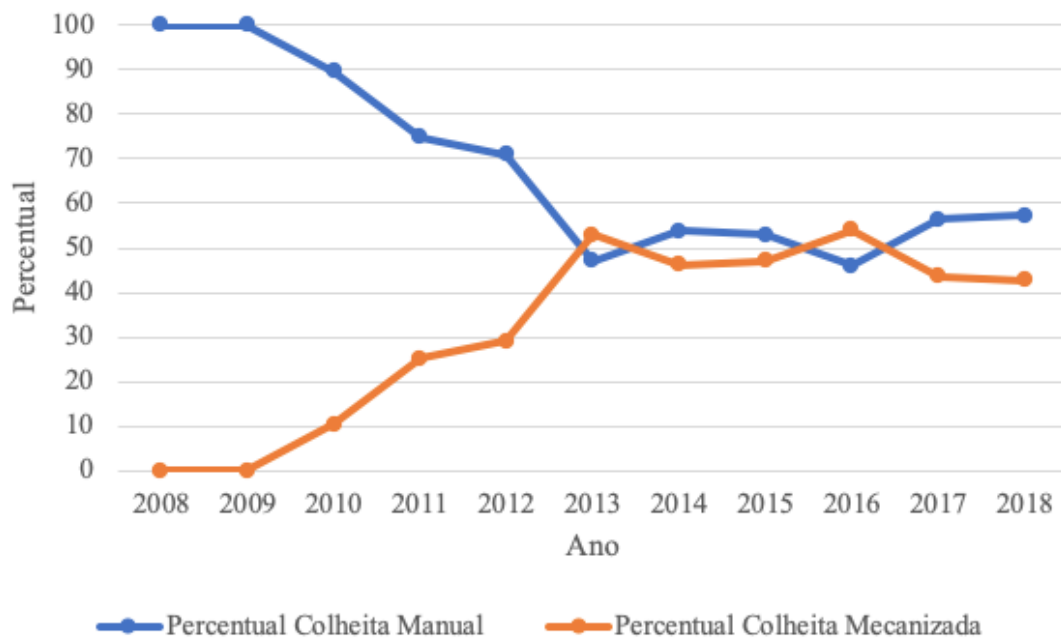
No ano de 2018, plantaram-se 45.331 hectares de cana. Mas de acordo com Manzatto *et al.* (2009), o potencial de cultivo no Maranhão é de 789.547,15. Essa informação notabiliza a abundância de terras no estado, ensejando a expansão da exploração da atividade econômica no futuro.

Por outro lado, pode-se explicar o baixo desempenho do cultivo de cana em relação a outras culturas temporárias pela sobreposição de outras culturas nas áreas destinadas à

agropecuária maranhense. Entre 1998 e 2018, a soja e o milho cresceram, respectivamente, 533,04% e 33,74%. Com o arroz e a mandioca, ocorreu o inverso: redução de 70,03% e 43,52%, respectivamente, das áreas de plantas. Mesmo assim, por serem tradicionais, essas duas culturas ainda se sobrepuseram em relação às áreas de cultivo de cana, pois apresentaram maiores áreas agrícolas.

Além disso, outra consequência da expansão da atividade canavieira relaciona-se com a forma de cultivo. Dados da Conab (2019) dão conta de que até ao ano de 2008, 100% da colheita da cana no Maranhão era desenvolvida manualmente. Esse percentual reduziu-se para 57,2% no ano de 2018, enquanto se realizou 42,8% da colheita pelo sistema mecanizado. No Gráfico 7, mostra-se a evolução das colheitas manual e mecanizada nesse estado, entre 2008 e 2018.

Gráfico 7 – Evolução dos percentuais de colheita mecanizada e manual (2008-2018)



Fonte: Conab (2019).

De acordo com o Gráfico 7, há uma redução da colheita manual em detrimento da mecanizada ao longo do período de 2008 a 2018, e isso é positivo, pois demonstra que os padrões tecnológicos empregados na agricultura canavieira evoluíram quanto aos processos de cultivo.

Sem embargo, a colheita manual ainda é comumente utilizada, porém é bastante criticada quanto ao impacto ambiental gerado, porquanto a cana é queimada antes da colheita, com o intuito de facilitar o corte, como referido por Morini *et al.* (2017) e Leite *et al* (2018),

acarretando poluição atmosférica, doenças respiratórias e riscos laborais ao trabalhador. Por outro lado, a colheita mecanizada funciona com o emprego de máquinas na execução do corte da cana, substituindo a mão de obra humana e sem a necessidade de queimar a palha da cana. Porém, gera a drástica redução de empregos, além de riscos de acidentes para os operadores de máquinas.

Ao analisar as variáveis *quantidade de produção, rendimento, valor e área de cultivo*, observa-se que a atividade canavieira se expandiu economicamente no período de estudo, sendo sua maioria destinada para a produção de etanol nas usinas existentes.

A cana concentra-se, em sua maior parte, nas mesorregiões sul, leste e centro, respectivamente, fato que se justifica pela presença de usinas, o que requer maiores quantidades de produção para abastecimento das agroindústrias.

A partir das variáveis pesquisadas, constatou-se que mesmo ocorrendo uma expansão da atividade produtiva da cana, essa cultura ainda pode ser melhor explorada no Maranhão, dada a abundância de terras com aptidão nesse estado.

Dessa forma, pode-se envidar o aumento do cultivo com a finalidade de ampliar as escalas de produção de outros produtos decorrentes de sua cadeia produtiva, como o açúcar, a cachaça, a aguardente e a rapadura.

#### **4.4 Uso e cobertura terra em municípios produtores de cana-de-açúcar no Maranhão**

Apresenta-se a distribuição dos municípios produtores nos biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga. Em seguida, discutem-se as modificações no uso e cobertura da terra, com ênfase na averiguação da ocorrência de supressão de vegetações nativas.

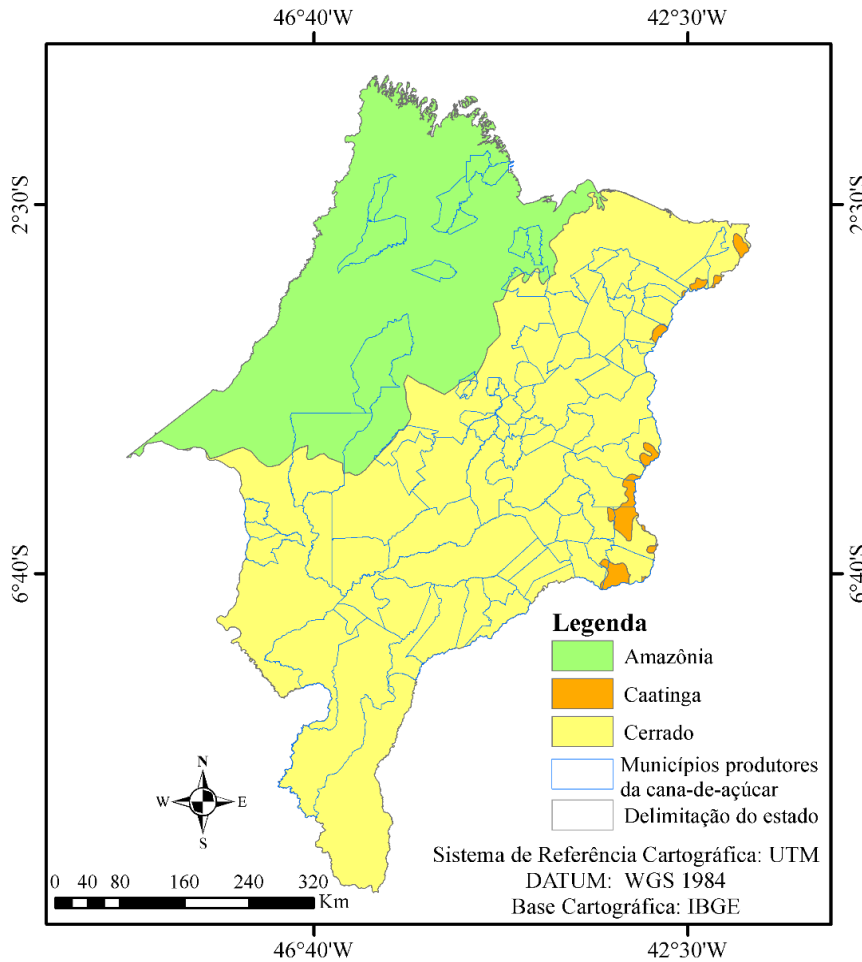
##### **4.4.1 Espacialização dos municípios produtores da cana por biomas**

O Maranhão representa, predominantemente, uma área de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado. Constatou-se a atividade produtiva da cana em ambos. Assim, desagregou os municípios por bioma, haja vista que cada bioma possui suas especificidades em relação ao tipo de vegetação predominante.

No Cerrado, concentra-se a maioria dos municípios desse estado, dos quais 135 (62,21%) fazem parte da última fronteira agrícola do Brasil, também denominada de *Matopiba*. Considera-se, inclusive, que nesses desenvolvem-se com maior intensidade as atividades agropecuárias no estado, principalmente nas mesorregiões sul e leste.

No Mapa 7, visualiza-se a localização dos municípios produtores de cana nos biomas.

Mapa 7 – Municípios produtores de cana-de-açúcar no Maranhão, classificados por biomas



Fonte: organizado e elaborado pelo autor (2020).

Conforme o Mapa 7, a maioria dos produtores de cana localiza-se no Cerrado, totalizando 66 municípios integralmente nesse bioma. Na Amazônia, verificam-se dez municípios, sendo quatro em áreas de transição entre esses biomas. Já na Caatinga, a agricultura canavieira é pouco explorada no estado, sendo identificada em nove municípios, com pequenas áreas de transição com Cerrado.

Nessa pesquisa, enfatizam-se municípios com características predominantes dos biomas. Para enquadrá-los em áreas de transição entre esses biomas, adotou-se o critério de distribuição da área territorial.

Dessa forma, dos quatro municípios de transição, considera-se Amarante do Maranhão na Amazônia, por possuir maior área localizada no bioma em questão. Seguindo a mesma lógica, categoriza-se no Cerrado Itaipava do Grajaú, Itapecuru Mirim e Lago do Junco. Assim,

dos 80 municípios produtores da cana, 11 estão na Amazônia, enquanto 69 no Cerrado (ver Apêndice 1).

Constata-se a existência de cultivo de cana na Amazônia em uma pequena quantidade de municípios do estado. Vale ressaltar que, conforme Manzatto *et al.* (2009), o ZAE Cana o excluiu das áreas aptas para a expansão do cultivo de cana, a fim de tentar proteger sua floresta de ações antrópicas.

Cabe atentar que, de acordo com Santos e Carneiro (2014), o cultivo de cana pode proporcionar redução da vegetação nativa, causando a destruição de biomas, pois interfere na redução da fauna e da flora, afetando a qualidade ambiental dos municípios.

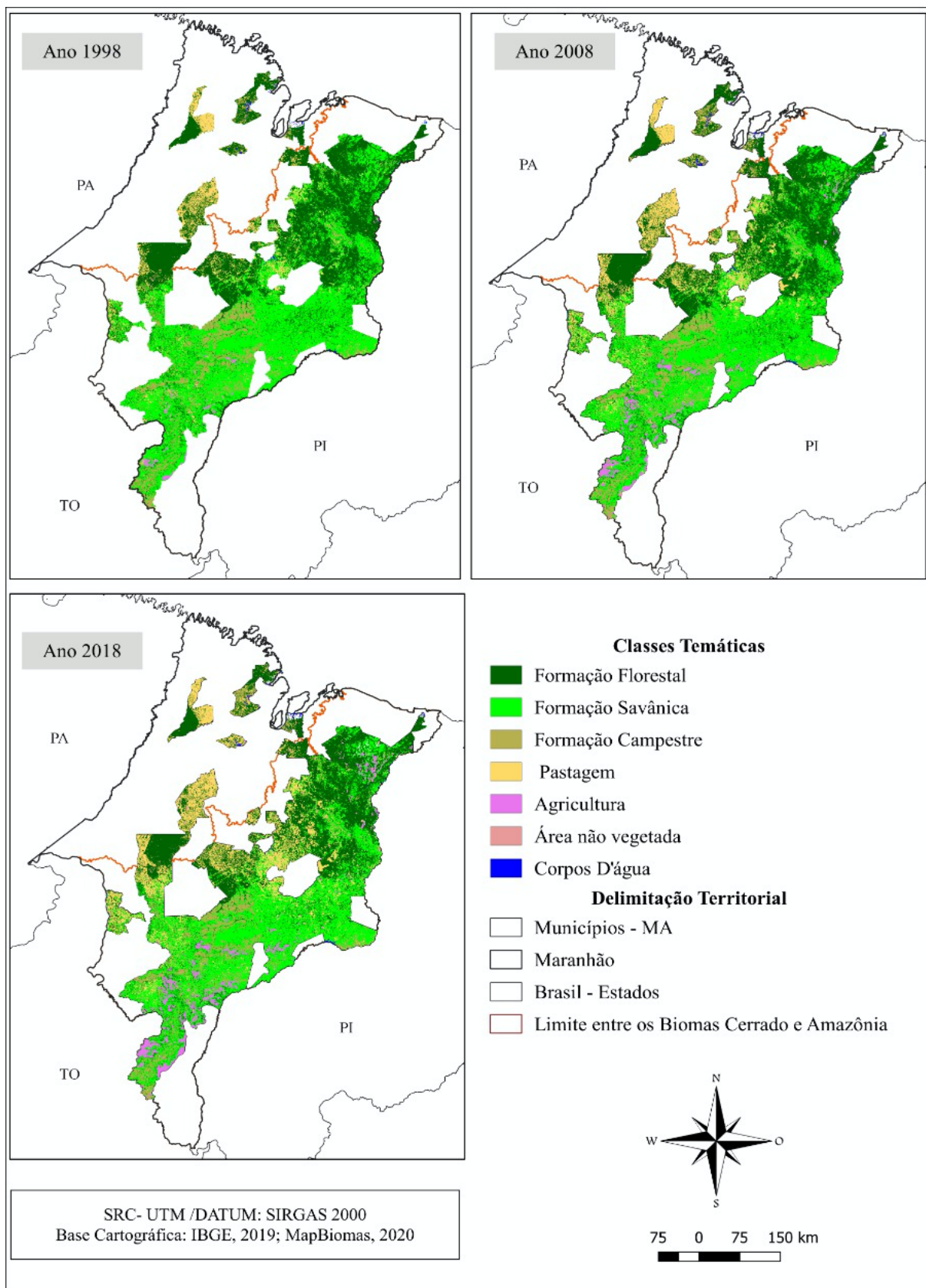
#### 4.4.2 Evolução do uso e cobertura da terra em municípios produtores da cana-de-açúcar no Maranhão

Com base nas imagens captadas da versão 5 do Projeto MapBiomas, identificou-se nos 80 municípios produtores da cana a mensuração de sete classes de uso e cobertura da terra: formação savânica; formação florestal; formação campestre; pastagem; agricultura; áreas não vegetadas; e corpos d'água. Essas estão agrupadas em camadas ou níveis. A primeira e a segunda classes são de terceiro nível, enquadradas como tipos de florestas naturais. A terceira classe é de segundo nível, inserida como um tipo de formação natural não florestal. Já a quarta e a quinta estão igualmente no segundo nível, mas inseridas na categoria *agropecuária*. Finalmente, a sexta e a sétima classes estão no primeiro nível.

A comparação de cada classe nos anos de 1998, 2008 e 2018 foi útil para a verificação do comportamento delas, bem como para a averiguação de ocorrência de supressão de vegetações nos municípios produtores de cana.

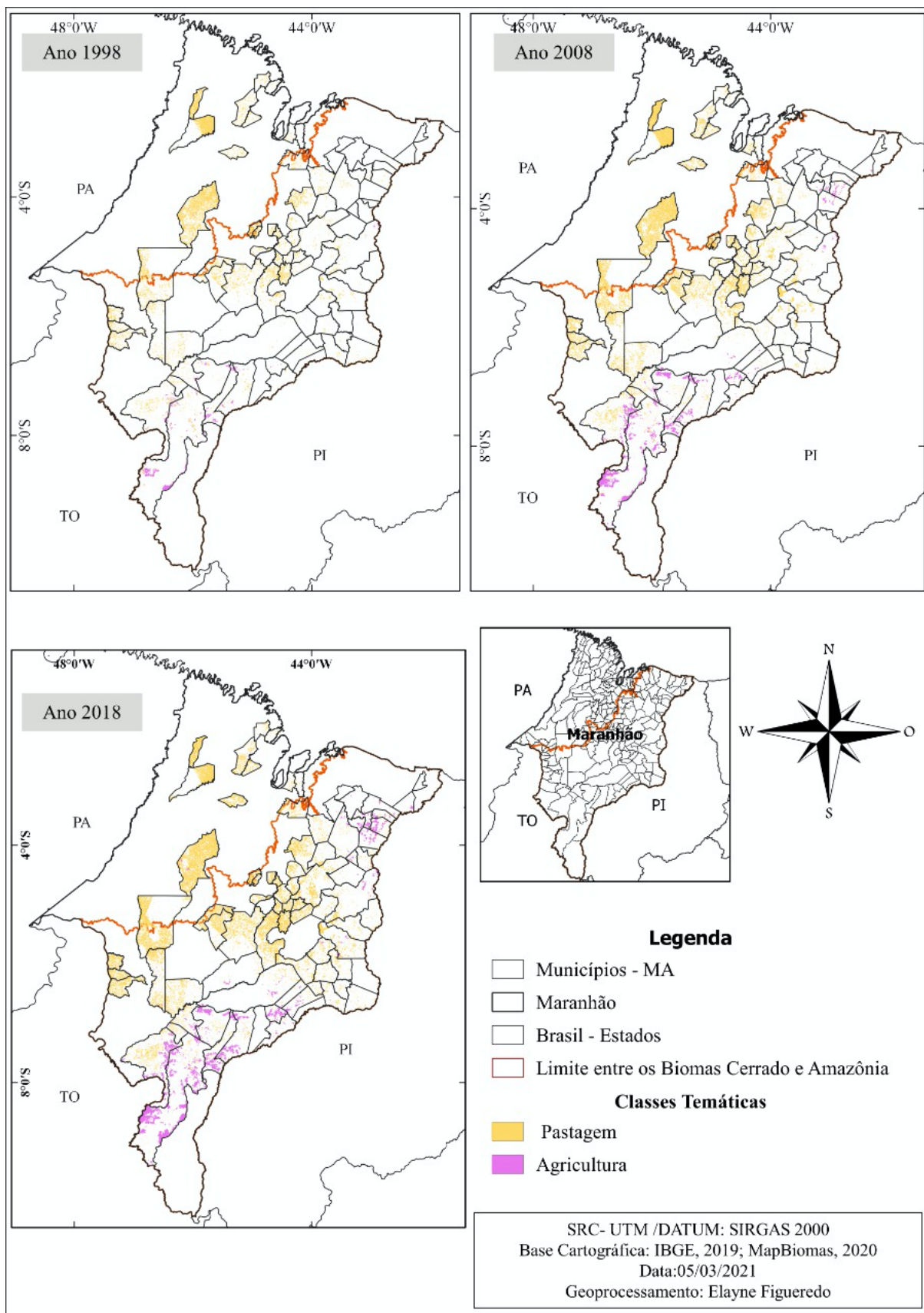
No Mapa 8, visualmente, depreendem-se as classes de uso e cobertura da terra dos 80 municípios estudados delimitados nos biomas Amazônia e Cerrado. Optou-se por tal divisão entre biomas, considerando que cada um conta com características específicas. Como exemplo, a partir dos dados coletados, cita-se que no primeiro, a vegetação nativa predominante é a formação florestal; no segundo, a formação savânica, mesmo havendo também a presença de formação florestal e a formação campestre. Em seguida, no Mapa 9, visualizam-se apenas a evolução das classes de pastagem e agricultura.

Mapa 8 – Evolução do uso e cobertura da terra nos municípios produtores de cana-de-açúcar no Maranhão (1998-2018)



Fonte: organizado e elaborado pelo autor (2020).

Mapa 9 – Evolução das áreas de pastagens e agricultura nos municípios produtores de cana-de-açúcar no Maranhão (1998-2018)



Fonte: organizado pelo autor (2021).

Dos mapas expostos, notaram-se que as mudanças mais expressivas no período de estudo se referem à redução das vegetações nativas, incluindo formações florestais e savânicas, além de expansão de áreas agrícolas e de pastagens utilizadas para atividades agropecuárias. Em menor proporção, observa-se o crescimento de áreas não vegetadas que estão diretamente relacionadas ao aumento da infraestrutura urbana nos municípios.

No bioma Amazônia, verifica-se a evolução das classes dos 11 municípios produtores da cana, a saber: Amarante do Maranhão; Bacabeira; Guimarães; Maranhãozinho; Mirinzal; Nova Olinda do Maranhão; Palmerândia; Penalva; Pinheiro; Rosário; e Santa Luzia. Na Tabela 8, mostram-se os valores das respectivas classes, bem como suas taxas de variações entre os períodos de 1998 e 2018.

Tabela 8– Evolução das classes de uso e cobertura da terra em municípios produtores de cana-de-açúcar no Maranhão no bioma Amazônia

Classe	1998 (área em ha)	Variação % 98/2008	2008 (área em ha)	Variação % 2008/2018	2018 (área em ha)	Variação % 1998/2018
Formação florestal	1.303.688,93	-16,23	1.092.140,30	-7,40	1.011.319,82	-22,43
Formação savânica	73.600,26	-22,84	56.789,31	-31,42	38.945,05	-47,09
Formação campestre	38.897,81	49,30	58.073,87	11,40	64.697,84	66,33
Agricultura	993,67	-62,61	371,56	1220,22	4.905,41	393,67
Pastagens	582.107,92	35,51	788.830,28	11,47	879.385,08	51,07
Áreas não vegetadas	6.510,44	0,38	6.534,90	2,15	6.675,88	2,54
Corpos d'água	40.701,10	9,18	44.438,45	-6,01	41.764,71	2,61

Fonte: adaptado de MapBiomias (2020).

A partir da Tabela 8, visualiza-se uma redução de 327.024,32 hectares de vegetações nativas entre 1998 e 2018, representando uma média 29.729,48 hectares suprimidos, por município. Das três vegetações nativas quantificadas, verificou-se supressão na formação florestal de 292.369,11 hectares, enquanto na formação savânica, 34.655,21 hectares. Já a formação campestre obteve crescimento de 25.800,03 hectares.

A taxa média anual de redução de formação florestal foi de 1,06% (13.922,33 hectares), ao passo que a da savana foi de 2,24% (1650,24 hectares). Mesmo com taxa mais elevada, os valores mais expressivos de redução aconteceram no primeiro tipo de vegetação.

Localizaram-se formações florestais e campestres em todos os 11 municípios, enquanto a formação savânica, em apenas quatro, os quais estão dispostos na Tabela 9, a seguir.



Tabela 9 – Municípios do bioma Amazônia com a presença de formação savânica

<b>Município/ano</b>	<b>1998 (área em hectares)</b>	<b>2008 (área em hectares)</b>	<b>2018 (área em hectares)</b>
Amarante do Maranhão	73.399,01	56.578,29	38.734,127
Bacabeira	2,32	110,71	109,277
Rosário	2,32	75,44	77,225
Santa Luzia	2,32	24,88	24,430

Fonte: adaptado de MapBiomias (2020).

Examinando a Tabela 9, é possível perceber a presença de formação savânica mais intensa no município de Amarante do Maranhão, onde a ocorrência desse tipo de vegetação se deve ao fato de se localizar em área de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado.

Nos municípios produtores da cana localizados no bioma Amazônia, há vegetações nativas típicas do Cerrado que, conforme Alencar *et al.* (2020), são a formação savânica, a formação campestre, também denominadas de *pastagens naturais*. Cabe sobrelevar que a formação florestal é comum aos dois biomas, embora mais representativa no primeiro.

O fato de existirem formações típicas do Cerrado nos municípios da Amazônia deve-se ao fato de parte deles estarem situados em áreas de transição biomática. Outro aspecto positivo alude ao crescimento de áreas nativas relacionadas à formação campestre (pastagens naturais).

A agricultura aumentou 3.911,94 (393,67%) hectares entre 1998 e 2018, nos municípios, representando uma média de apenas 355,63 hectares por município. Já as pastagens, que são as do tipo predominantemente plantadas, cresceram 297.277,17 (51,07%) ao longo desse período, apresentando uma média de 27.025,19 hectares por município. Desse modo, infere-se que o aumento dessa classe foi bem mais expressivo que o da primeira.

Quanto às áreas não vegetadas, concebe-se o crescimento de apenas 165,44 hectares (2,54%), representando uma média de crescimento municipal de 15,04 hectares, destinados ao aumento da infraestrutura urbana nos 11 municípios, entre 1998 e 2018.

Diante da quantificação obtida, reputa-se a necessidade de monitoramento dos níveis de supressão nesse bioma, bem como suas possíveis causas e consequências. Corroborando Werth (2002), a conservação da floresta amazônica é indispensável para a manutenção do clima global, evitando mudanças climáticas desfavoráveis.

É notório, pela análise da Tabela 7, que as vegetações nativas estão sendo convertidas, principalmente para o setor agropecuário, por meio da expansão de áreas agrícolas em menor proporção e pastagens plantadas em maior, visando à criação de animais. Para mais, nota-se a supressão de florestas naturais para o aumento de áreas não vegetadas em menor proporção.

Deve-se considerar, ainda, em conformidade com Souza Júnior *et al.* (2019), que o desmatamento na Amazônia proporciona mudanças nas bacias hídricas, com a redução do nível de águas. Concebe-se essa tendência apontada pelos referidos autores nos municípios produtores (vide Tabela 7), entre os anos de 2008 e 2018, cujo nível de redução das águas foi de 6,01%.

No contexto da atividade da cana-de-açúcar, também se deve reputar que a as áreas de cultivo do conjunto dos 11 municípios ainda é bastante reduzida – apenas 202 hectares – identificadas no ano de 2018 na PAM/IBGE, o que representa apenas 0,44% das áreas de cultivo dessa cultura no Maranhão. Assim, entende-se que essa atividade produtiva pouco influenciou no desmatamento de vegetações nativas na Amazônia.

Na Tabela 10, visualiza-se a quantificação das classes de uso e cobertura da terra em acumulada em 69 municípios produtores de cana localizados no bioma Cerrado.

Tabela 10 – Evolução das classes de uso e cobertura da terra em municípios produtores da cana-de-açúcar no Maranhão, no bioma Cerrado

Classe	1998 (área em ha)	Variação % 98/2008	2008 (área em ha)	Variação % 2008/2018	2018 (área em ha)	Variação % 1998/2018
Formação florestal	4.462.649,93	-6,78	4.159.990,72	-4,41	3.976.337,22	-10,90
Formação savânica	6.772.497,37	-7,10	6.291.453,79	-9,42	5.698.889,32	-15,85
Formação campestre	1.195.455,88	-2,99	1.159.737,78	-5,43	1.096.787,64	-8,25
Agricultura	98.225,1	282,85	376.058,96	68,58	633.964,64	545,42
Pastagens	664.419,97	79,63	1.193.484,88	45,71	1.739.005,72	161,73
Áreas não vegetadas	45.557,97	19,39	54.390,86	51,93	82.637,79	81,39
Corpos d'água	29.664,45	6,72	31.656,90	-15,98	26.599,25	-10,33

Fonte: adaptado de MapBiomias (2020).

Verifica-se uma redução de 1.658.589 hectares de vegetações nativas entre 1998 e 2018, representando uma média 24.037,52 hectares por município. A formação savânica obteve maior redução, sendo suprimidos 1.073.608,08 hectares; seguida pela formação florestal, com 486.312,71 hectares; e pela formação campestre, com 98.668,24 hectares reduzidos. Todos os 69 municípios apresentaram reduções nesses três tipos de vegetações nativas.

A taxa média anual de redução da formação savânica esteve em torno de 0,75 % (51.124,19 hectares); a da formação florestal, de 0,51% (23.157,74 hectares); já a formação campestre obteve 0,39% (4.698,48 hectares). Assim, assimila-se que a redução mais expressiva aconteceu na savana, que é uma vegetação presente com maior intensidade no Cerrado.

Conforme Alencar *et al.* (2020), as savanas estão fortemente ameaçadas devido à expansão agrícola no Brasil, que nas últimas décadas se intensifica na região do Matopiba,

afetando diretamente a riqueza em biodiversidade existente no bioma Cerrado. Os municípios produtores de cana localizam-se nessa região.

Outra possibilidade de conversão ressaltada por Mas, Vasconcelos e Rocha (2019) diz respeito à transformação savana em áreas de pastagens plantadas, ocasionadas por ações antrópicas para que ocorra a atividade agropecuária, com a alimentação de animais.

A formação campestre, pastagens naturais ou campos, são tipos de vegetação natural também características do Cerrado. Verificou-se uma redução de 98.668,24 hectares entre os anos de 1998 e 2018, representando um valor médio de 1.429,97 hectares por município. Tal variação significa a ocorrência de substituição de áreas com predominâncias de campos e pastagens por outros tipos de uso, como agricultura, pastagem plantada ou infraestrutura urbana.

As áreas destinadas para a agricultura aumentaram 535.739,54 hectares, com valor médio de 7764,34 hectares por município. Também se notou, no conjunto dos municípios, uma taxa média anual de aumento em 25,97% (25.511,40 hectares).

Já as áreas de pastagens plantadas demonstraram maior crescimento no período, correspondente a 1.074.585,75 hectares, com média de 15.573,70 hectares por municípios e uma taxa de aumento anual de 7,70 % (51.170,75 hectares), referente aos municípios de forma agregada.

Assim, essas duas últimas variáveis demonstram uma intensificação das atividades agropecuárias nos municípios produtores de cana inseridos no bioma Cerrado. Mesmo tendo um crescimento percentual de áreas agrícolas mais elevado, numericamente, as áreas de pastagens plantadas obtiveram crescimento mais elevado em hectares. Importa ressaltar, inclusive, que 99,56% das áreas de cultivo de cana estavam concentradas no ano de 2018 nos municípios que integram esse bioma.

Áreas não vegetadas elevaram-se em 37.079,82 hectares, revelando um crescimento médio de 537,38 hectares por município. Assim, quando comparado com a média dos municípios da Amazônia, nota-se que a infraestrutura urbana aumentou mais nos produtores localizados no Cerrado.

As modificações mais expressivas nos municípios produtores localizados no bioma Cerrado dizem respeito, principalmente, à conversão de formações savânicas e florestais em áreas agrícolas e de pastagens plantadas. Tais resultados corroboram as visões de Parente e Ferreira (2018), e Alencar *et al.* (2020), para quem as vegetações nativas nesse bioma são decorrentes da expansão agrícola e, mais recentemente, da última fronteira do Brasil, o Matopiba.

Mesmo com menor percentual de crescimento em relação à agricultura, as áreas de pastagens plantadas constituem a categoria com maior quantidade de área de avanço de uso de terras nos municípios produtores da cana no Cerrado maranhense, o que está em conformidade com a tendência apontada por Parente *et al.* (2019) para o Brasil.

Com a quantificação das classes de uso e cobertura da terra dos municípios produtores de cana agregados por biomas, concebe-se que as mudanças foram mais significativas nos municípios que integram o Cerrado maranhense. Percebe-se que a relação existente de forma mais representativa direciona-se para o avanço das atividades agropecuárias e a supressão de vegetações nativas.

Assim, como forma de representar a realidade dos 80 municípios, optou-se por estudar essas classes anualmente nos municípios, compreendendo o horizonte de 21 anos, entre 1998 e 2018. Então, calculou-se a quantidade de supressão anual de vegetação nativa tendo em vista a formação florestal, a savânica e a campestre. Já para o cálculo das quantidades de áreas destinadas à agropecuária, consideraram-se as áreas agrícolas e de pastagens plantadas.

Entre 1998 e 2018, a supressão acumulada, tendo em conta esses 80 municípios, foi de 1.985.613,32 hectares de vegetações nativas, distribuídas entre formações florestais, savânicas e campestre. Em todos os municípios da área do estudo constatou-se redução de algum desses tipos de vegetação.

Conforme Araújo *et al.* (2019), é possível inferir que a supressão dessas áreas nesses municípios também ocasionou a redução da biodiversidade nos biomas onde se inserem, além de consequências climáticas em nível local.

Não obstante, o crescimento econômico aumentou com a elevação da quantidade de áreas destinadas ao cultivo de cana, singularmente no Cerrado, além das demais atividades agropecuárias, incluindo as culturas agrícolas de lavouras temporárias e permanentes, e a criação de animais. Contudo, essa expansão é impactada pelo uso de recursos naturais presentes na natureza.

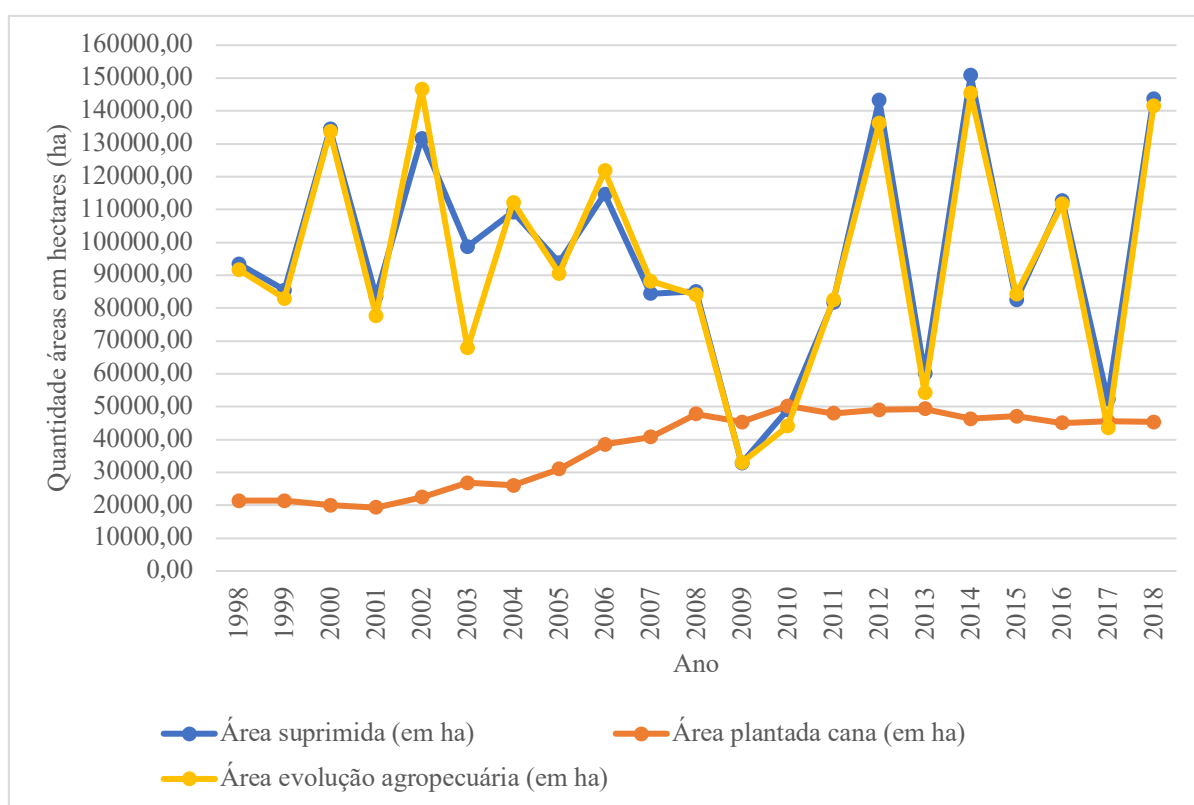
O avanço das áreas da agropecuária foi de 1.911.514,4 hectares no conjunto dos 80 municípios, entre 1998 e 2018. Constatou-se elevação dessas áreas em todos os municípios da área de estudo, tanto os localizados no Cerrado quanto na Amazônia.

Realizou-se um teste de correlação para identificar a relação entre a quantidade de vegetação nativa suprimida e a de áreas de expansão da agropecuária, entre os anos de 1998 e 2018. Por meio de um nível de significância de 0,01, identificou-se, a partir do coeficiente de correlação de *Pearson*, o valor de 0,971.

O teste mostrou que as duas variáveis são fortemente correlacionadas. Trata-se de uma relação tendencial entre redução da conservação da natureza e crescimento econômico. Portanto, é possível afirmar que a supressão da vegetação nativa nos municípios produtores da cana está relacionada à expansão das atividades agropecuárias. Desse modo, ocorre a conversão de vegetações naturais em áreas de pastagens predominantemente plantadas e áreas agrícolas, incluindo a cana.

No Gráfico 8, observa-se o histórico da evolução anual das quantidades de áreas suprimidas, áreas de expansão destinadas à agropecuária e áreas de plantio de cana-de-açúcar no período de estudo. Calcularam-se as duas primeiras conforme os dados obtidos do MapBiomas, enquanto para a obtenção da última, consultou-se a PAM/IBGE.

Gráfico 8 – Evolução da quantidade de áreas suprimidas, áreas de avanço da agropecuária e áreas de cultivo de cana



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

A representação das variáveis no Gráfico 5 demonstram os seus respectivos comportamentos ao longo dos anos, indicando as respectivas tendências de crescimento ou decréscimo. Não se trata, pois, de uma análise de causalidade – quando se verificaria o efeito ou a influência entre variáveis.

Assim, depreender-se que quantidades de áreas de vegetação nativa suprimidas seguem o mesmo comportamento das áreas de expansão da agropecuária. Ao longo das duas décadas,

observaram-se oscilações nessas áreas. Os anos com maior quantidade de áreas de vegetações nativas suprimidas coincidem com os de maior expansão de áreas destinadas à agropecuária, a saber: 2000, 2002, 2012, 2014 e 2018.

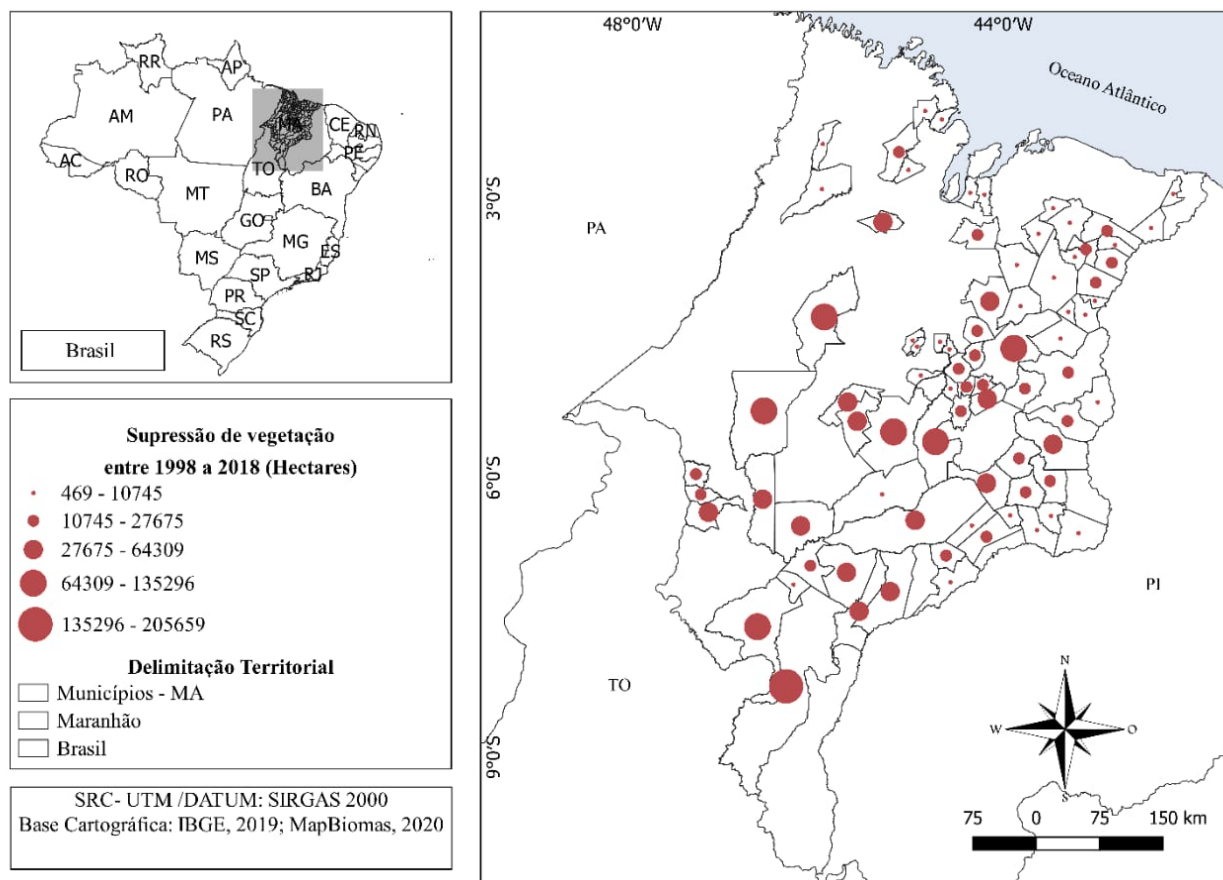
Nos anos de 2009, 2010, 2013 e 2017, identificou-se menor necessidade de supressão das áreas de vegetações nativas. Além do mais, verificou-se menor expansão da agropecuária. A realidade mais recente, entre os anos de 2017 e 2018, aponta tanto para o crescimento da supressão como para a expansão da agropecuária.

No contexto da cana-de-açúcar, nota-se que no conjunto dos municípios, houve expansão de 112,11% das áreas destinadas ao seu cultivo, ou seja, um crescimento de 23.960 hectares plantados de cana, conforme observado na PAM/IBGE. Então, a tendência de expansão de cana-de-açúcar e redução de vegetação nativa, identificada nos municípios produtores no Maranhão, está em conformidade com a aludida por Santos e Carneiro (2014) em Ituiutaba, Minas Gerais que é similar.

Ao investigar a ocorrência de supressão de forma desagregada nos 80 municípios produtores, ao longo do período de estudo, calcularam-se as quantidades de áreas suprimidas por meio da subtração do total de áreas de vegetações nativas existentes no ano de 1998 com o total de áreas do ano de 2018, em hectares.

A partir desse cálculo, observa-se a ocorrência de supressão de vegetação nativa em todos os municípios. No Mapa 10, ilustra-se a distribuição dos municípios por intensidade de supressão da vegetação.

Mapa 10- Representação das quantidades de áreas suprimidas da cobertura vegetal em municípios produtores de cana-de-açúcar (1998- 2018)



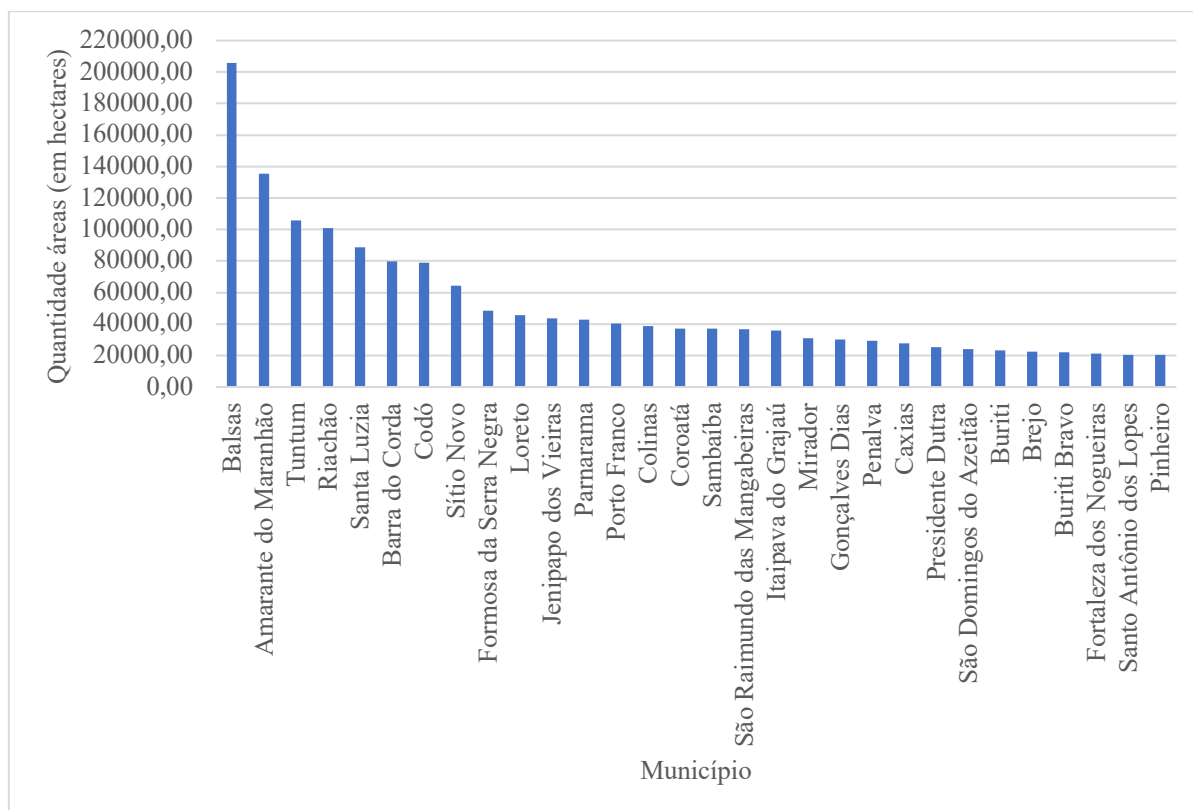
Fonte: organizado e elaborado pelo autor (2020).

A maior intensidade de supressão de vegetação ocorre nos municípios localizados ao sul e leste do Maranhão, precipuamente aqueles que integram o Matopiba, os quais se inserem no Cerrado.

Dos 80 municípios com ocorrência de supressão, elaborou-se um *ranking* com 30 municípios que mais suprimiram vegetação entre 1998 e 2018. Juntos, esses municípios representaram 79,74% do total de supressão no período. Tal fato é preocupante, tendo em vista a existência de alta concentração de supressão em uma quantidade reduzida de municípios.

No Gráfico 9, mostra-se a quantidade de total de áreas suprimidas de cada um desses municípios no período em estudo.

Gráfico 9 – Municípios com maior supressão da vegetação (1998-2018)



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

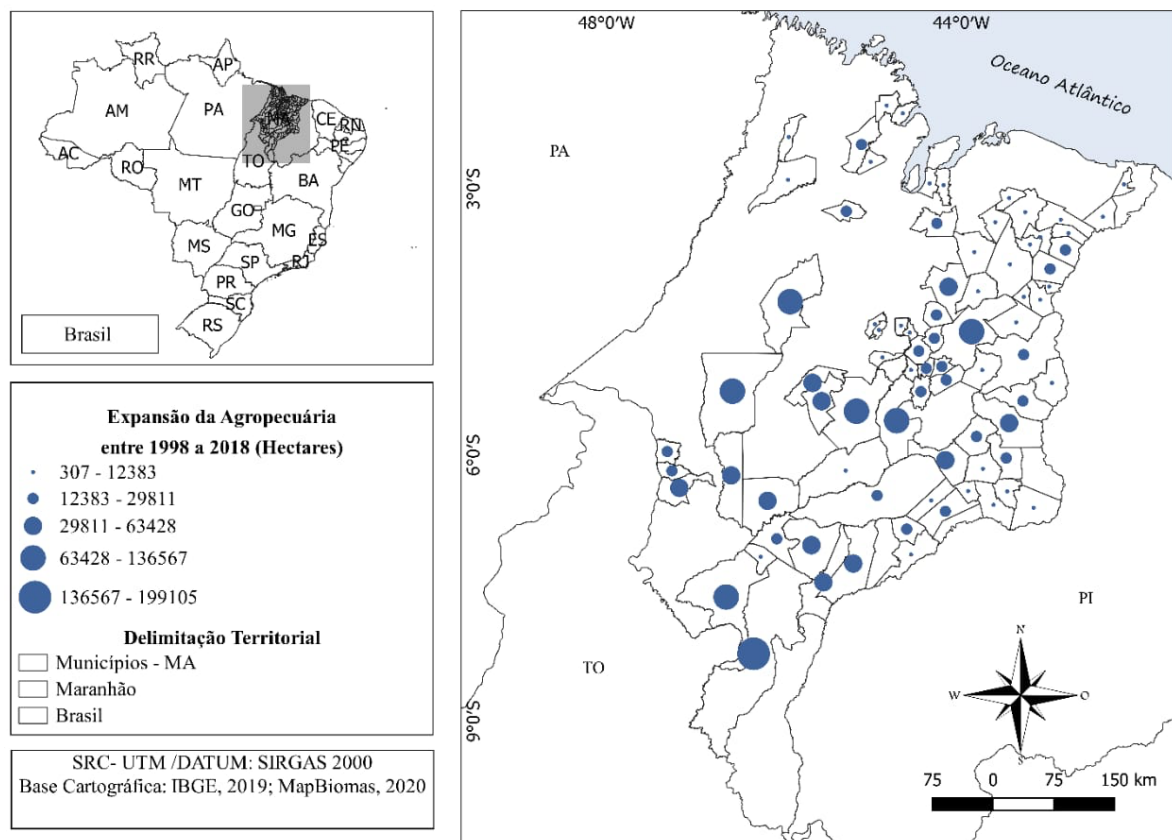
Os cinco municípios com maior ocorrência de supressão foram: Balsas (10,49%); Amarante do Maranhão (6,90%); Tuntum (5,39%); Riachão (5,14%); e Santa Luzia (4,53%). Juntos, representaram 32,47% da área total suprimida no período de estudo, evidenciando uma considerável concentração em relação aos demais. Outrossim, esses municípios obtiveram, também, maior crescimento na quantidade de áreas destinadas para a agropecuária.

Os maiores produtores de cana no estado são os cinco municípios que contam com usinas de processamento de etanol em seus territórios, já citados: São Raimundo das Mangabeiras e Campestre do Maranhão, na mesorregião sul; Tuntum, ao centro; e Aldeias Altas e Coelho Neto, ao leste. Desses, apenas o primeiro e o terceiro estão no *ranking* de supressão apontado no Gráfico 6.

No Mapa 11, mostra-se a evolução da agropecuária de forma desagregada no conjunto dos 80 municípios. Para identificar a quantidade de áreas expandidas ou reduzidas em cada município, subtraiu-se o total de áreas existentes no ano de 2018 com as áreas de 1998.



Mapa 11 – Representação do crescimento de áreas destinadas para a agropecuária nos municípios produtores da cana-de-açúcar (1998-2018)



Fonte: Organizado e elaborado pelo autor (2020).

No Mapa 11, observa-se a intensidade de crescimento das áreas destinadas para a agropecuária em todos os 80 municípios produtores de cana-de-açúcar. Seguindo a mesma tendência da supressão, o maior avanço da agropecuária aconteceu em municípios localizados ao Sul, englobados pelo Cerrado maranhense.

Identificaram-se disparidades quanto às classificações das áreas agrícolas no período de estudo, pois, na prática, ao se consultarem os valores do total de lavouras permanentes e temporárias para estimar o valor total da área agrícola contida na PAM/IBGE, verificou-se que tais áreas são maiores do que as que constam na base de dados do Projeto MapBiomias.

Pode-se considerar isso uma limitação dessa base de dados que calcula o tamanho das áreas baseadas em *pixels* de imagens de satélites. Portanto, áreas agrícolas foram classificadas por satélites identicamente a outras classes de uso e cobertura da terra.

Coadunando Mas, Vasconcelos e Rocha (2019), essas classificações inadequadas de áreas são chamadas de *confusão espectral*. Segundo Alencar *et al.* (2020), suas causas relacionam-se à dificuldade de mapear, devido às variações que ocorrem entre as estações chuvosas e secas.

Para minimizar tais distorções, procura-se representar tanto de forma agregada quanto desagregada as áreas agrícolas com as áreas de pastagens. Com os dados obtidos, nota-se uma tendência de crescimento de áreas da agropecuária em todos os municípios que cultivam a cana. Em contrapartida, também se identifica redução da vegetação nativa em todos esses municípios.

Desse modo, capta-se a tendência de crescimento da agropecuária e ocorrência supressão de vegetações nativas, em conformidade com a proposta dos estudos desenvolvidos por Costa, Andrade e Araújo (2011); Araújo *et al.* (2019); e Silva *et al.* (2019), no Maranhão.

No entanto, demonstram-se as variáveis em forma de tendências. Para mostrar a relação de causalidade entre a influência do cultivo de cana na supressão das florestas naturais, faz-se necessário maior aprofundamento metodológico e redução do número de municípios, a fim de que haja viabilidade na investigação. Nessa perspectiva, optou-se por propor São Raimundo das Mangabeiras e Campestre do Maranhão como amostras de casos empíricos, por serem os maiores produtores no estado.

Os resultados discutidos nesta seção apontaram as principais modificações no uso e cobertura da terra dos municípios produtores de cana-de-açúcar, considerando-se as variações tanto nas imagens quanto na quantificação das áreas de vegetações nativas, agricultura, pastagens, áreas não vegetadas e corpos d'água.

Com a análise das categorias mencionadas, reconhece-se que a principal relação identificada consiste na existência de supressão de vegetação para o crescimento da agropecuária nos municípios. Por meio de correlação estatística, verificou-se uma forte relação entre as duas atividades. Portanto, as atividades agrícolas e de pastagens plantadas são frutos da conversão de vegetações nativas nos municípios produtores de cana no estado do Maranhão.

#### **4.5 Expansão do cultivo de cana-de-açúcar e alterações na cobertura vegetal dos maiores produtores do Maranhão**

São Raimundo das Mangabeiras e Campestre do Maranhão são os municípios com a maior produção de cana no estado maranhense, sendo por isso, designados para a pesquisa *in loco*, pois se acredita que quanto maior a produção, maiores são as mudanças na cobertura vegetal. Nessa lógica, a seguir, discutem-se a evolução da expansão canavieira e as modificações no uso e na cobertura da terra dessas localidades.

#### 4.5.1 São Raimundo das Mangabeiras

O primeiro registro sobre a produção da cana-de-açúcar em São Raimundo das Mangabeiras data do ano de 1974 conforme a PAM/IBGE. Mas até meados da década de 1990, a cana era produzida em reduzidas escalas. No período entre 1974 e 1994 por exemplo, observou-se um valor mínimo de 440 toneladas e valor máximo 5.500 toneladas.

A partir de 1992 o município recebeu a implantação de uma agroindústria com a finalidade de produzir etanol a partir da cana, a Agroserra. Na época adquiriu-se uma destilaria de álcool e paralelamente se realizou o plantio para a formação de viveiros primários e secundários. Contudo, conforme a PAM/IBGE somente no ano de 1995 aconteceu a primeira grande safra da cana no município, totalizando 320.000 toneladas de cana. Nesse mesmo ano a usina de fato entrou em operação.

Fotografia 1 – Usina Agroserra



Fonte: Acervo pessoal do autor (2020).

Na Fotografia 1, constata-se a entrada das instalações da usina. Destaca-se que o amontoado de resíduos à direita da imagem é o bagaço da cana triturado, que é gerado durante a produção de etanol. A organização já o utiliza como insumo para geração de energia para consumo interno, contudo, mesmo com tal prática constatou-se uma excessiva quantidade.

A partir da criação da Agroserra, observou-se significativa expansão da produção da cana, sendo marcada por oscilações no decorrer dos anos. No Gráfico 10, apresenta-se a evolução da quantidade de toneladas produzidas entre 1998 e 2018.

Gráfico 10 – Produção de cana-de-açúcar em São Raimundo das Mangabeiras (1998-2018)



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2018).

Conforme pode se observar no Gráfico 10, entre 1998 e 2018 ocorreu crescimento substancial na quantidade de produção da cana, representando um aumento 74,86%. Porém, constatou-se que a tendência de maior expansão se concentrou até o ano de 2008, pelo qual obteve maior produção no município, 1.260.000 de toneladas. A partir desse ano, observou-se estabilização nas quantidades produzidas, seguido de redução, mais recentemente, entre 2016 e 2018.

Com as visitas *in loco*, verificou-se que partir do ano de 2017, a Agroserra descentralizou por meio de arrendamento as operações de cultivo e produção da cana para a empresa Jaborandi Agrícola, pertencente a empresa de capital aberto BrasilAgro. O contrato de parceria possui validade de 15 anos podendo ser prorrogado pelo mesmo período. Com tal arrendamento, a empresa passou a se concentrar apenas nas operações de produção de etanol anidro.

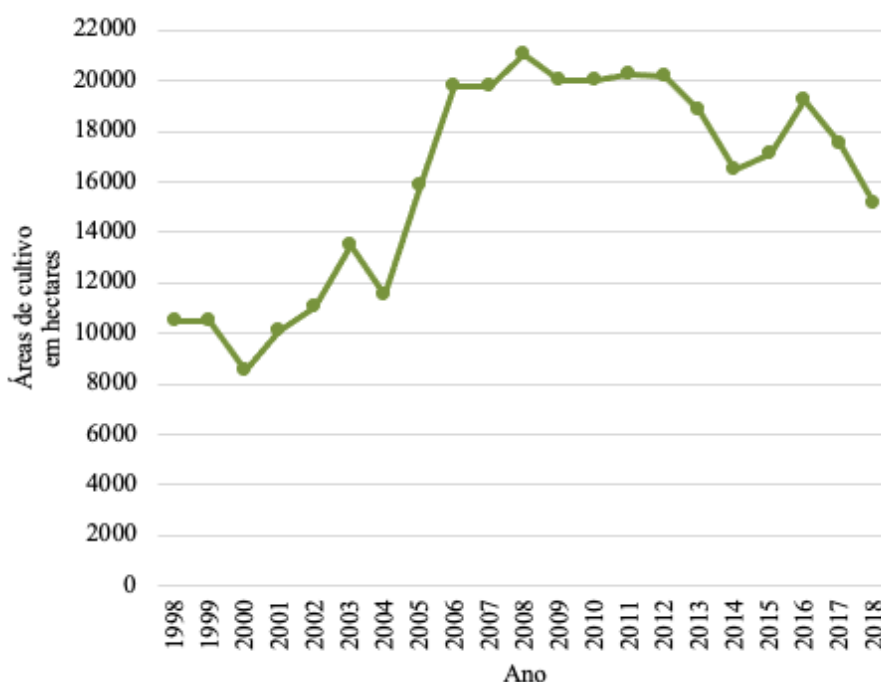
No município existem 2 estabelecimentos sob a responsabilidade da BrasilAgro que cultivam e produzem a cana em grande escala com a finalidade de abastecer a fabricação de etanol anidro, ambos estão localizados em conglomerado com a usina Agroserra há aproximadamente 120 quilômetros do centro da cidade. Essas localizações são vantajosas do ponto de vista estratégico pois conforme Hun, Mele e Pérez (2017), a fase agrícola da cana está diretamente relacionada com a fase industrial, já que se constitui em um insumo para a agroindústria.

No âmbito da agricultura familiar, observou-se por meio do Censo Agropecuário que no ano de 2017 existiam 3 estabelecimentos, contudo ao se visitar a secretaria de agricultura, verificou-se por meio de conversas informais que esses estabelecimentos não existem e que a cana é cultivada apenas para abastecer a agroindústria ali existente.

Ressalta-se também como ponto crítico observado, que a secretaria de meio ambiente do município, encontra-se inoperante desde maio do ano de 2020 até a data da visita em outubro do mesmo ano. Tal fato é preocupante, tendo em vista que tal órgão deveria ser responsável pelo controle das informações ambientais e por assegurar o adequado cumprimento das políticas ambientais em vigor com ações de fiscalização dos empreendimentos.

No Gráfico 11, apresenta-se a evolução das áreas de cultivo em hectares entre 1998 e 2018.

Gráfico 11 – Cultivo de cana-de-açúcar em São Raimundo das Mangabeiras (1998-2018)



Fonte: Elaborado a partir da PAM do IBGE (2018).

A tendência evolutiva sobre as áreas de cultivo da cana é semelhante a quantidade produzida. Observou-se elevação de 44,26% entre 1998 e 2018. Constatou-se que a maior incorporação de áreas de cultivo aconteceu até o ano de 2008, pelo qual obteve a maior área cultivada no período, 21.000 hectares, representando o dobro das áreas plantadas no ano inicial visualizado no Gráfico 11. Mesmo se tratando do maior produtor da cana no Maranhão, também notou-se estabilização e redução das áreas de cultivo nos anos mais recentes.

Constatou-se também por meio de conversas informais que o cultivo da cana nos estabelecimentos visitados é realizado com o auxílio da rotação de culturas. A partir do quarto corte da cana, culturas como a soja e o milho são plantadas, a fim de preparar os solos para um novo ciclo da agricultura canavieira.

Em relação ao uso da terra no município, verificou-se que o cultivo da cana-de-açúcar se mostrou expressivo no período de estudo. Tal afirmação pode ser realizada, a partir da comparação da área plantada da cana com outras de lavouras temporárias no município. Na Tabela 11, compara-se a lavoura canavieira com outras como arroz, mandioca, milho e soja entre 1998 e 2018.

Tabela 11 – Áreas de cultivo em hectares de lavouras temporárias em São Raimundo das Mangabeiras

Ano	Cana-de-açúcar	Arroz (em casca)	Mandioca	Milho (em grão)	Soja (em grão)	Outras
1998	10.500	2.300	300	1.900	9.000	300
1999	10.500	2.766	530	1.134	11.625	192
2000	8.500	5.214	260	2.490	12.050	90
2001	10.099	2.570	290	2.197	14.147	78
2002	11.000	2.550	158	2.200	15.247	103
2003	13.500	1.790	200	2.260	17.220	1
2004	11.500	1.890	200	2.260	21.008	268
2005	15.800	1.935	160	1.918	23.109	68
2006	19.800	1.100	210	2.000	24.000	1.060
2007	19.800	1.100	255	2.000	24.000	1.010
2008	21.000	1.155	210	2.200	25.440	1.162
2009	20.000	1.188	220	2.293	24.498	1.033
2010	20.000	1.236	266	2.244	30.839	116
2011	20.252	1.285	266	2.334	32.690	111
2012	20.197	1.252	227	5.257	14.700	330
2013	18.844	1.226	240	14.084	14.649	218
2014	16.500	980	270	16.214	15.162	217
2015	17.110	951	270	14.869	16.393	538
2016	19.200	627	274	14.465	16.229	510
2017	17.500	235	265	16.504	16.878	2.440
2018	15.148	665	265	16.848	18.920	2.763

Fonte: elaborado pelo autor, a partir da PAM do IBGE (2018).

Na Tabela 11, verifica-se que mesmo com oscilações nas quantidades das áreas cultivadas, a cana-de-açúcar esteve com uma participação elevada no período de estudo quando comparada com as demais culturas de lavouras temporárias. Desse modo, observou-se também como expressivo no município o cultivo do milho e da soja. Como outras culturas identificadas na PAM/IBGE, cita-se o feijão, o amendoim, a fava, a melancia e o sorgo.

Como breve panorama evolutivo, destaca-se que ano de 1998 a cana representava 43,20% do total de hectares cultivados com lavouras temporárias no município, demonstrando assim que era a atividade agrícola predominante. Em 2008, ano com maior cultivo da cultura, observou-se que a mesma se manteve estável, com 41,04% do total das áreas. Ressalta-se que

entre 1998 e 2008, o uso da terra para se cultivar lavouras temporárias, saltou de 24.300 para 51.167 hectares. Contudo as mudanças, mais expressivas nesse último período dizem respeito ao aumento do cultivo da cana e da soja.

Já no ano de 2018, notou-se que o total de hectares para lavouras temporárias aumentou para 54.609 hectares no município. A cana representou nesse ano apenas 27,73% das áreas totais de cultivo. Como mudança mais significativa se notou entre 2008 e 2018 a redução do cultivo da cana e da soja, para a o avanço expressivo do milho que se elevou de 2.200 para 16.848 hectares nesse período.

Em relação as demais culturas, notou-se que a mandioca se manteve estável no período de estudo, sendo pouco expressiva quando comparada às outras lavouras. Enquanto o arroz declinou no município, principalmente na última década, já as áreas destinadas para outros produtos em menores proporções obtiveram crescimento.

Diante do cenário exposto, é possível se afirmar que a expansão do cultivo da cana foi marcada pela competição pelo uso da terra no município, principalmente com as lavouras da soja e do milho. Desse modo, as áreas destinadas para a cana-de-açúcar têm sido reduzidas devido a expansão dessas duas últimas lavouras que também obtiveram significativa expansão nas últimas décadas.

Conforme Manzatto et al. (2009) no Maranhão há abundância de terras com potencial médio para se cultivar a cana de açúcar identificadas pelo zoneamento agroecológico da Embrapa.

Mesmo assim, nota-se que a expansão canavieira em São Raimundo das Mangabeiras vem sendo marcada pela competição com outras culturas já citada. Tal acontecimento segue a tendência do estudo de Santos e Carneiro (2014), pelos quais estudaram o crescimento da cana-de-açúcar em um município mineiro.

Na Figura 2, observa-se o registro fotográfico das áreas de cultivo no entorno da usina de etanol.

Fotografia 2 – Áreas de cultivo no entorno da usina



Fonte: acervo pessoal do autor (2020).

O conglomerado dos dois estabelecimentos agrícolas no entorno da usina, somam 27.137 hectares de terras agricultáveis, sendo 15.000 hectares localizados na fazenda denominada de “Parceria IV”, onde cultiva exclusivamente a cana-de-açúcar, e 10.137 hectares localizados na fazenda São José, sendo destinados tanto para a agricultura canavieira como para cultivar a soja.

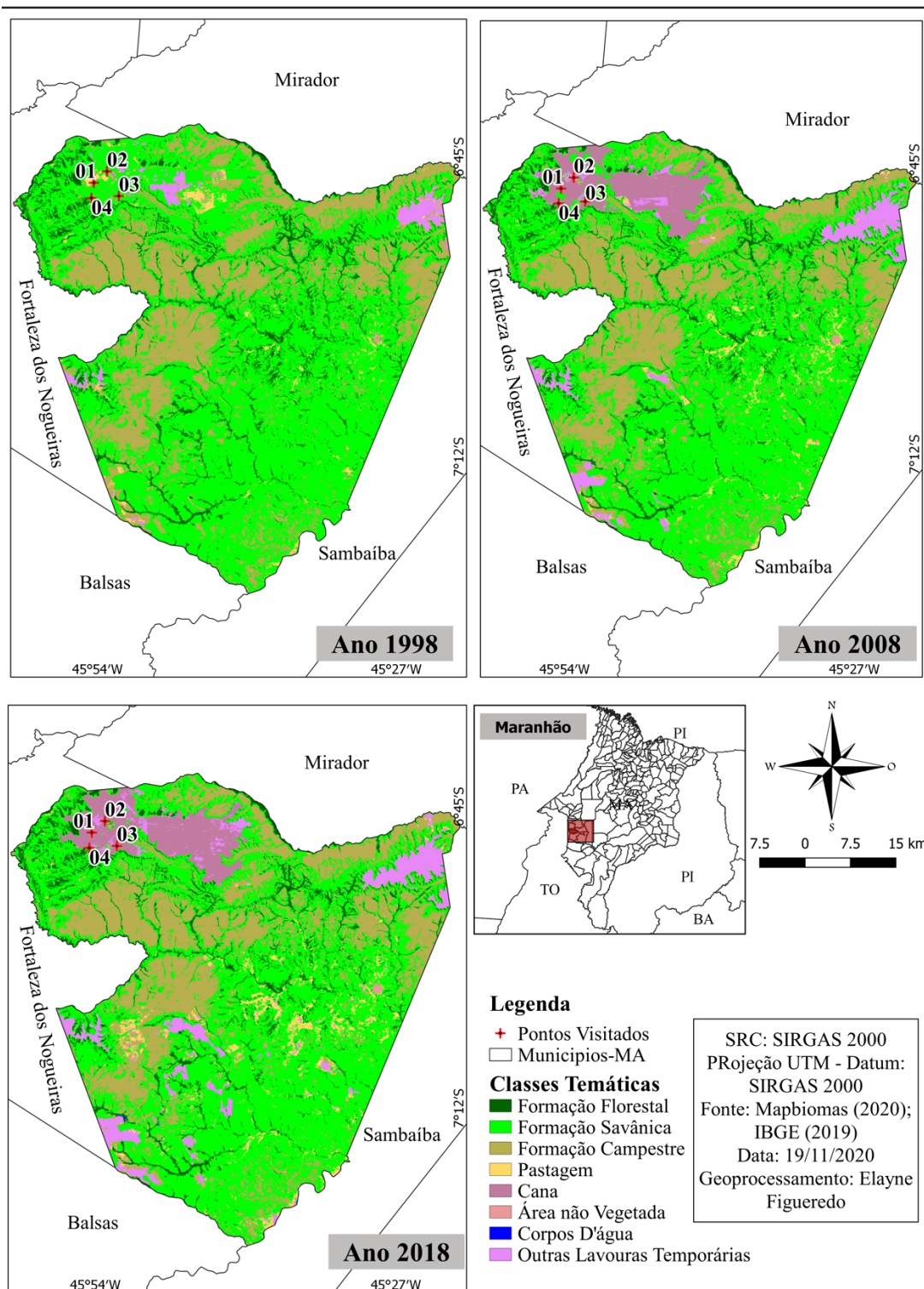
Quanto as transformações na uso e cobertura da terra, detectou-se que o MapBiomás, versão 5, fornece imagens do cultivo da cana captadas por sensoriamento remoto. Assim, optou-se por se utilizar essas imagens, além também de se haver selecionados pontos de cultivo da cana nas visitas *in loco* para comparar com as imagens selecionadas.

Ressalta-se que esses locais foram identificados por sugestões através de conversas informais com os funcionários da empresa, assim objetivou-se marcar pontos potenciais para se investigar a ocorrência de desmatamento de vegetação nativa para a atividade agrícola da cana.

No Mapa 12, visualizam-se as mudanças ocorridas entre 1998 e 2018 em São Raimundo das Mangabeiras. Em seguida, apresenta-se o Mapa 13, onde destaca-se a evolução das áreas de pastagens e áreas agrícolas.

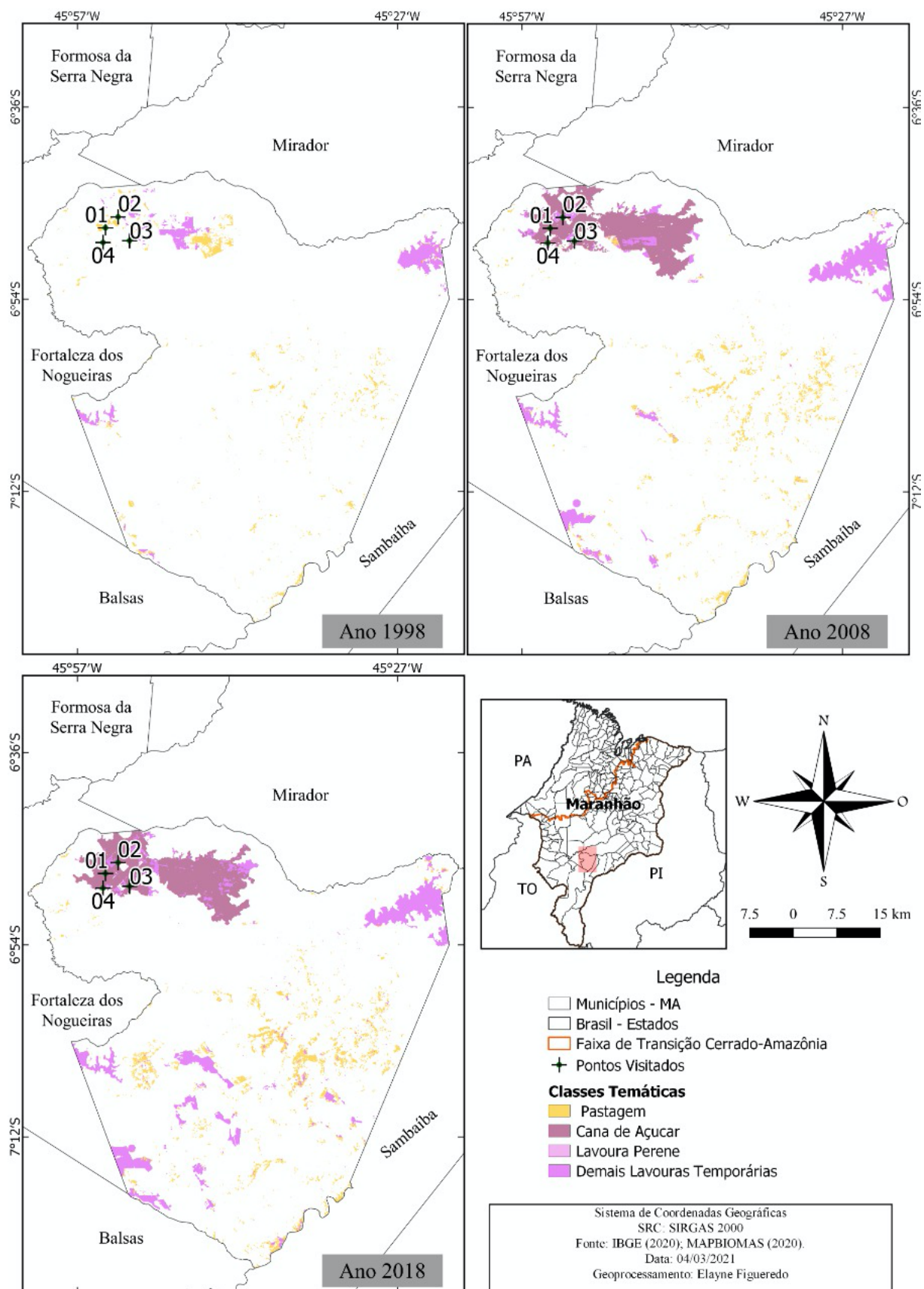


Mapa 12– Evolução do uso e cobertura da terra em São Raimundo das Mangabeiras (1998 e 2018)



Fonte: organizado pelo autor (2020).

Mapa 13– Evolução das áreas de pastagens e agricultura em São Raimundo das Mangabeiras (1998 e 2018)



Fonte: organizado pelo autor (2021).

Dos quatro pontos visitados e localizados nos Mapas 12 e 13, identificou-se que no ponto 1 existia áreas de pastagens plantadas em 1998, enquanto nos pontos 2, 3 e 4 eram localizadas áreas de vegetações nativas, mais especificamente, de formações savânicas, que é a vegetação típica do bioma Cerrado. Nota-se, também, que nos anos de 2008 e 2018 esses pontos já estão configurados como áreas da agricultura canavieira. Desse modo, nota-se a supressão de vegetação para a expansão do cultivo da cana no município aconteceu predominantemente nos primeiros 10 anos do período de estudo.

Mas como já citado, o MapBiomias também classifica outras áreas de cultivo da cana no município, assim visualmente se constatou pelo mapa, quais classes de uso e cobertura da terra existiam antes de se plantar a lavoura da cana-de-açúcar. Assim, notou-se a redução de áreas de vegetações nativas incluindo, formações florestais, savânicas e campestres, para se cultivar a cana no município. Também se verificou a ocorrência de substituições de áreas de pastagens plantadas pela agricultura canavieira.

As mudanças mais significativas no uso da terra para se cultivar a cana aconteceram principalmente entre os anos de 1998 e 2008, corroborando assim com a tendência de crescimento obtida pelas variáveis do IBGE como quantidade produzida e áreas de cultivo. Nos anos seguintes, entre 2008 e 2018, percebe-se o avanço da agricultura por meio da expansão de outras lavouras temporárias, que no caso do MapBiomias, constata-se que se relacionam à sojicultura.

Na Tabela 12, apresenta-se a quantificação das classes de uso e cobertura da terra de São Raimundo das Mangabeiras entre os anos de 1998 e 2018.

Tabela 12 – Quantificação do uso e cobertura da terra em São Raimundo das Mangabeiras

<b>Ano</b>	<b>Formação Florestal</b>	<b>Formação Savânica</b>	<b>Formação Campestre</b>	<b>Cana-de-açúcar</b>	<b>Outras lavouras temporárias</b>	<b>Pastagem</b>	<b>Áreas não vegetadas</b>	<b>Corpos D'água</b>
1998	26.941	221.132	92.513	10	5.756	4.914	869	25
1999	26.727	220.793	92.486	6	6.837	4.472	812	26
2000	26.723	210.015	90.566	15.079	4.898	3.909	940	29
2001	26.075	209.061	90.239	12.762	8.048	4.508	1.437	30
2002	25.766	207.618	89.726	10.362	12.338	5.222	1.093	35
2003	25.191	205.813	90.157	11.165	12.181	6.046	1.572	36
2004	24.677	203.640	90.177	13.502	12.448	5.924	1.749	42
2005	24.097	202.577	89.648	15.156	12.648	5.906	2.082	46
2006	24.099	202.170	89.190	13.685	14.217	7.078	1.673	47
2007	23.529	199.980	88.597	18.903	12.656	7.407	1.040	49
2008	23.898	201.153	88.077	18.304	12.192	7.441	1.045	51
2009	23.909	201.572	87.886	19.752	11.972	6.345	674	51
2010	23.787	201.473	88.625	20.491	10.934	5.956	843	51

(continua)

Ano	Formação Florestal	Formação Savânica	Formação Campestre	Cana-de-açúcar	Outras lavouras temporárias	Pastagem	Áreas não vegetadas	Corpos D'água
2011	23.587	201.398	88.455	22.646	10.195	4.989	827	65
2012	23.627	202.897	88.461	17.551	12.268	5.769	1.520	66
2013	23.723	202.276	88.058	16.640	12.469	6.951	1.962	81
2014	23.743	199.468	86.439	17.438	15.336	7.172	2.457	108
2015	23.675	197.936	85.805	18.064	15.798	8.382	2.378	123
2016	23.445	197.106	85.845	18.465	15.610	9.494	2.079	115
2017	24.314	195.292	86.770	19.114	15.440	9.315	1.785	130
2018	24.533	193.405	85.832	18.896	17.017	10.832	1.510	134

Fonte: elaborado pelo autor, a partir do MapBiomias (2020).

Entre 1998 e 2018 foram suprimidos 10,80% da cobertura vegetal nativa do município, onde totaliza-se 36.816 hectares, assim distribuídos: 2.408 hectares de formações florestais, 6.681 hectares de formações campestres e 27.727 hectares de savanas. Assim, nota-se que as quantidades mais expressivas de supressão aconteceram nas vegetações típicas do bioma Cerrado conforme Alencar et al. (2020).

Percebeu-se que a maior parte da supressão aconteceu até ao ano de 2008, representando 27.039 hectares, aproximadamente 73,44%. A taxa média de supressão anual foi de cerca de 0,51%, totalizando uma redução anual de 1.753,14 hectares.

Em contrapartida, a partir da Tabela 11, é notório o avanço das atividades agropecuárias e infraestrutura municipal. Desse modo destaca-se o aumento de 18.886 hectares para o cultivo da cana-de-açúcar, 11.261 hectares para outras lavouras temporárias, incluindo dentre essas a soja, cujo MapBiomias, também realiza o monitoramento, 5.918 hectares para pastagens plantadas a fim de se utilizar na pecuária e um aumento de 641 hectares em áreas não vegetadas, pelo quais, pode-se considerar o aumento da infraestrutura urbana. Assim, ocorreu um crescimento e 36.706 hectares de uso da terra em São Raimundo das Mangabeiras, obtendo maior destaque a relação entre crescimento econômico por meio do avanço da agricultura e desmatamento, principalmente relacionado a exploração da cobertura vegetal.

Como pontos críticos observados, verificou-se que o mapeamento da cana-de-açúcar desenvolvido pelo MapBiomias possui falhas de classificação, o que é denominado na literatura de confusão espectral Mas, Vasconcelos e Rocha (2019) quando os satélites classificam diferentes uso das terra. Isso se deve ao fato de as classes serem mutáveis e complexas na dinâmica espaço temporal. Também se afirma que a ocorrência de tal fenômeno leva em consideração a comparação do banco de dados do projeto com a base de dados da PAM/IBGE, assim notou-se em alguns anos semelhanças entre os valores das áreas de cultivo enquanto em outros existem a ocorrência de disparidades.

Contudo, considera-se tal fato como limitação do método. Uma estratégia utilizada para minimizar tal situação foi a realização da visita *in loco*, pois assim se compararam alguns pontos de cultivo atuais em relação as imagens captadas dos anos de 2018, 2008 e 1998. Tal ação mostrou-se eficaz, podendo ser aferido que no município ocorreu supressão de vegetação nativa para expansão do cultivo da cana, principalmente entre 1998 e 2008, que coincide com o período de maior avanço da atividade produtiva.

#### 4.5.2 Campestre do Maranhão

Os primeiros registros sobre produção e cultivo da cana-de-açúcar aconteceram no ano de 1997 conforme a PAM/IBGE, época em que o município de Campestre do Maranhão foi criado e operacionalizado nesse estado. Assim, verificou-se a partir de 1998 crescimento em ambas as variáveis.

A agroindústria ali presente, denominada Maity Bioenergia, foi fundada em 1985 com incentivo do Proálcool, porém seu funcionamento aconteceu concomitantemente a criação do município na década seguinte.

A cana é cultivada na localidade com a finalidade de se produzir etanol, açúcar e bagaço. O etanol produzido é tanto o anidro que é usado como aditivo em combustíveis veiculares, como também ocorre a produção do hidratado em que há uma adição maior de água e pode substituir totalmente a gasolina em carros *flex-fuel*. O açúcar produzido é comercializado no mercado sob duas marcas: Maity Ouro e Palmeirinha. O bagaço gerado nos processos de produção é utilizado para a geração de energia, para consumo interno e venda do excedente para a companhia de abastecimento de energia elétrica estadual. Além disso, também serve para alimentação de bovinos na região.

Na Fotografia 3, visualiza-se a usina cujo espaço é destinado ao funcionamento das operações de recebimento e processamento da cana.

Fotografia 3 – Usina Maity Bioenergia

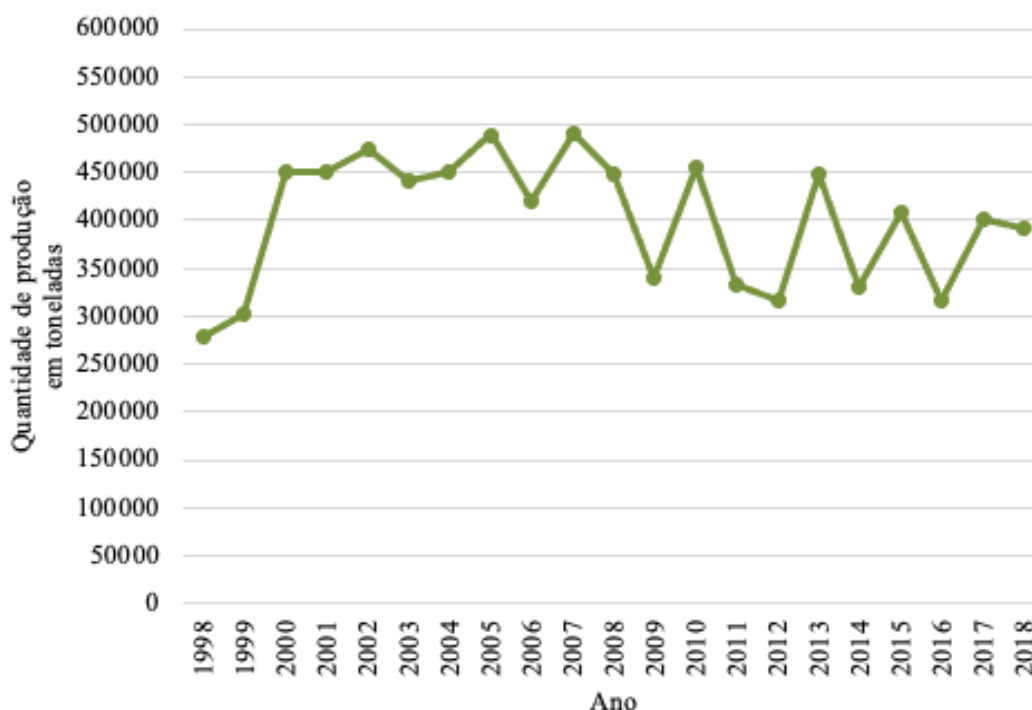


Fonte: acervo pessoal do autor (2020).

A imagem representa apenas a entrada da empresa que detêm os processos de produção de etanol a partir da área de cultivo. Cita-se que a instituição está localizada entre as áreas de onde se pratica a agricultura canavieira, tal fato, facilita a logística de movimentação e processamento.

Ressalta-se que, nesta pesquisa não se enfatiza os processos de processamento da cana, mas somente a sua fase agrícola de modo a relacionar com as alterações na cobertura vegetal. No Gráfico 12, apresenta-se a evolução da produção da cana-de-açúcar em Campestre do Maranhão entre 1998 e 2018.

Gráfico 12 – Produção de cana-de-açúcar em Campestre do Maranhão (1998-2018)



Fonte: elaborado a partir da PAM do IBGE (2018).

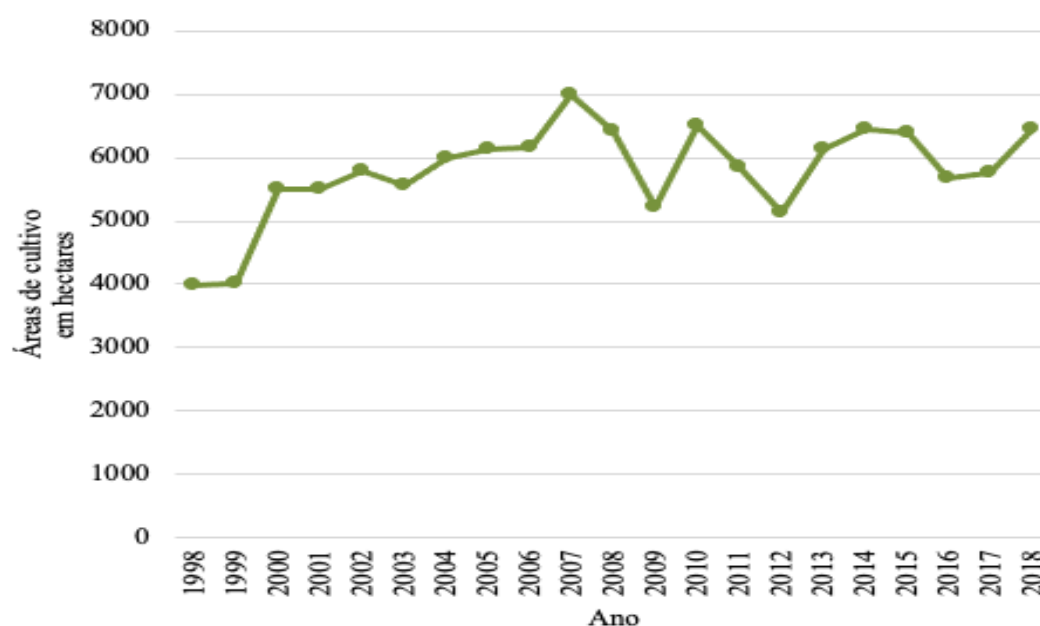
Observa-se no Gráfico 12 uma tendência geral de crescimento com oscilações na produção da cana do município no período de estudo. Obteve-se um crescimento de aproximadamente 40,22%, que equivale a 112.250 toneladas. Constatou-se que o período de maior expansão foi entre os anos de 1998 e 2007, sendo esse último o que se teve maior produção dentro do horizonte temporal estudado.

Nos anos seguintes, entre 2008 e 2018, notou-se variações, tanto de crescimento como decréscimo, enquanto nos anos mais recentes, 2017 e 2018, verificou-se estabilização nos níveis de produção da cana.

Ressalta-se que no município existe apenas 1 estabelecimento agropecuário que cultiva a cana-de-açúcar. Os responsáveis pelas secretarias municipais de meio ambiente e agricultura desconhecem outras propriedades que trabalham com essa cultura. Nesse sentido, destaca-se também que a área de cultivo da cana no município é de propriedade da Maity Bioenergia, sendo essa empresa responsável, tanto pela fase agrícola como pela fase industrial onde se converte a cana em outros produtos já citados.

Conforme Scheidl et al. (2015) uma boa logística de movimentação é fundamental na fase agrícola da cana, uma vez que essa se torna um insumo para a fase industrial. Assim a localização da indústria em proximidade as áreas de cultivo é vista como vantajosa para se alcançar eficiência produtiva. No Gráfico 13, apresenta-se a evolução da variável cultivo da cana-de-açúcar em entre 1998 e 2018.

Gráfico 13 – Cultivo de cana-de-açúcar em Campestre do Maranhão (1998-2018)



Fonte: elaborado a partir da PAM do IBGE (2018).

A tendência da área plantada da cana representada no Gráfico 13 se mostra semelhante à da produção. Entre 1998 e 2018, obteve-se um crescimento de 61,42% nas áreas plantadas no município, ou seja, um avanço de 2.449 hectares quando se compara os valores de ambos os anos. Porém, constata-se que a incorporação de novas áreas para o plantio aconteceu até ao ano de 2007, pelo qual se obteve maior área de cultivo no período analisado.

Posteriormente, entre os anos de 2008 e 2015, aconteceram oscilações tanto com expansão como decréscimo nas plantações. A tendência recente visualizada entre os anos de 2016 e 2018, mostrou-se favorável no município, onde se visualiza uma perspectiva de crescimento no uso da terra para cultivar a cana-de-açúcar.

Na Tabela 13, observa-se a comparação das áreas de cultivo da cana com outras culturas de lavouras temporárias que foram filtradas na PAM/IBGE, como arroz, mandioca, milho e outras entre 1998 e 2018.

Tabela 13 – Áreas de cultivo em hectares das lavouras temporárias em Campestre do Maranhão

<b>Ano</b>	<b>Cana-de-açúcar</b>	<b>Arroz (em casca)</b>	<b>Mandioca</b>	<b>Milho (em grão)</b>	<b>Outras</b>
1998	3.987	662	35	691	78
1999	4.000	630	38	828	86
2000	5.500	725	50	960	129
2001	5.500	700	58	980	122
2002	5.775	665	36	1.009	119
2003	5.550	532	40	858	105
2004	6.000	572	52	935	90
2005	6.120	606	25	970	84
2006	6.170	610	20	975	72
2007	7.000	550	15	720	69
2008	6.407	440	20	576	143
2009	5.225	320	20	613	40
2010	6.500	200	30	480	158
2011	5.855	90	30	300	31
2012	5.140	30	25	282	55
2013	6.129	25	40	288	83
2014	6.450	27	30	297	73
2015	6.399	18	35	290	65
2016	5.672	13	25	700	54
2017	5.759	29	22	1.100	28
2018	6.436	14	20	1.421	38

Fonte: elaborado a partir da PAM do IBGE (2018).

Na Tabela 13, constata-se que a cana-de-açúcar é a cultura agrícola mais expressiva sobre o uso da terra quando se compara com demais lavouras temporárias. Desse modo, configura-se como a principal lavoura temporária no município. Ressalta-se que na categoria outras culturas agrícolas se enquadram aquelas lavouras com pequenas quantidades de cultivo no município, como exemplo cita-se a fava, feijão, melancia e tomate.



Cita-se como evolução do uso na terra que em 1998, a cana representava 73,12% do total de hectares cultivados com lavouras temporárias. Até o ano 2008 se obteve um crescimento de 11,34 % passando a representar 84,46% do total das áreas destinadas para tal finalidade. Já no ano mais recente, observou-se decréscimo, obtendo-se 81,17%. Tal redução se justifica pelo crescimento das áreas destinadas ao cultivo do milho, mesmo assim, a agricultura canavieira ainda é majoritária em âmbito municipal.

Sobre as demais culturas agrícolas, diferentemente de São Raimundo das Mangabeiras, em Campestre do Maranhão se observaram escalas reduzidas de exploração do uso da terra para os seus respectivos cultivos. Contudo, ressalta-se que área municipal existente ali é bem menor que o outro município.

Diante das culturas analisadas na Tabela 13, destaca-se uma redução significativa nas áreas destinadas para arroz, enquanto a mandioca se manteve em quantidades reduzidas de hectares durante o período, com tendência de redução nos últimos anos. Já o milho vêm crescendo nos anos mais recentes, entre 2015 e 2018.

Agregou-se os valores das lavouras temporárias para se calcular o total de áreas destinadas para tal finalidade no município. Desse modo, constou-se evolução no uso da terra entre 1998 e 2018. No período supracitado aconteceu crescimento de 2.476 hectares, representando uma taxa de crescimento de 45,40%. Mesmo assim, nos últimos 10 anos também se verificou uma redução nas áreas destinadas para agricultura canavieira, em contrapartida aconteceu crescimento do cultivo do milho, demonstrando-se também competição pelo uso da terra, mesma tendência apontada conforme o estudo de Santos e Carneiro (2014). Na Fotografia 4, visualiza-se registro de áreas de plantios de cana no município.

Fotografia 4 – Cultivo da cana nas proximidades da usina Maity Bioenergia



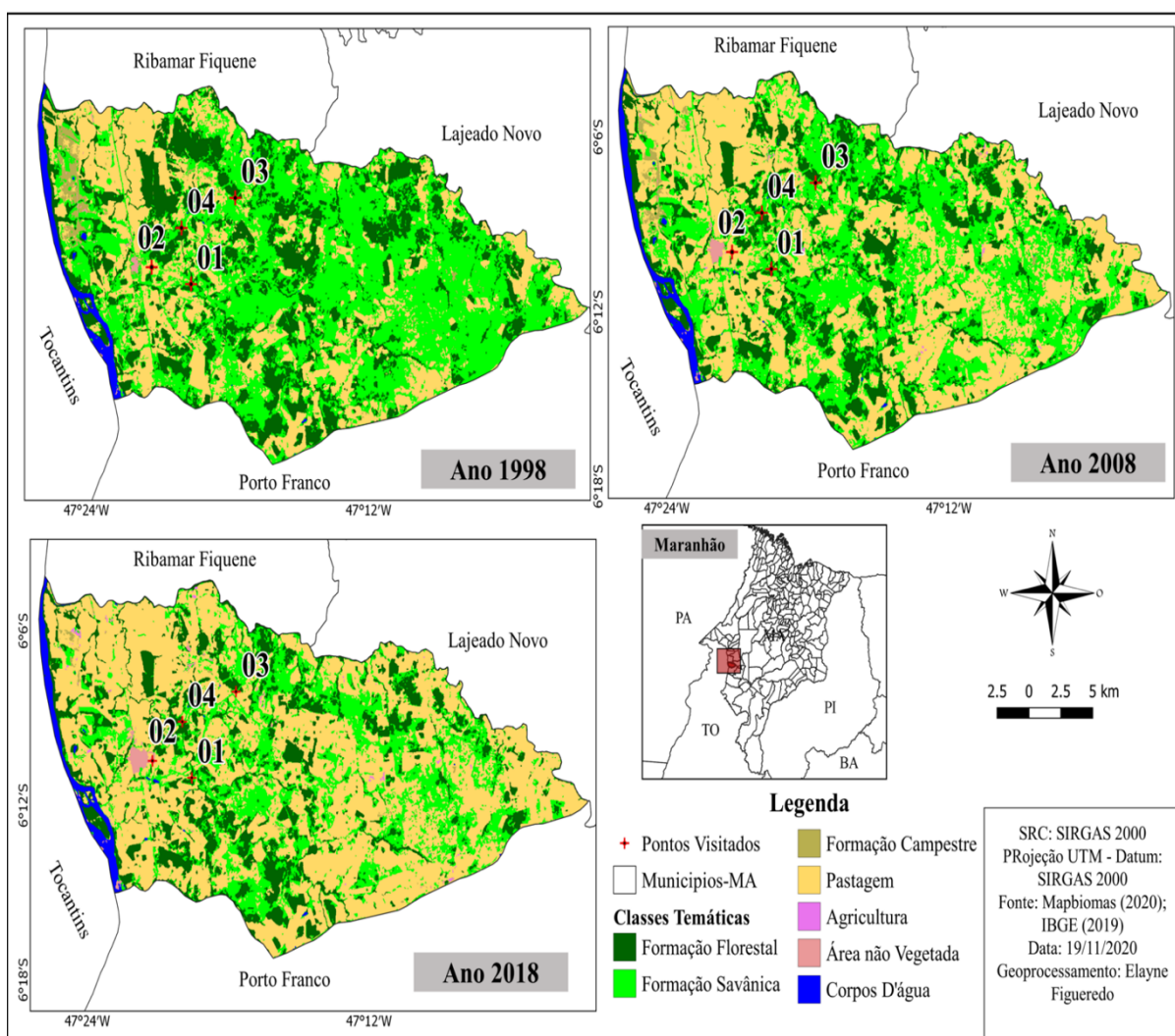
Fonte: acervo pessoal do autor (2020).

Conforme se pode visualizar, na Fotografia 4, identificaram-se áreas de canaviais em proximidade a remanescentes florestais. Com as visitas *in loco* também se perceberam outras áreas na mesma situação, assim, considerou-se essas na marcação de pontos via GPS para se investigar temporalmente se ocorreu desmatamento de vegetação nativa para se cultivar a cana-de-açúcar.

Como diferenças visualizadas notadas nas plantações de ambos os municípios, pode-se citar que no segundo existem esses remanescentes florestais entre as áreas de cultivo e maior declividade da terra.

No Mapa 14, visualizam-se as mudanças ocorridas entre 1998 e 2018 em Campestre do Maranhão. Identifica-se também as transformações referentes aos quatro pontos visitados e demarcados em áreas de plantio da cana.

Mapa 14 – Evolução do uso e cobertura da terra em Campestre do Maranhão (1998-2018)



Fonte: organizado pelo autor (2020).

No Mapa 13, notaram-se as mudanças ocorridas nas classes de uso e cobertura da terra em Campestre do Maranhão. Como peculiaridade da classificação do MapBiomias no município, destaca-se como limitações, o reduzido mapeamento de áreas destinadas para agricultura. Ressalta-se também, a não existência do mapeamento da cana-de-açúcar e da soja, como existe no mapa do município anteriormente estudado. Desse modo, optou-se por construí-lo somente com as classes encontradas na base de dados do projeto.

Dos quatro pontos visitados e representados no Mapa 13, observaram-se em todos eles a existência de vegetação nativa no ano de 1998, mais especificamente áreas de formações savânicas. No ano de 2018, apenas o ponto 2 obteve classificação de área agrícola, enquanto os demais mantiveram-se na mesma classe no mapa, embora, nas visitas *in loco*, tenham sido identificados como áreas da agricultura canavieira.

Desse modo, notou-se o fenômeno da confusão espectral conforme já citado em Mas, Vasconcelos e Rocha (2019), tal fenômeno aconteceu principalmente no que diz respeito a classificação inadequada de áreas que deveriam ser de uso agrícola como a cana-de-açúcar em outras de cobertura vegetal. Portanto, a metodologia do MapBiomias, embora já consolidada a nível nacional como o maior esforço de mapeamento do uso e cobertura da terra em todo o território brasileiro, mostrou-se frágil para o estudo da realidade do município em questão.

De forma geral, analisando-se as transformações ocorridas no horizonte temporal, identificou-se que entre 1998 e 2008, aconteceu principalmente a redução de vegetações nativas, especificamente formações florestais e savânicas, para o avanço de áreas de pastagens plantadas. Enquanto nos anos seguintes, além de se ter observado a continuidade na ocorrência de supressões dessas classes, também se identificaram reduções de áreas de formações campestres.

Mesmo com a limitação da classificação do MapBiomias no município, é possível se afirmar por meio da realização das visitas *in loco* que houve supressão de vegetações nativas para se cultivar a cana, uma vez que se comparou os pontos de cultivo visitados com as classes dos mapas do município em 1998, 2008 e 2018. Como mudanças mais expressivas da metodologia de classificação ali existente, nota-se novamente a relação entre desmatamento de áreas de vegetações nativas para o avanço da atividade agropecuária, principalmente na conversão em áreas de pastagens plantadas.

Na Tabela 14, apresenta-se a quantificação das classes de uso e cobertura da terra de Campestre do Maranhão entre os anos de 1998 e 2018. Trata-se de dados referentes as imagens de satélites captadas pelo MapBiomias.

Tabela 14- Evolução do uso e cobertura da terra em Campestre do Maranhão

<b>Ano</b>	<b>Formação Florestal</b>	<b>Formação Savânica</b>	<b>Formação Campestre</b>	<b>Agricultura</b>	<b>Pastagem</b>	<b>Áreas não vegetadas</b>	<b>Corpos D'água</b>
1998	14.741	27.319	909	-	17.348	108	1.114
1999	14.552	27.848	936	-	17.000	81	1.122
2000	14.305	27.687	829	-	17.411	178	1.131
2001	13.589	27.631	750	28	18.214	197	1.131
2002	13.896	26.801	606	10	18.903	185	1.138
2003	13.459	25.670	528	33	20.495	211	1.143
2004	13.341	24.100	488	38	22.208	196	1.168
2005	12.551	22.742	446	42	24.367	232	1.160
2006	12.535	21.133	440	27	26.043	205	1.155
2007	12.030	20.643	456	9	27.052	212	1.138
2008	11.734	20.425	517	41	27.456	243	1.123
2009	11.404	20.789	559	28	27.365	266	1.129
2010	11.349	20.681	524	5	27.622	241	1.118
2011	11.027	19.989	547	5	28.616	222	1.133
2012	10.643	19.733	545	32	29.219	242	1.126
2013	10.857	18.985	540	-	29.783	249	1.125
2014	10.682	18.430	583	23	30.396	302	1.123
2015	10.560	16.217	540	19	32.800	290	1.113
2016	10.805	15.559	442	5	33.324	291	1.113
2017	10.720	14.595	263	15	34.446	388	1.113
2018	10.949	14.004	171	90	34.806	401	1.118

Fonte: elaborado pelo autor, a partir do MapBiomias (2020).

Entre 1998 e 2018 foram suprimidos 41,52% das áreas de vegetações nativas em Campestre do Maranhão, ou seja, 17.845 hectares, sendo assim distribuído: 3.792 hectares de formações florestais, 13.315 hectares de formações savânicas e 738 hectares de formações campestres. Desse modo, percebeu-se como semelhança ao município anterior que a maior redução aconteceu na savana que conforme já citado em Alencar et al. (2020) é mais representativa no bioma Cerrado.

A maior supressão aconteceu na primeira década, totalizando 10.293 hectares até o ano de 2008, representando aproximadamente 57,68% total de áreas suprimidas. A taxa média de redução de vegetação nativa ao longo do período de estudo foi de 1,97%, representando uma redução anual de 849,76 hectares de cobertura vegetal.

Quanto a evolução no uso da terra, percebeu-se aumento reduzido nas áreas agrícolas, isso se deve as falhas de classificação conforme já citadas anteriormente. Em contrapartida, as áreas de pastagens plantadas cresceram 100, 63 % entre 1998 e 2018, representando assim um aumento de 17.458 hectares. Tal crescimento denota um avanço significativo da atividade agropecuária no município.

As áreas não vegetadas também obtiveram crescimento ao longo dos anos, elevando-se em 293 hectares. Tal aumento representa um crescimento de 271.29% e demonstra expansão das áreas de infraestrutura urbana. Essa evolução já era esperada, pois é fato que com a criação do município no ano de 1997 se ocasionariam tais mudanças nos anos seguintes.

Diante dos resultados sistematizados no município, pelas visitas *in loco* é possível se afirmar que ocorreu supressão de vegetação nativa para o avanço da cana-de-açúcar, já que pelas imagens captadas via MapBiomas notou-se tal supressão também ocasionou principalmente avanço da agropecuária no município, sendo representado por um crescimento elevado nas áreas de pastagens plantadas.

Como breve comparação entre São Raimundo das Mangabeiras e Campestre do Maranhão, notaram-se tanto semelhanças como diferenças na forma de condução da atividade produtiva.

Entre as principais semelhanças identificadas, destacaram-se: a proximidade das áreas de cultivo da cana às usinas de processamento garantindo assim maior eficiência produtiva e melhor movimentação logística; tendências de crescimento tanto nas áreas plantadas como na produção da cana, mesmo ocorrendo oscilações ao longo dos anos em ambas as variáveis; e a redução de vegetação nativa para o avanço da cana-de-açúcar.

Como principais diferenças entre as áreas estudadas, citam-se as seguintes: a atividade produtiva da cana em Campestre do Maranhão possui significativa participação econômica no município quando comparada ao anterior; possui também maiores declividades nas áreas de cultivo; maior evolução percentual das áreas de avanço da agropecuária; e maiores erros de classificação do uso e cobertura da terra seguindo a metodologia do MapBiomas.

## 5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa apresentou um panorama evolutivo da cana-de-açúcar e a consequente supressão de vegetação nativa em municípios do Maranhão. Ademais, notou-se que a cultura tem se expandido principalmente com a finalidade de servir como insumo para abastecimento das usinas de etanol presentes nesse estado.

A análise socioeconômica dos municípios produtores de cana-de-açúcar permitiu o agrupamento de suas características em variáveis quantitativas, reduzidas nas dimensões *produção e renda, uso da terra, recursos produtivos e conservação ambiental*. Nessa perspectiva, destacaram-se a existência de três *clusters* de municípios com características homogêneas.

Como características marcantes, notou-se que o *cluster 1* caracterizou-se por possuir *média produção e renda e baixa conservação ambiental*, o *cluster 2*, *alta produção e renda e alta conservação ambiental*, enquanto o *cluster 3* predomina *baixa produção e renda e média conservação ambiental*. Desse modo, percebeu-se que cada *cluster* possui realidades distintas em relação aos demais, pois quando comparados são marcados por desigualdades econômicas, sociais e ambientais.

Ao examinar a produção de cana no conjunto dos 80 municípios produtores do Maranhão, observou-se a expansão dessa atividade entre os anos de 1998 e 2018, marcada por períodos de crescimento e decréscimo, influenciados, principalmente, por oscilações na produção de etanol, tendo em vista a inserção e o declínio do Proálcool, no século passado, e chegada do mercado *flex-fuel* no setor automobilístico, nas primeiras décadas do século XXI.

Embora as médias de produtividade do Maranhão sempre estivessem abaixo da média nacional, visualiza-se como fator positivo que em diversos períodos, manteve-se acima da média da Região Nordeste. Logo, no contexto da expansão canavieira, depreendeu-se tanto o aumento em produtividade quanto a apropriação de novas terras.

O valor da produção elevou-se significativamente no período de 1998 a 2018 nos municípios produtores. Mesmo assim, a cultura canavieira possui baixa participação, se comparada com outras lavouras temporárias, como o milho e a soja, que ocupam maior participação econômica no estado – sendo que ambas cresceram significativamente no período analisado, obtendo maiores demandas.

Ao verificar a evolução do uso e cobertura da terra nos 80 municípios produtores, a relação mais representativa observada diz respeito à supressão de vegetações nativas e expansão das atividades agropecuárias, comprovadamente fortes estatisticamente – por meio de teste de

correlação. Dessa forma, constatou-se, conversão de áreas de vegetação nativa, como formações florestais, savânicas e campestres em áreas de pastagens e novas áreas agrícolas, inclusive para a expansão da cana.

Na análise comparativa entre municípios produtores por biomas, constatou-se que a baixa produção e as áreas de cultivo de cana na Amazônia pouco influenciaram a ocorrência de supressão, tendo em vista suas áreas de cultivo serem bastante reduzidas no conjunto dos municípios.

Contudo, as mudanças mais expressivas aconteceram nos municípios do Cerrado, onde se constatou a redução de vegetações nativas do tipo savânica, florestal e campestre em todos os municípios, assim como a expansão das atividades agropecuárias. Reputa-se que tal fato se deve à acentuada exploração desse bioma, nomeadamente para a exploração da última fronteira agrícola do país, o Matopiba.

Por cúmulo, identificou-se a maior supressão de vegetação entre 1998 e 2008, seguindo de tendência de estabilização da supressão em anos recentes, a exemplo de 2016 a 2018. Por essa razão, considera-se a necessidade de proposições de políticas ambientais em nível estadual para a conservação da vegetação nativa e da biodiversidade nela contida, bem como para fiscalizar a ocorrência de supressão frente à expansão agrícola.

Em relação aos municípios de São Raimundo das Mangabeiras e Campestre do Maranhão, em ambos a expansão canavieira se deu às custas de supressão de vegetação nativa. Desse modo, confirmou-se a hipótese estabelecida. Ademais, notaram-se oscilações nas quantidades produzidas e áreas de cultivos, onde se concebe uma competição pelo uso da terra, especialmente com a soja e o milho.

As visitas *in loco* nos dois municípios foram relevantes para se confrontar os pontos demarcados com as imagens captadas sobre uso e cobertura da terra no período de estudo, minimizando a limitação no que se refere à acurácia das imagens captadas do MapBiomas, como demonstrado por meio da identificação de erros de classificação.

Considera-se que os procedimentos metodológicos utilizados nesta dissertação foram úteis ao alcance dos objetivos e confirmação da hipótese. Desse modo, o uso de dados secundários disponibilizados em bases amplamente consultadas e já consolidadas se fizeram necessários para envidar uma análise assertiva das informações disponibilizadas, pelas quais necessitavam de interpretações no contexto da agricultura canavieira.

Diante do exposto, reconhece-se que a agricultura canavieira ocasiona diversos problemas ambientais além do desmatamento, portanto suas consequências estão longe de se esgotarem enquanto campo de estudo. Diante disso, diversas lacunas científicas ainda não

foram exploradas no âmbito do Maranhão, principalmente as diretamente relacionadas às consequências de sua expansão.

Haja vista que nesta pesquisa se enfatizou a expansão econômica e a relação da cana sobre a cobertura vegetal, sugere-se para trabalhos futuros a avaliação do desempenho econômico e ambiental em sistemas de produção da cana-de-açúcar. Outra possibilidade diz respeito a avaliar o desempenho dessas dimensões em função dos produtos decorrentes a partir da fase agrícola.



## REFERÊNCIAS

ABDALA, K. de O.; RIBEIRO, F. L. Análise dos impactos da competição pelo uso do solo no estado de Goiás durante o período 2000 a 2009 provenientes da expansão do complexo sucroalcooleiro. **RBE**, Rio de Janeiro, v. 65, n. 4, p. 373-400, out./dez. 2011. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-71402011000400004](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-71402011000400004). Acesso em: 28 jan. 2020.

ABREU, D. de; MORAES, L. A. de; NASCIMENTO, E. N.; OLIVEIRA, R. A. de. A produção da cana-de-açúcar no Brasil e a saúde do trabalhador rural. **Revista Brasileira de Medicinada Trabalho**, São Paulo, v. 9, n. 4, p. 49-61, set. 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/72967>. Acesso em: 8 fev. 2020.

ABREU, M. L. de; SILVA, M. de A.; TEODORO, I.; HOLANDA, L. A. de; NETO, G. D. S. Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 3, p. 262-270, jun. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/brag/v72n3/09.pdf>. Acesso em: 19 set. 2020.

AGUIAR, C. de J.; SOUZA, P. M. de. Impactos do crescimento da produção de cana-de-açúcar na agricultura dos oito maiores estados produtores. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 4, p. 482-493, jul./ago. 2014. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-737X2014000400006](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2014000400006). Acesso em: 18 set. 2020.

ALENCAR, A. *et al.* Mapping three decades of changes in the Brazilian savanna native vegetation using landsat data processed in the Google Earth Engine Platform. **Remote Sens.**, v. 12, n. 6, p. 1-23, mar. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/6/924/htm>. Acesso em: 7 out. 2020.

ANDERSON, J. R. *et al.* **Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos**. Tradução de Harold Strang. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 78 p.

ANDRADE, V. C. S.; MATOS, P. F. Expansão canavieira e as alterações em áreas de preservação permanente em reservatórios artificiais. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, v. 34109, n. 33, p. 1-25, dez. 2018. Disponível em: <https://www.epublicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/34109>. Acesso em: 23 jan. 2020.

ANDRADE, N. S. F.; MARTINS FILHO, M. V.; TORRES, J. L. R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JUNIOR, J. Impacto técnico e econômico das perdas de solo e nutrientes por erosão no cultivo da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 539-550, mai./jun. 2011. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162011000300014&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162011000300014&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 24 jan. 2020.

ALCARDE, A. R. **Processamento da cana-de-açúcar**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2015. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_102\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_102_22122006154841.html). Acesso em: 1 jun. 2019.

ARAÚJO, E. P.; LOPES, J. R.; CARVALHO FILHO, R. Aspectos socioeconômicos e de evolução do desmatamento na Amazônia maranhense. *In*: MARTINS, M. B.; OLIVEIRA, T. G. (org.). **Amazônia maranhense: diversidade e conservação**. Belém: Mpeg, 2011. p. 35-46.

ARAÚJO, H. B.; PEREIRA, P. R. M.; RODRIGUES, T. C. S.; COSTA JUNIOR, E. P. B. da. Mudança de cobertura da terra nos municípios de Chapadinha e Buriti – MA, entre os anos de 1990 a 2017. **Revista Geonorte**, v. 10, n. 36, p. 194-214, dez. 2019. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/5556>. Acesso em: 14 fev. 2020.

APOLINÁRIO, R. S. Impacto da redução de tributos na venda de automóveis no Brasil entre os anos de 2007 e 2015 **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru**, v. 13, n. 1, p. 19-35, jan./mar. 2018. Disponível em: <https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/1984>. Acesso em: 25 ago. 2020.

ASSAD, M. L. L.; ALMEIDA, J. Agricultura e sustentabilidade: contexto, desafios e cenários. **Ciência & Ambiente**, n. 29, p.15-30, 2004. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/pgdr/publicacoes/producaotextual/jalcione-almeida/assad-maria-l-l-e-almeida-jalcione-agricultura-e-sustentabilidade-contexto-desafios-e-cenarios-ciencia-ambiente-santa-maria-n-29-2004-p-15-30>. Acesso em: 13 mai. 2020.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Resolução nº 4174 de 20 de dezembro de 2012**. Dispõe sobre o fornecimento, pelas instituições financeiras e demais instituições autorizadas a funcionar pelo Banco Central do Brasil, das informações de adimplemento de pessoas naturais e de pessoas jurídicas aos bancos de dados de que trata a Lei nº 12.414, de 9 de junho de 2011, para formação de histórico de crédito. Disponível em: [https://www.bcb.gov.br/pre/normativos/res/2012/pdf/res\\_4172\\_v2\\_L.pdf](https://www.bcb.gov.br/pre/normativos/res/2012/pdf/res_4172_v2_L.pdf). Acesso em: 27 jul. 2020.

BARBOSA, B. da S.; VALENTINI, C. M. A.; FARIA, R. A. P. G. de. Manejo socioambiental da cana-de-açúcar e produção de rapadura na comunidade de Varginha, em Santo Antônio de Leverger, MT, Brasil. **Interações**, Campo Grande, MS, v. 17, n. 3, p. 384-397, jul./set. 2016. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1518-70122016000300384&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1518-70122016000300384&script=sci_arttext). Acesso em: 6 ago. 2020.

BAYMA, A. P.; SANO, E. E. Séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do *sensor modis* para detecção de desmatamentos no bioma Cerrado. **BCG - Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 21, n. 4, p.797-813, out./dez. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000400047>. Acesso em: 28 jan. 2021.

BIE, C. A. J. M. de; LEEUWEN, J. A. Van; ZUIDEMA, P. A. **The land use database: a knowledge-based software program for structured storage and retrieval of userdefined land use data sets: user's reference manual**. Version 1.04 for MS-DOS. [Enschede, The Netherlands]: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation: Food and Agriculture Organization: United Nations Environment Programme: Wageningen University, 1996. 41 p. Disponível em: <http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/LM/SUSLUP/Luse/Manual/chap2.pdf>. Acesso em: 28 set. 2020.

BORLACHENCO, N. G. C.; GONÇALVES, A. B. Expansão agrícola: elaboração de indicadores de sustentabilidade nas cadeias produtivas de Mato Grosso do Sul. **Interações**,

Campo Grande, MS, v. 18, n. 1, p. 119-128, jan./mar. 2017. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1518-70122017000100119&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1518-70122017000100119&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 8 jul. 2020.

BOSSARD, M.; FERANEC, J.; OTAHEL, J. (org.). **Corine land cover technical guide: addendum 2000**. Copenhagen: European Environment Agency, 2000. (Technical report, n. 40). Project manager: Chris Steenmans; European Environment Agency. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/tech40add>. Acesso em: 28 set. 2020.

BRASIL. Decreto-lei nº 6961, de 17 de setembro de 2009. Aprova o zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar e determina ao Conselho Monetário Nacional o estabelecimento de normas para as operações de financiamento ao setor sucroalcooleiro, nos termos do zoneamento. Aprova a consolidação das leis do trabalho. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p.1-57, 17 set. 2009. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2009/decreto-6961-17-setembro-2009-591263-publicacaooriginal-116354-pe.html>. Acesso em: 5 abr. 2020.

\_\_\_\_\_. **Código Florestal Brasileiro**. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/1032082/lei-12651-12>, 2012. Acesso em: 2 dez. 2012.

\_\_\_\_\_. **Decreto-lei nº 10.084, de 05 de novembro de 2019**. Revoga o Decreto nº 6.961, de 17 de setembro de 2009, que aprova o zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar, 2019. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2019/Decreto/D10084.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D10084.htm). Acesso em: 16 fev. 2020.

\_\_\_\_\_. **Resolução CONAMA nº 1 de 23/01/1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=95508>. Acesso em: 5 abr. 2020.

BRITO, J. L. S.; REIS, L. N. G. Mapeamento das áreas de conversão do uso da terra para cana-de-açúcar na mesorregião do triângulo mineiro/ Alto Paranaíba - MG por meio de imagens TM/Landsat. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 13, n. 41, p. 170-186, mar. 2012. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16522>. Acesso em: 20 jan. 2020.

BRYANT, F. B.; YARNOLD, P. R. Principal-components analysis and exploratory and confirmatory factor analysis. *In*: GRIMM, L. G.; YARNOLD, P. R. (ed.). **Reading and understanding multivariate statistics**. Washington, DC: APA, 2000. cap. 4, p. 99-136.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R.; VIEIRA FILHO, J. E. A economia agropecuária do Matopiba. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 26, n. 2, p. 376-401, jun. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.36920/esa-v26n2-6>. Acesso em : 27 jan. 2021.

CAMARA, M. R. G.; CALDARELLI, C. E. Expansão canavieira e o uso da terra no estado de São Paulo. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 30, n. 88, p. 93-116, set./dez. 2016. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142016000300093](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142016000300093). Acesso em: 23 jan. 2020.

CAMARGO JUNIOR, A. S.; TONETO JUNIOR, R. Indicadores socioeconômicos e a

cana-de-açúcar no estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 39, n. 6, p. 57-67, jun. 2009. Disponível em:  
<http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=10747>. Acesso em: 17 set. 2020.

CARDOSO, J. A.; AQUINO, C. M. S. Análise das microbacias da sub-bacia do riacho roncador, em Timon (MA), por densidade de uso das terras. **Revista Equador (UFPI)**, Teresina, v. 4, n. 3, p. 74-81, jun./jul. 2015. Disponível em:  
<http://www.ojs.ufpi.br/index.php/equador>. Acesso em: 13 fev. 2020.

CARVALHO, D. M. de; COSTA, J. E. da. Cadeia produtiva e comercialização agrícola no Brasil. **Geonordeste**, ano XXIV, n. 2, p. 81-101, 2013. Disponível em:  
<https://seer.ufs.br/index.php/geonordeste/article/view/1509>. Acesso em: 22 jul. 2020.

CARVALHO, P. G. M. de; BARCELLOS, F. C. Mensurando a sustentabilidade. *In*: MAY, P. **Economia do ambiente**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. v. 2, p. 99-126.

CARVALHO, T. S.; DOMINGUES, E. P. Projeção de um cenário econômico e de desmatamento para a Amazônia Legal brasileira entre 2006 e 2030. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v.26, n.2, p.585-621, mai./ago. 2016. Disponível em:  
<http://dx.doi.org/10.1590/0103-6351/2665>. Acesso em: 28 jan. 2021.

CASTRO, A. M. G. de. Prospecção de cadeias produtivas e gestão da informação. **Transinformação**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 55-72, jul. 2001.

\_\_\_\_\_; PAEZ, M. L. A.; COBBE, R. V.; GOMES, D. T.; GOMES, G. C. Demanda: análise prospectiva do mercado e da clientela de P&D em agropecuária. *In*: GOEDERT, Wenceslau; D' APICEPAEZ, Maria Lucia; DE CASTRO, Antônio Maria Gomes (ed.). **Gestão de ciência e tecnologia: pesquisa agropecuária**. Brasília: EMBRAPA- SPI, 1994. Disponível em:  
<http://www.scielo.br/pdf/tinf/v13n2/04.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2019.

CASTRO, S. S.; ABDALA, K.; SILVA, A. A.; BORGES, V. M. S. A expansão da cana-de-açúcar no cerrado e no estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. **BGG**, Goiânia, v. 30, n. 1, p. 171-191, jan./jun. 2010. Disponível em:  
<https://www.revistas.ufg.br/bgg/article/view/11203>. Acesso em: 15 jan. 2020.

CAVALCANTI, C. Sustentabilidade: mantra ou escolha moral? Uma abordagem ecológico-econômica. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 35-50, jan. 2012. Disponível em:  
[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010340142012000100004&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010340142012000100004&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 12 mai. 2020.

CHAVES, J. B. P.; FERNANDES, A. R.; SILVA, C. A. da. Produção de açúcar mascavo, melado e rapadura (capacidade de 9 toneladas por dia de cana-de-açúcar). *In*: **Projetos de Empreendimentos Agroindustriais - Produtos de origem vegetal**. Editora UFV, 2003. v. 2, cap. 4.

CHERUBIN, M. R.; CUSTODIO, A. L.; PELLEGRINO CERRI, C. E.; DA SILVA OLIVEIRA, D. M.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Sugar cane expansion in Brazilian tropical soils - Effects of land use change on soil chemical attributes. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 211, n. 1, p. 173-184, dez. 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880915002248>. Acesso em: 5 abr. 2020.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar**. Brasília: Conab, 2019. Disponível em: <file:///C:/Users/usu%C3%A1rio/Downloads/BoletimZCanaZ1ZLevantamentoZ19-20.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2019.

\_\_\_\_\_. **Acompanhamento da safra brasileira**. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/info-agro/safras\\_](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras_) Disponível em: 27 jul. 2020.

CORTEZ, L. A. B. **Universidades e empresas: 40 anos de ciência e tecnologia para o etanol brasileiro**. São Paulo: Blucher, 2016.

COSTA, R. N. M.; ANDRADE, A. P. de; ARAÚJO, K. D. Cobertura vegetal e evolução do uso agrícola do solo na região de Chapadinha-MA. **Revista Acta Tecnológica**, São Luís, v. 6, n. 1, p. 45-61, jan./jun. 2011. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.ifma.edu.br/index.php/actatecnologica/article/view/42>. Acesso em: 13 fev. 2020.

COSTA, D. P.; SANTOS, dos J. J.; CHAVES, J. M.; ROCHA, W. de J. S. da F.; VASCONCELOS, R. N. de. Novas tecnologias e sensoriamento remoto: aplicação de uma oficina didática para a disseminação das potencialidades dos produtos e ferramentas do mapbiomas. **Sustainability, agri, food and environmental research**, v. 6, n. 3, p.36-46, 2018. Disponível em: <http://ejee.uct.cl/index.php/safer/article/view/1402>. Acesso em: 5 out. 2020.

COSTA, P. F. F. de; SILVA, M. S. da; SANTOS, S. L. dos. O desenvolvimento (in)sustentável do agronegócio canavieiro. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 10, p. 3971-3980, jul. 2014. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-81232014001003971&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-81232014001003971&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 5 abr. 2020.

CUENCA, M. A. G.; MANDARINO, D. C. Nova fronteira da atividade canavieira nos principais municípios produtores do estado do Maranhão:1990, 1995, 2000 e 2005. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, Aracaju, out. 2007. Disponível em: [http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2007/doc-123.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2007/doc-123.pdf). Acesso em: 15 mai. 2019.

DAVIS, A. M.; THORBURN, P. J.; LEWIS, S. E.; BAINBRIDGE, Z. T.; ATTARD, S. J.; MILLA, R.; BRODIE, J. E. Environmental impacts of irrigated sugarcane production: Herbicide run-off dynamics from farms and associated drainage systems. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 180, n. 1, p. 123-135, nov. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880911002106>. Acesso em: 5 abr. 2020.

DUARTE JUNIOR, J. B.; COELHO, F. C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 576-583, nov. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n6/v12n06a03.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2019.

ELKINGTON, J. **Cannibals with forks: the triple bottom line of twenty first 21 century business**. Capstone Publishing, 1999.

FARIAS, M.; BELTRÃO, N.; SANTOS, C.; SILVA, C. Potencial do Cadastro Ambiental Rural (CAR) no controle do desmatamento em assentamentos no município de Novo Repartimento (PA). **Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT)**, v. 14 p. 179-199, set. 2018. Disponível em: [dx.doi.org/10.17127/got/2018.14.007](https://dx.doi.org/10.17127/got/2018.14.007). Acesso em: 27 jan. 2021.

FERNANDES, A. R.; CHAVES, J. B. P.; SILVA, C. A. da. **Produção de aguardente de cana**. Brasília: Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária, Secretaria de Desenvolvimento Rural, 1995. v. 4. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/301780172\\_Producao\\_de\\_Aguardente\\_de\\_Cana](https://www.researchgate.net/publication/301780172_Producao_de_Aguardente_de_Cana). Acesso em: 13 jul. 2020.

FGV- Fundação Getúlio Vargas. **Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI)**. Disponível em: <https://portalibre.fgv.br/estudos-e-pesquisas/indices-de-precos/igp>. Acesso em: 27 jul. 2020.

FENDRICH, A. N.; BARRETO, A.; GUIDOTTIDE, V. F.; BASTIANI, F. de; TENNESON, K.; PINTO, L. F. G.; SAPROVEK, G. Disclosing contrasting scenarios for future land cover in Brazil: results from a high-resolution spatiotemporal model. **Science of the Total Environment**, v. 742, n.10, p. 1-38, nov. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720339991?via%3Dihub>. Acesso em: 9 out. 2020.

FIELD, A.; MILES, J.; FIELD, Z. **Discovering statistics using R**. Sage Publications. 2012.

FIGUEIREDO, D. B.; SILVA, J. A. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. **Opinião Pública**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 160-185, jun. 2010. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-62762010000100007&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-62762010000100007&script=sci_arttext). Acesso em: 23 out. 2020.

FURTADO, C. **Formação econômica do Brasil**. 32. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2005.

GRANZIERA, M. M.; SAES, M. S. M. Um estudo da contribuição da agricultura multifuncional para o desenvolvimento rural sustentável. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS**, v. 3, n. 1., p. 60-70, jan./abr. 2014. Disponível em: [10.5585/geas.v3i1.87](https://www.geas.v3i1.87). Acesso em: 17 ago. 2020.

GOMES, M.; SANTOS, D. J.; JANSEN, D. C. Mapa de uso do solo e cobertura vegetal da área 8 (Peruaçu - Montes Claros) do projeto de monitoramento e avaliação de impactos sobre o patrimônio espeleológico - 1ª aproximação. **Revista Brasileira de Espeleologia**, São Paulo, v. 1, n. 3, p. 1-18, fev. 2013. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/RBEsp/article/view/364>. Acesso em: 12 mai. 2019.

GUEVARA, A. J. H.; SILVA, O. R.; HASEGAWA, H. L.; VENANZI, D. Avaliação de sustentabilidade da produção de etanol no Brasil: um modelo em dinâmica de sistemas.

**Braslian Business Review**, São Paulo, v. 14, n. 4, p. 435-447, dez. 2016. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1808-23862017000400435&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1808-23862017000400435&script=sci_arttext&tlng=pt). Acesso em: 8 jan. 2021.

GUIMARÃES, L. T.; TURETTA, A. P. D.; COUTINHO, H. L. C. Uma proposta para avaliar a sustentabilidade da expansão do cultivo da cana-de-açúcar no estado do Mato Grosso do Sul. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 22, n.2; p. 313-327, ago. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/sn/v22n2/a07v22n2.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2019.

HESS, T. M. *et al.* Sweet deal? Sugarcane, water and agricultural transformation in Sub-Saharan Africa. **Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions**, v. 39, n.1, p. 181-194, jul. 2016. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez17.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959378016300619?via%3Dihub>. Acesso em: 8 nov. 2019.

HAIR, J. F. *et al.* **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HOLANDA, F. Algumas evidências sobre a dinâmica recente da economia maranhense. **Cadernos Imesc**, São Luís: Imesc/Seplan, mar. 2009. n. 4.

HUN, A. L. N.; MELE, F. D.; PEREZ, G. A. A comparative life cycle assessment of the sugarcane value chain in the province of Tucumán (Argentina) considering different technology levels. **Int. Journal Life Cycle Assess**, v. 22, p. 502-515, feb. 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-016-1047-3>. Acesso em: 5 abr. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFICA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>> Acesso em: 25 mai. 2019.

\_\_\_\_\_. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2020.

\_\_\_\_\_. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/ManuaisdeGeociencias/Manual%20Tecnico%20da%20Vegetacao%20Brasileira%20n.1.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2020.

JORDÃO, C. O.; MORETTO, E. M. A vulnerabilidade ambiental e o planejamento territorial do cultivo de cana-de-açúcar. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 81-98, jan. 2015. Disponível em: [http://www.scielo.br/pdf/asoc/v18n1/pt\\_1414-753X-asoc-18-01-00075.pdf](http://www.scielo.br/pdf/asoc/v18n1/pt_1414-753X-asoc-18-01-00075.pdf). Acesso em: 2 mai. 2019.

LANNONI, A. P.; MORABITO, R. Análise do sistema logístico de recepção de cana-de-açúcar: um estudo de caso utilizando simulação discreta. **Gestão & Produção**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 107-128, ago. 2002. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0104530X2002000200002&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0104530X2002000200002&lng=en&nrm=iso&tlng=pt). Acesso em: 5 abr. 2020.

LAURELL, A. C.; NORIEGA, M. **Processo de produção e saúde**: trabalho e desgaste operário. São Paulo: Hucitec, 1989. 333 p.

LEITE, M. R.; ZANETTA, D. M. T.; TREVISAN, I. B.; SANTOS, U. de P. O trabalho no corte de cana-de-açúcar, riscos e efeitos na saúde: revisão da literatura. **Revista Saúde Pública [online]**, São Paulo, v. 52, n. 80, p. 1-16, ago. 2018. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S003489102018000100507&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S003489102018000100507&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt). Acesso em: 9 fev. 2020.

LELIS, L. R. M.; HESPANHOL, R. A. de M. Os impactos gerados pela expansão da cana-de-açúcar no município de Junqueirópolis – SP. **Campo-Território: revista de geografia agrária**, v. 10, n. 21, p. 251-269, ago. 2015. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/campoterritorio/article/view/28720>. Acesso em: 18 set. 2020.

LOURENZANI, W. L.; CALDAS, M. M. Mudanças no uso da terra decorrentes da expansão da cultura da cana-de-açúcar na região oeste do estado de São Paulo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 11, p. 1980-987, nov. 2014. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5451871>. Acesso em: 27 jan. 2019.

MACHADO, P. G.; DUFT, D. G.; PICOLI, M. C. A.; WALTER, A. Diagnóstico da expansão da cana-de-açúcar: aplicação do barômetro da sustentabilidade nos municípios de Barretos e Jaboticabal (SP). **Sustentabilidade em debate**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 13-28, jan./abr. 2014. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/15586>. Acesso em: 20 jan. 2020.

MACHADO, G. B. Agricultura produtivista à agricultura multifuncional no sistema agrário do cacau. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 9, p. 13868-13890, set. 2019. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/3035>. Acesso em: 28 jan. 2021.

MACDICKEN, K. G. **FAO Global Forest Resources Assessment**. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2015.

MANZATTO, V. *et al.* **Zoneamento agroecológico da cana de açúcar - expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55 p.

MAPBIOMAS. **Coleção 4.0 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil**. Disponível em: <https://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage>. Acesso em: 25 abr. 2020.

MARCOVITCH, J.; PINSKY, V. Bioma Amazônia: atos e fatos. **Estudos avançados**, v. 34 n. 100, set./dez. 2020. Disponível em: 10.1590/s0103-4014.2020.34100.007. Acesso em: 27 jan. 2021.

MAS, J. F.; VASCONCELOS, R. N. de; ROCHA, W. F. Analysis of high temporal resolution land use/land cover trajectories. **Land**, v. 8, n. 2, p. 1-19, feb. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/8/2/30/htm>. Acesso em: 5 out. 2020.

MATOS, D. A. S.; RODRIGUES, E. C. **Análise Fatorial**. Brasília: Enap, 2019. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/4790/1/Livro%20An%C3%A1lise%20Fatorial.pdf>. Acesso em: 23 set. 2020.



MATRICARDI, E. A. T.; AGUIAR, A. S.; MIGUEL, E. P.; ANGELO, H.; GASPAR, R. O. modelagem do desmatamento na região do MATOPIBA. **Nativa**, v. 6, n. 2, p. 198-206, mar./abr. 2018. Disponível em: : <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i2.5092> Acesso em: 28 jan. 2021.

MELO, C. O. de; ESPERANCINI, M. S. T. Análise econômica da eficiência da produção de cana-de-açúcar de fornecedores do Estado do Paraná. **Energ. Agric.**, Botucatu, v. 27, n. 3, p. 48-60, jul./set. 2012. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/646>. Acesso em: 26 ago. 2020.

MELO, A. S.; SAMPAIO, Y. S. B. Impactos dos preços da gasolina e do etanol sobre a demanda de etanol no Brasil. **Rev. Econ. Contemp.**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 57-83, jan./abr. 2014. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-98482014000100056&lng=pt&nrm=iso](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-98482014000100056&lng=pt&nrm=iso) Acesso em: 25 ago. 2020.

MENEGHETTI, G. T.; KUX, H. J. H. Mapeamento da cobertura da terra do município de Raposa (MA) utilizando imagens Worldview-II, o aplicativo Interimagee Mineração de Dados. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 66, n. 2, p. 365-377, mar./abr. 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43918>. Acesso em: 14 fev. 2020.

MITTERMEIER, R. A.; TURNER, W. R.; LARSEN, F. W.; BROOKS, T. M.; GASCON, C. **Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots. In: Biodiversity Hotspots. Springer Berlin Heidelberg**, p. 3-22, 2011. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-20992-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20992-5_1).

MORINI, M. S. de C.; SILVA, O. G. M. da; ZAMBON, V.; NOCELLI, R. C. F. Cultura da cana-de-açúcar no Brasil: manejo, impactos econômicos, sociais e ambientais. **In: Cana de açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**. Bauru, SP: Canal 6, 2017. cap. 2, p. 31-51.

NASCIMENTO, J. E. do; GOMES, J. M. A.; MOURA FÉ, E. G.; VIANA, L. de J. Análise ambiental da cobertura e uso da terra da comunidade quilombola Piqui da Rampa, município de Vargem Grande-MA. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 9, p. 16099-16113, sep. 2019. Disponível em: <http://www.brjd.com.br/index.php/BRJD/article/view/3382>. Acesso em: 13 fev. 2020.

NEVES, J. F.; NEVES, S. M. A.; NEVES, R.; CUIABANO, M. do N. Influência do cultivo da cana-de-açúcar no desmatamento e no índice de desenvolvimento humano dos municípios matogrossenses contidos na Bacia do Alto Paraguai. **In: 5º SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL**, Mato Grosso do Sul. Anais [...], Campo Grande, MS: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2014.

NOCELLI, R. C. F.; ZAMBON, V.; SILVA, O. G. M. da; MORINI, M. S. de C. Histórico da cana-de-açúcar no Brasil: contribuições e importância econômica. **In: Cana de açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**. Bauru, SP: Canal 6, 2017. cap. 2, p. 13-30.

NOVA CANA. **Usinas de açúcar e álcool no estado**: Maranhão. Paraná, 2019. Disponível em: [https://www.novacana.com/usinas\\_brasil/estados/maranhao](https://www.novacana.com/usinas_brasil/estados/maranhao). Acesso em: 11 mai. 2019.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoreamento remoto: princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.

OLIVEIRA, E. F. B.; BARROS, S. S. U. RESÍDUOS E ASPECTOS SUSTENTÁVEIS DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Revista Eletrônica da Faculdade de Ciências Exatas e Agrárias Produção/construção e tecnologia**, v. 7, n. 10, p. 28-45, jul./dez. 2017. Disponível em: <https://www.unigran.br/dourados/noticia/5725> Acesso em: 05 abr. 2020.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Traduzido pelo Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio). Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org>. Acesso em: 20 jan. 2021

PARENTE, L.; FERREIRA, L. Assessing the spatial and occupation dynamics of the brazilian pasturelands based on the automated classification of MODIS Images from 2000 to 2016. **Remote Sens.**, v. 10, n. 4, p. 1-14, apr. 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/4/606/htm>. Acesso em: 6 out. 2020.

\_\_\_\_\_; MESQUITA, V.; MIZIARA, F.; BAUMANN, L.; FERREIRA, L. Assessing the pasturelands and livestock dynamics in Brazil, from 1985 to 2017: a novel approach based on high spatial resolution imagery and Google Earth Engine cloud computing. **Remote Sensing of Environment**, v. 232, n. 111301 p. 1-11, oct. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425719303207>. Acesso em: 06 out. 2020.

PAULA, R. Z. A. de. & SILVA, M. R. M. O comércio marítimo do Maranhão no século XIX. *In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE HISTÓRIA ECONÔMICA E 9 CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE HISTÓRIA DE EMPRESAS*. **Anais [...]**, São Paulo: Campinas, set. 2009.

PEREIRA FILHO, J. F. Formação econômica do Maranhão: superexploração e estado oligárquico como entraves ao desenvolvimento. *In: VII JORNADA INTERNACIONAL DE POLÍTICAS PÚBLICAS*. **Anais [...]** Maranhão: São Luís, ago. 2015.

PITTA, F. T.; BOECHAT, C. A.; MENDONÇA, M. L. A produção do espaço na região do MATOPIBA: violência, transnacionais imobiliárias agrícolas e capital fictício. **Estudos internacionais**, Belo Horizonte, v.5, n.2, p.155-179, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5752/P.2317-773X.2017v5n2p155>. Acesso em: 27 jan. 2021.

PRADO JÚNIOR, C. **História econômica do Brasil**. São Paulo: Brasiliense, 2004.

PRASARA, J.; GHEEWALA, S. H. Sustainability of sugarcane cultivation: case study of selected sites in north-eastern Thailand. **Journal of Cleaner Production**, v. 134, n. 1, p. 613-622, oct. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615012500>. Acesso em: 5 abr. 2020.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Fitofisionomia do bioma cerrado**. *In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (eds.). Cerrado: ambiente e flora*. Embrapa: Brasília, 1998. p. 89-166.

RODRIGUES, T.; SANO, E. E.; ALMEIDA, T. de; CHAVES, J. M.; DOBLAS, J. Detecção de mudanças na cobertura vegetal natural do Cerrado por meio de dados de radar (Sentinel-1A). **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.31, p.1-22, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/SN-v31-2019-46315>. Acesso em: 28 jan. 2021.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: UFU, 2007. 248 p.

ROSSETO, R. A cultura da cana, da degradação a conservação. **Visão agrícola**, n. 1, p. 80-84, jan./jun. 2004. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/cana-impacto-ambiental01.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2020.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente**. São Paulo: Studio Nobel/Fundap, 1993.

\_\_\_\_\_. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

SANT'ANNA, A. C.; GRANCO, G.; BERGTOLD, J. S.; CALDAS, M. M.; XIA, T.; MASI, P.; LINK, T.; LORENZANI, W. Os desafios da expansão da cana-de-açúcar: a percepção de produtores e arrendatários de terras em Goiás e Mato Grosso do Sul. *In*: SANTOS, G. R. Dos. Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas. Brasília: IPEA, 2016. p. 113-142. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=27354](https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=27354). Acesso em: 9 jul. 2020.

SANTOS, D. F. L.; MENDES, C. C.; FARINELLI, J. B. de M.; FARINELLI, R. Viabilidade econômica e financeira na produção de cana-de-açúcar em pequenas propriedades rurais. **Custos e agronegócio** on line, v. 12, n. 4, out./dez. 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/312063497\\_Viabilidade\\_economica\\_e\\_financeira\\_na\\_producao\\_de\\_cana-de-acucar\\_em\\_pequenas\\_propriedades\\_rurais](https://www.researchgate.net/publication/312063497_Viabilidade_economica_e_financeira_na_producao_de_cana-de-acucar_em_pequenas_propriedades_rurais). Acesso em: 18 set. 2020.

SANTOS, D. F. L.; SOUZA, C. A. F.; FARINELLI, J. B. de M.; SILVA, B. L. da; HORITA, K. Análise econômica da produção de cana-de-açúcar em diferentes pacotes tecnológicos. **Revista Estudo & Debate**, Lajeado, v. 25, n. 2, p. 262-283, 2018. Disponível: <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-036X.v25i2a2018.1816>. Acesso em: 17 set. 2020.

SANTOS, J. C. dos.; CARNEIRO, P. O. R. Impactos gerados pela expansão da cana-de-açúcar na produção agrícola familiar no município de Ituiutaba (MG). **Brazilian Geographical Journal: geosciences and humanities research medium**, Ituiutaba, v. 5, n. 2, p. 510-532, jul./dez. 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/view/27048>. Acesso em: 24 jan. 2020.

SCHEIDL, H. A.; SIMON, A. T.; PACAGNELLA JUNIOR, A. C.; SALGADO JUNIOR, A. P. Environmental Impacts of Mechanization in Brazil's Sugar and Ethanol Industry: The Cutting, Loading, and Transportation Process Case. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v.34, n. 6, p. 1748-1755, nov. 2015. Disponível em: <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ep.12159> Acesso em: 04 mar. 2020.

SCHNEIDER, S.; WAQUIL, P. D. Caracterização socioeconômica dos municípios gaúchos e desigualdades regionais. **Revista de Economia e Sociologia Rural (Impresso)**, Brasília, v. 39, p. 117-142, 2001. Disponível em: <https://www.revistasober.org/article/5d8d286f0e88252f65140c97>. Acesso em: 1 out. 2020.

SILVA, C. A. A. C.; OLIVEIRA, K. A. de; CASTRO, M. P. P.; OLIVEIRA, A. K. da S.; ALMEIDA, E. I. B.; SOUSA, W. da S. Análise da dinâmica no uso da terra maranhense na Amazônia legal. **Revista Verde**, v. 14, n. 3, p. 443-452, 2019. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/6550/6588>. Acesso em: 13 fev. 2020.

SILVA, K. A.; NETO, O. J. de O.; MACHADO, W. B. Impacto do agronegócio da cana-de-açúcar nos preços das terras do Triângulo Mineiro. **Qualia: a ciência em movimento**, v. 2, n. 2, p. 117-140, jul./dez. 2016. Disponível em: <https://revistas.unifan.edu.br/index.php/RevistaICSA/article/view/248>. Acesso em: 9 jul. 2020.

SHARPE, P. **Sugar cane: past and present**. Southern Illinois University, 1998. Disponível em: <https://opensiuc.lib.siu.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://pt.wikipedia.org/&httpsredir=1&article=1388&context=ebl&sei-redir=1>. Acessado em: 27 mai. 2019.

SHIKIDA, P. F. A. Expansão canavieira no Centro-Oeste, limites e potencialidades! **Revista Política Agrícola**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 122-137, abr./jun. 2013. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/312>. Acesso em: 16 jan. 2020.

\_\_\_\_\_; RISSARDI JUNIOR, D. J. Evolução da agroindústria canavieira no Brasil (1990-2014): da ruptura do paradigma subvencionista à falta de planejamento. **Revista Práticas de Administração Pública**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 74-99, jan. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/pap/article/view/25589>. Acesso em: 5 abr. 2020.

\_\_\_\_\_; SOUZA, E. C. de. Agroindústria canavieira e crescimento econômico local. **RESR**, Piracicaba, SP, v. 47, n. 03, p. 569-600, jul./set. 2009. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-20032009000300002&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-20032009000300002&script=sci_arttext). Acesso em: 18 set. 2020.

SILVA, A. T. B.; SPERS, R. G.; WRIGHT, J. T. C.; COSTA, P. R. Cenários prospectivos para o comércio internacional de etanol em 2020. **Rev. Adm. (São Paulo)**, São Paulo, v. 48, n. 4, p. 1-17, out. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rausp/v48n4/08.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2019.

SOBRINHO, O. P. L.; SILVA, G. S. da; PEREIRA, A. I. S.; SOUZA, A. B. de; CASTRO JUNIOR, W. L.; SANTOS, L. N. S. dos. A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum*) e o manejo da irrigação. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 4, p. 1605-1625, out./dez. 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/336340984\\_A\\_CULTURA\\_DA\\_CANA-DE-ACUCAR\\_Saccharum\\_officinarum\\_E\\_O\\_MANEJO\\_DA\\_IRRIGACAO](https://www.researchgate.net/publication/336340984_A_CULTURA_DA_CANA-DE-ACUCAR_Saccharum_officinarum_E_O_MANEJO_DA_IRRIGACAO). Acesso em: 5 abr. 2020.

SOGLIO, F. K. D. Agricultura moderna e o mito da produtividade. *In*: SOGLIO, F. K. D.; KUBO, R. R. (org.). **Desenvolvimento, agricultura e sustentabilidade**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2016. p.11-38. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad105.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2019.

SOUZA JÚNIOR, C. M.; KIRCHHOFF, F. T.; OLIVEIRA, B. C.; RIBEIRO, J. G.; SALES, M. H. Long-term annual surface water change in the Brazilian Amazon Biome: potential links with deforestation, infrastructure development and climate change. **Water**, v. 11, n. 3, p. 1-18, mar. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/3/566/htm>. Acesso em: 7 out. 2020.

SOUZA JÚNIOR, C. M. *et al.* Reconstructing Three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sens.**, v. 12, n. 17, p. 1-27, aug. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2735/htm#app1-remotesensing-12-02735>. Acesso em: 9 out. 2020.

SPAROVEK, G.; BERNDES, G.; KLUG, I. L.F.; BARRETTO, A. G. O. P. Brazilian agriculture and environmental legislation: status and future challenges. **Environmental Science & Technology**, v. 44, p. 6046-6053, jul. 2010. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es1007824>. Acesso em: 5 abr. 2020.

SPEDING, C. R. W. **The biology of agricultural systems**. London: Academic Press Inc., 1975.

SZMRECSÁNYI, T. **O planejamento da agroindústria canavieira do Brasil: 1930-1975**. São Paulo: HUCITEC: Universidade Estadual de Campinas, 1979.

THORBURN, P. J. *et al.* Environmental impacts of irrigated sugarcane production: Nitrogen lost through runoff and leaching. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 144, n. 1, p. 1-12, nov. 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880911002829>. Acesso: 25 mar. 2020.

URIARTE, M. Expansion of sugarcane production in Sao Paulo, Brazil: implications for fire occurrence and respiratory health. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 132, n. 2, p. 48-56, jul. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880909000760>. Acesso em: 20 mar. 2020.

VIEIRA, A. As ilhas e a expansão da cultura e tecnologia da cana-de-açúcar no Atlântico nos séculos XV a XIX. **Revista Labor & Engenharia**, v. 1, n.1, p.1-20, 2007. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/labore/article/view/227>. Acesso em: 14 jan. 2020.

YOUNG, C. E. F. Desmatamento e desemprego rural na Mata Atlântica. **Floresta e ambiente**, v. 13, n. 2, p. 75-88, nov. 2006. Disponível em: <https://floram.org/article/588e2214e710ab87018b463f/pdf/floram-13-2-75.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2020.

WCED. World Commission on Environment and Development. **Our Common Future**. Oxford and New York: Oxford University Press, 1987. Disponível em: [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/UN%20WCED%201987%20Brundtland%20Report.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/UN%20WCED%201987%20Brundtland%20Report.pdf). Acesso em: 10 set. 2019.

WERTH, D. The local and global effects of Amazon deforestation. **J. Geophys. Res.**, v. 107, n. 20, p. 1-8 out. 2002. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2001JD000717>. Acesso em: 28 jan. 2021.

WISSMANN, M. A.; SHIKIDA, P. F. Impactos econômicos, ambientais e sociais, da agroindústria canavieira no Brasil. **Revista Desenvolvimento, Fronteiras e Cidadania**, v. 1, n. 1, p. 134-160, jul. 2017. Disponível em <https://periodicosonline.uems.br/index.php/fronteiracidania/article/view/2178>. Acesso em: 28 jan. 2021.

ZANARDI, M. S.; JUNIOR, E. F. C. Tecnologia e perspectiva da produção de etanol no Brasil. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 17, n. 27, p. 19-34, jan. 2016. Disponível em: [http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista\\_SIER/v.%2017%2C%20n.%2027%20%282016%2905-Etanol-25Abr-25Abr.pdf](http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2017%2C%20n.%2027%20%282016%2905-Etanol-25Abr-25Abr.pdf). Acesso em: 10 mai. 2019.

**ANEXO**

ANEXO A – municípios com áreas aptas para expansão da cana segundo o zoneamento agroecológico da cana

MUNICÍPIOS	Classe Média (ha)			Classe Média Total (ha)	TOTAL (ha)
	Áreas Agricultura	Áreas Agropecuária	Áreas Pastagens		
Alto Parnaíba	30.200,08		17.449,48	47.649,56	47.649,56
Amarante do Maranhão		0,95	12.369,96	12.370,91	12.370,91
Balsas	92.763,57		40.616,68	133.380,25	133.380,25
Barra do Corda	3.957,55		30.002,89	33.960,44	33.960,44
Benedito Leite	188,69		2.781,75	2.970,44	2.970,44
Buritirana		1,13	11.634,63	11.635,76	11.635,76
Campestre do Maranhão			13.711,69	13.711,69	13.711,69
Carolina	5.045,09		7.632,35	12.677,44	12.677,44
Colinas			1.031,30	1.031,30	1.031,30
Davinópolis			12.140,82	12.140,82	12.140,82
Estreito	28,42		44.419,83	44.448,25	44.448,25
Feira Nova do Maranhão			12.309,57	12.309,57	12.309,57
Formosa da Serra Negra	533,97		7.805,89	8.339,86	8.339,86
Fortaleza dos Nogueiras	6.867,45		12.162,16	19.029,61	19.029,61
Governador Edison Lobão			14.341,48	14.341,48	14.341,48
Grajaú	3.281,44	13,97	63.434,28	66.729,69	66.729,69
Imperatriz		171,61	11.096,66	11.268,27	11.268,27
Itaipava do Grajaú		9,99	9.628,64	9.638,63	9.638,63
Jenipapo dos Vieiras			21.421,89	21.421,89	21.421,89
João Lisboa			1.815,22	1.815,22	1.815,22
Lagoa Grande do Maranhão			62,19	62,19	62,19
Lajeado Novo			9.700,20	9.700,20	9.700,20
Loreto	15.327,52		8.361,34	23.688,86	23.688,86
Mirador	3.410,01		2.824,37	6.234,38	6.234,38
Montes Altos			3.477,82	3.477,82	3.477,82
Nova Colinas			12.566,37	12.566,37	12.566,37
Porto Franco			17.663,89	17.663,89	17.663,89
Riachão	11.017,73		6.720,34	17.738,07	17.738,07
Ribamar Fiquene			18.679,95	18.679,95	18.679,95
Sambaíba	28.097,91		7.393,76	35.491,67	35.491,67
Santa Filomena do Maranhão			508,86	508,86	508,86
São Domingos do Azeitão	6.676,26		501,14	7.177,40	7.177,40
São Félix de Balsas			1.795,45	1.795,45	1.795,45
São João do Paraíso			15.888,38	15.888,38	15.888,38
São Pedro dos Crentes			5.402,06	5.402,06	5.402,06
São Raimundo das Mangabeiras	28.222,99		4.782,99	33.005,98	33.005,98
São Raimundo do Doca Bezerra			811,04	811,04	811,04
São Roberto			29,24	29,24	29,24
Senador La Rocque		5,02	4.584,53	4.589,55	4.589,55
Sítio Novo			23.206,63	23.206,63	23.206,63
Tasso Fragoso	46.341,72		5.811,40	52.153,12	52.153,12
Tuntum	125,56		8.679,40	8.804,96	8.804,96

Fonte: Zoneamento Agroecológico da Cana de Açúcar (2009).



## **APÊNDICES**

APÊNDICE A – Municípios da área de estudo localizados por biomas

A.1- Municípios em ordem alfabética com localização por biomas

Nº	Município	Bioma	Nº	Município	Bioma	Nº	Município	Bioma
1	Afonso Cunha	Cerrado	28	Fortaleza dos Nogueiras	Cerrado	55	Pinheiro	Amazônia
2	Água Doce do Maranhão	Cerrado	29	Gonçalves dias	Cerrado	56	Porto Franco	Cerrado
3	Aldeias Altas	Cerrado	30	Governador Archer	Cerrado	57	Presidente Dutra	Cerrado
4	Amarante do Maranhão	Amazônia	31	Guimarães	Amazônia	58	Riachão	Cerrado
5	Anapurus	Cerrado	32	Itaipava do Grajaú	Cerrado	59	Ribamar Fiquene	Cerrado
6	Bacabeira	Amazônia	33	Itapecuru Mirim	Cerrado	60	Rosário	Amazônia
7	Balsas	Cerrado	34	Jenipapo dos Vieiras	Cerrado	61	Sambaíba	Cerrado
8	Barão de Grajaú	Cerrado	35	Lago do Junco	Cerrado	62	Santa Luzia	Amazônia
9	Barra do Corda	Cerrado	36	Lagoa do Mato	Cerrado	63	Santa Quitéria do Maranhão	Cerrado
10	Belágua	Cerrado	37	Lago dos Rodrigues	Cerrado	64	Santo Antônio dos Lopes	Cerrado
11	Benedito Leite	Cerrado	38	Loreto	Cerrado	65	São Benedito do Rio Preto	Cerrado
12	Brejo	Cerrado	39	Maranhãozinho	Amazônia	66	São Bernardo	Cerrado
13	Buriti	Cerrado	40	Mata Roma	Cerrado	67	São Domingos do Azeitão	Cerrado
14	Buriti Bravo	Cerrado	41	Matões	Cerrado	68	São João do Sóter	Cerrado
15	Campestre do Maranhão	Cerrado	42	Milagres do Maranhão	Cerrado	69	São João dos Patos	Cerrado
16	Capinzal do Norte	Cerrado	43	Mirador	Cerrado	70	São José dos Basílios	Cerrado
17	Caxias	Cerrado	44	Mirinzal	Amazônia	71	São Raimundo das Mangabeiras	Cerrado
18	Chapadinha	Cerrado	45	Nova Colinas	Cerrado	72	Sítio Novo	Cerrado
19	Codó	Cerrado	46	Nova Olinda do Maranhão	Amazônia	73	Sucupira do Norte	Cerrado
20	Coelho Neto	Cerrado	47	Palmeirândia	Amazônia	74	Sucupira do Riachão	Cerrado
21	Colinas	Cerrado	48	Paraibano	Cerrado	75	Timbiras	Cerrado
22	Coroatá	Cerrado	49	Parnarama	Cerrado	76	Timon	Cerrado
23	Dom Pedro	Cerrado	50	Passagem Franca	Cerrado	77	Trizidela do Vale	Cerrado
24	Duque Bacelar	Cerrado	51	Pastos Bons	Cerrado	78	Tuntum	Cerrado
25	Esperantinópolis		52	Pedreiras	Cerrado	79	Urbano Santos	Cerrado
26	Fernando Falcão	Cerrado	53	Penalva	Amazônia	80	Vargem Grande	Cerrado
27	Formosa da Serra Negra	Cerrado	54	Peritoró	Cerrado			

Fonte: IBGE (2018).

APÊNDICE B – Variações das áreas da agropecuária e florestas naturais em municípios produtores da cana entre 1998 e 2018

B.1- Variações em hectares por municípios das áreas da agropecuária e vegetações nativas

(continua)

Nº	MUNICÍPIO	AGROPECUÁRIA			VEGETAÇÃO NATIVA		
		1998	2018	VARIAÇÃO	1998	2018	VARIAÇÃO
1	AFONSO CUNHA	92,02	3477,90	3385,88	37019,49	33411,69	3607,80
2	ÁGUA DOCE DO MARANHÃO	212,22	519,08	306,86	38996,50	38527,93	468,57
3	ALDEIAS ALTAS	313,30	3857,65	3544,35	193648,62	189493,96	4154,66
4	AMARANTE DO MARANHÃO	100365,91	236932,68	136566,77	638504,62	503209,00	135295,62
5	ANAPURUS	913,08	11096,97	10183,89	59726,56	48073,93	11652,63
6	BACABEIRA	4560,87	6352,13	1791,26	34629,43	32057,69	2571,74
7	BALSAS	86836,15	285940,90	199104,75	1224929,30	1019270,43	205658,86
8	BARÃO DE GRAJAÚ	9133,48	11587,67	2454,20	209452,96	205264,35	4188,62
9	BARRA DO CORDA	51641,47	129851,25	78209,78	465635,43	385801,65	79833,77
10	BELÁGUA	5,36	372,79	367,44	56920,26	56243,61	676,65
11	BENEDITO LEITE	2140,59	7600,32	5459,73	174087,33	168259,63	5827,70
12	BREJO	2841,47	25881,55	23040,08	102187,00	79631,02	22555,98
13	BURITI	341,43	23330,66	22989,24	145458,46	122285,80	23172,66
14	BURITI BRAVO	5041,20	26525,18	21483,97	152705,09	130511,13	22193,96
15	CAMPESTRE DO MARANHÃO	17348,43	34896,64	17548,22	42969,49	25124,10	17845,39
16	CAPINZAL DO NORTE	6173,64	19402,39	13228,75	52710,17	39310,35	13399,83
17	CAXIAS	16761,80	44952,40	28190,60	494542,50	466867,82	27674,69
18	CHAPADINHA	5837,72	12680,78	6843,06	318160,88	310620,43	7540,45
19	CODÓ	13266,73	91396,73	78130,00	419661,84	340815,01	78846,83
20	COELHO NETO	647,80	7131,55	6483,75	96036,47	89316,46	6720,02
21	COLINAS	3079,45	41256,30	38176,85	194443,14	155579,69	38863,45
22	COROATÁ	40519,16	77319,91	36800,74	184951,52	147727,92	37223,60
23	DOM PEDRO	3982,48	17661,03	13678,55	31556,72	17595,13	13961,59
24	DUQUE BACELAR	227,74	3056,74	2829,00	31046,45	28164,21	2882,24
25	ESPERANTINÓPOLIS	9077,80	14786,76	5708,95	35953,44	30151,93	5801,51
26	FERNANDO FALCÃO	1584,08	11789,92	10205,84	506609,95	495864,49	10745,46
27	FORMOSA DA SERRA NEGRA	25699,05	73539,65	47840,60	343203,21	294934,54	48268,67
28	FORTALEZA DOS NOGUEIRAS	12369,94	32746,81	20376,86	172936,33	151577,07	21359,26

## B.1- Variações em hectares por municípios das áreas da agropecuária e florestas

(continua)

Nº	MUNICÍPIO	AGROPECUÁRIA			VEGETAÇÃO NATIVA		
		1998	2018	VARIAÇÃO	1998	2018	VARIAÇÃO
29	GONÇALVES DIAS	4447,07	34258,21	29811,14	83712,41	53731,19	29981,22
30	GOVERNADOR ARCHER	4352,35	20764,71	16412,37	40090,11	23618,15	16471,96
31	GUIMARÃES	1963,20	2965,39	1002,19	32624,87	31578,46	1046,40
32	ITAIPAÇA DO GRAJAÚ	23061,40	58633,78	35572,38	100781,25	65020,20	35761,06
33	ITAPECURU MIRIM	17756,83	30860,84	13104,02	128255,04	114723,99	13531,05
34	JENIPAPO DOS VIEIRAS	27290,84	70590,35	43299,51	168814,92	125264,33	43550,59
35	LAGO DO JUNCO	17252,55	20504,65	3252,09	15566,24	12251,05	3315,19
36	LAGO DOS RODRIGUES	10932,43	12318,21	1385,78	11054,02	9611,92	1442,10
37	LAGOA DO MATO	952,95	15293,73	14340,78	150131,45	135302,54	14828,91
38	LORETO	14486,74	58261,94	43775,20	342204,91	296644,08	45560,82
39	MARANHÃOZINHO	54839,98	63950,78	9110,80	21159,28	11937,36	9221,92
40	MATA ROMA	776,55	6140,14	5363,58	53982,19	48420,79	5561,39
41	MATÕES	1666,62	18803,77	17137,15	208445,17	190683,06	17762,11
42	MILAGRES DO MARANHÃO	1270,14	9088,78	7818,64	61221,18	53600,18	7621,00
43	MIRADOR	2262,90	31369,73	29106,83	849386,46	818201,51	31184,96
44	MIRINZAL	7121,29	8394,51	1273,22	61096,28	59746,24	1350,05
45	NOVA COLINAS	5728,25	11692,56	5964,30	68567,58	61484,46	7083,11
46	NOVA OLINDA DO MARANHÃO	98043,53	98741,47	697,94	146960,48	146172,27	788,21
47	PALMEIRÂNDIA	8329,63	18028,49	9698,86	44062,77	33670,73	10392,04
48	PARAIBANO	664,96	6289,14	5624,19	52105,72	46277,90	5827,82
49	PARNARAMA	11938,34	52483,30	40544,96	310938,60	268304,88	42633,72
50	PASSAGEM FRANCA	1000,39	13383,11	12382,72	134494,02	121790,35	12703,67
51	PASTOS BONS	2272,37	15911,72	13639,35	159925,50	146042,94	13882,57
52	PEDREIRAS	8538,19	14526,60	5988,41	17100,08	10891,89	6208,19
53	PENALVA	15519,08	42303,52	26784,45	60813,33	31435,87	29377,47
54	PERITORÓ	5714,37	23112,92	17398,55	76490,73	58952,13	17538,59
55	PINHEIRO	24162,90	48130,98	23968,08	119597,49	99318,52	20278,97
56	PORTO FRANCO	31870,24	71514,45	39644,21	108398,31	68216,40	40181,91
57	PRESIDENTE DUTRA	29418,13	54344,04	24925,91	47097,73	21727,93	25369,79

## B.1- Variações em hectares por municípios das áreas da agropecuária e florestas

(conclusão)

Nº	MUNICÍPIO	AGROPECUÁRIA			VEGETAÇÃO NATIVA		
		1998	2018	VARIAÇÃO	1998	2018	VARIAÇÃO
58	RIACHÃO	44938,11	139798,94	94860,84	591878,75	491015,98	100862,77
59	RIBAMAR FIQUENE	24478,98	44240,66	19761,68	47404,03	27546,49	19857,54
60	ROSÁRIO	908,24	2638,94	1730,70	46631,13	44563,28	2067,84
61	SAMBAÍBA	16815,08	52965,67	36150,59	229816,48	192893,01	36923,47
62	SANTA LUZIA	267286,97	355852,11	88565,14	210107,31	121273,30	88834,02
63	SANTA QUITÉRIA DO MARANHÃO	807,68	6505,76	5698,08	141345,06	129117,66	12227,40
64	SANTO ANTÔNIO DOS LOPES	8072,07	28289,65	20217,58	68877,65	48319,05	20558,60
65	SÃO BENEDITO DO RIO PRETO	92,99	786,32	693,33	92879,05	92109,42	769,64
66	SÃO BERNARDO	947,32	5294,45	4347,14	98659,63	94193,32	4466,30
67	SÃO DOMINGOS DO AZEITÃO	1938,18	27856,96	25918,78	91159,90	67195,37	23964,53
68	SÃO JOÃO DO SOTER	1386,25	13434,96	12048,72	141052,49	129156,20	11896,28
69	SÃO JOÃO DOS PATOS	3740,00	10891,10	7151,10	138382,42	130438,56	7943,86
70	SÃO JOSÉ DOS BASÍLIOS	8000,80	18244,44	10243,64	26269,54	16266,51	10003,04
71	SÃO RAIMUNDO DAS MANGABEIRAS	10680,54	46744,96	36064,43	340585,65	303771,13	36814,52
72	SÍTIO NOVO	27431,16	90859,64	63428,48	284001,38	219692,36	64309,02
73	SUCUPIRA DO NORTE	904,19	7480,17	6575,97	105620,30	98728,65	6891,65
74	SUCUPIRA DO RIACHÃO	924,50	3733,91	2809,41	85364,33	82497,96	2866,37
75	TIMBIRAS	3388,79	13549,48	10160,69	144970,41	134588,62	10381,80
76	TIMON	592,85	7581,62	6988,77	170482,01	162744,88	7737,13
77	TRIZIDELA DO VALE	6752,29	12728,00	5975,71	19183,30	13065,35	6117,94
78	TUNTUM	49106,07	155582,99	106476,92	284345,80	178524,47	105821,33
79	URBANO SANTOS	42,22	1911,42	1869,20	170381,58	165486,19	4895,39
80	VARGEM GRANDE	11862,81	21683,03	9820,21	183630,70	173476,87	10153,84

Fonte: Elaborado a partir do MapBiomias Coleção 5 (2020)

APÊNDICE C – Variação da produção em toneladas e da área plantada de cana, em hectares entre 1998 e 2018

C.1 Variações da produção da cana e área plantada por municípios em ordem alfabética

Nº	MUNICÍPIO	PRODUÇÃO EM TONELADAS			ÁREA DE CULTIVO EM HECTARES		
		1998	2018	VARIAÇÃO	1998	2018	VARIAÇÃO
1	AFONSO CUNHA	4606	510	-4096	120	13	-107
2	ÁGUA DOCE DO MARANHÃO	35	160	125	1	4	3
3	ALDEIAS ALTAS	2481	302850	300369	50	6730	6680
4	AMARANTE DO MARANHÃO	173	228	55	3	6	3
5	ANAPURUS	161	4973	4812	8	180	172
6	BACABEIRA	96	400	304	3	10	7
7	BALSAS	219	363	144	4	16	12
8	BARÃO DE GRAJAÚ	200	502	302	8	20	12
9	BARRA DO CORDA	354	1383	1029	6	35	29
10	BELÁGUA	127	185	58	4	8	4
11	BENEDITO LEITE	36	85	49	3	3	0
12	BREJO	715	3480	2765	19	120	101
13	BURITI	2992	2900	-92	93	100	7
14	BURITI BRAVO	1798	1170	-628	58	26	-32
15	CAMPESTRE DO MARANHÃO	279090	391340	112250	3987	6436	2449
16	CAPINZAL DO NORTE	2435	2986	551	69	73	4
17	CAXIAS	5200	155295	150095	100	3451	3351
18	CHAPADINHA	416	1424	1008	13	50	37
19	CODÓ	740	48400	47660	20	1100	1080
20	COELHO NETO	210073	345688	135615	3900	6173	2273
21	COLINAS	441	1600	1159	9	25	16
22	COROATÁ	70	340	270	2	10	8
23	DOM PEDRO	1762	220	-1542	26	5	-21
24	DUQUE BACELAR	17700	25920	8220	300	480	180
25	ESPERANTINÓPOLIS	1560	1333	-227	30	33	3
26	FERNANDO FALCÃO	0	231	231	0	5	5
27	FORMOSA DA SERRA NEGRA	27	186	159	1	5	4

(continua)

Nº	MUNICÍPIO	PRODUÇÃO EM TONELADAS			ÁREA DE CULTIVO EM HECTARES		
		1998	2018	VARIAÇÃO	1998	2018	VARIAÇÃO
28	FORTALEZA DOS NOGUEIRAS	105	34	-71	5	1	-4
29	GONÇALVES DIAS	236	828	592	8	18	10
30	GOVERNADOR ARCHER	40	90	50	1	2	1
31	GUIMARÃES	190	1653	1463	18	42	24
32	ITAIPAVA DO GRAJAÚ	47	435	388	1	11	10
33	ITAPECURU MIRIM	1297	500	-797	59	21	-38
34	JENIPAPO DOS VIEIRAS	59	198	139	1	5	4
35	LAGO DO JUNCO	285	1106	821	11	25	14
36	LAGO DOS RODRIGUES	1440	200	-1240	36	5	-31
37	LAGOA DO MATO	10733	7552	-3181	235	191	-44
38	LORETO	56	63	7	1	3	2
39	MARANHÃOZINHO	70	158	88	4	4	0
40	MATA ROMA	248	2490	2242	9	86	77
41	MATÕES	15128	315	-14813	274	7	-267
42	MILAGRES DO MARANHÃO	1128	2605	1477	41	88	47
43	MIRADOR	9549	8573	-976	228	160	-68
44	MIRINZAL	500	2021	1521	10	49	39
45	NOVA COLINAS	148	123	-25	7	6	-1
46	NOVA OLINDA DO MARANHÃO	0	0	0	0	0	0
47	PALMEIRÂNDIA	140	2031	1891	4	45	41
48	PARAIBANO	1500	1494	-6	50	50	0
49	PARNARAMA	696	5700	5004	34	150	116
50	PASSAGEM FRANCA	360	3015	2655	9	67	58
51	PASTOS BONOS	2400	8881	6481	100	300	200
52	PEDREIRAS	30	646	616	2	16	14
53	PENALVA	112	120	8	4	4	0
54	PERITORÓ	120	300	180	4	10	6
55	PINHEIRO	152	1401	1249	9	35	26
56	PORTO FRANCO	210	3503	3293	3	45	42
57	PRESIDENTE DUTRA	250	798	548	6	19	13
58	RIACHÃO	92	130	38	6	7	1

(continua )

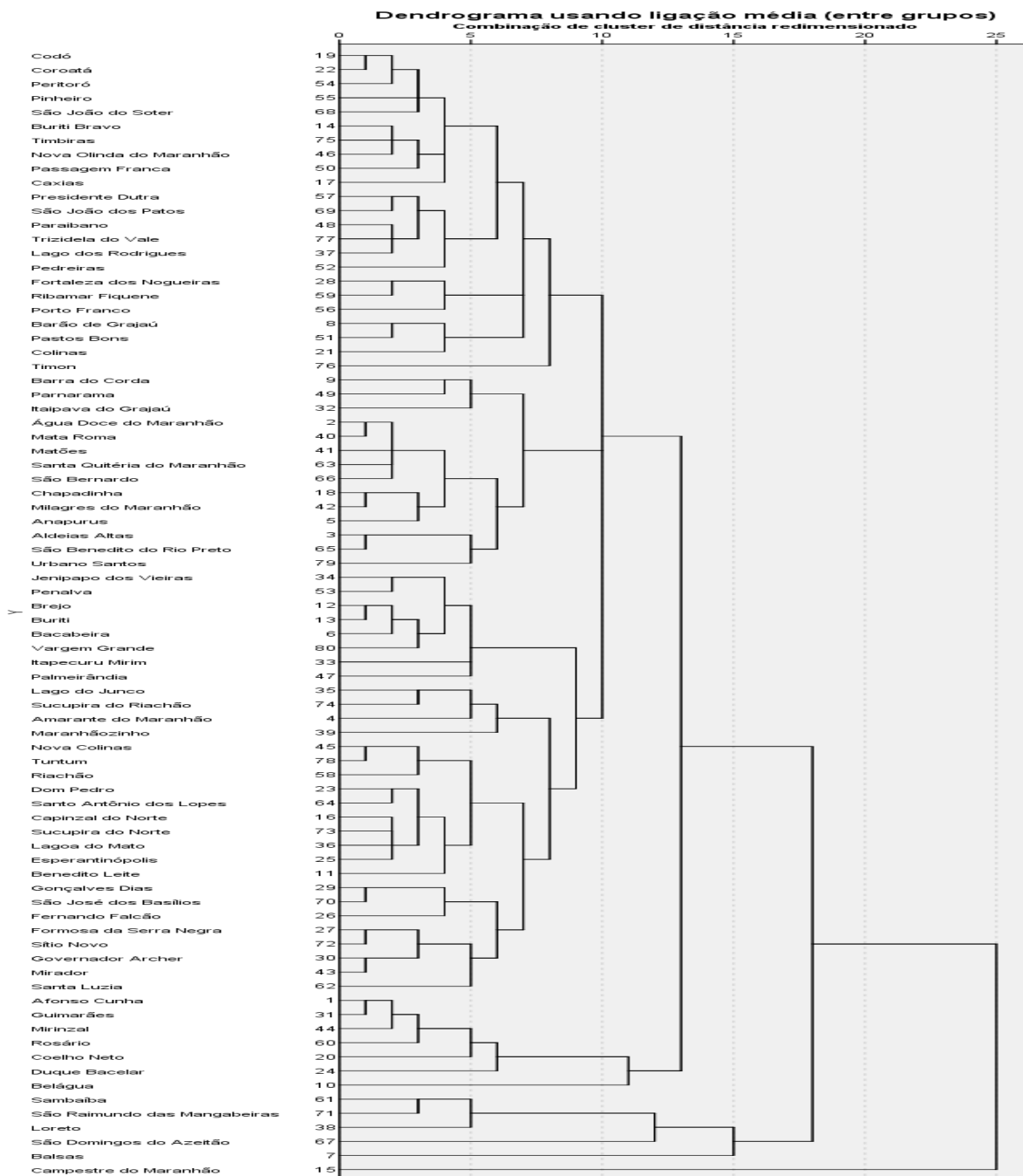
Nº	MUNICÍPIO	PRODUÇÃO EM TONELADAS			ÁREA DE CULTIVO EM HECTARES		
		1998	2018	VARIAÇÃO	1998	2018	VARIAÇÃO
59	RIBAMAR FIQUENE	0	100095	100095	0	1823	1823
60	ROSÁRIO	224	199	-25	7	5	-2
61	SAMBAÍBA	577	195	-382	27	10	-17
62	SANTA LUZIA	35	0	-35	1	0	-1
63	SANTA QUITÉRIA DO MARANHÃO	264	2370	2106	12	60	48
64	SANTO ANTÔNIO DOS LOPES	9870	3977	-5893	210	101	-109
65	SÃO BENEDITO DO RIO PRETO	41	560	519	1	20	19
66	SÃO BERNARDO	2627	4800	2173	109	120	11
67	SÃO DOMINGOS DO AZEITÃO	1068	795	-273	64	30	-34
68	SÃO JOÃO DO SOTER	0	290	290	0	10	10
69	SÃO JOÃO DOS PATOS	1026	1325	299	27	45	18
70	SÃO JOSÉ DOS BASÍLIOS	3955	92	-3863	77	2	-75
71	SÃO RAIMUNDO DAS MANGABEIRAS	504000	881319	377319	10500	15148	4648
72	SÍTIO NOVO	80	199	119	2	5	3
73	SUCUPIRA DO NORTE	1339	2866	1527	57	110	53
74	SUCUPIRA DO RIACHÃO	2394	7764	5370	63	260	197
75	TIMBIRAS	308	380	72	7	10	3
76	TIMON	930	10010	9080	30	182	152
77	TRIZIDELA DO VALE	109	1293	1184	6	26	20
78	TUNTUM	3895	55000	51105	145	750	605
79	URBANO SANTOS	204	568	364	5	20	15
80	VARGEM GRANDE	50	117	67	4	5	1
	<b>TOTAL</b>	<b>1117820</b>	<b>2429365</b>	<b>1311505</b>	<b>25367</b>	<b>49367</b>	<b>23960</b>

Fonte: Elaborado a partir da PAM do IBGE (2018).



APÊNDICE D – Dendrograma com ligação média entre grupos

D.1 Agrupamento dos municípios pela distância euclidiana quadrática



Fonte: elaboração própria (2021).