UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
E GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS

MUDANÇAS DO CLIMA, DO USO E COBERTURA DAS TERRAS NA REGIÃO DO MATOPIBA

KARLLA KAREM SILVA DE LIMA

Campina Grande, PB
Dezembro - 2024

KARLLA KAREM SILVA DE LIMA

MUDANÇAS DO CLIMA, DO USO E COBERTURA DAS TERRAS NA REGIÃO DO MATOPIBA

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande como requisito parcial para obtenção do título de doutora em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Área de concentração: Engenharia de Recursos Naturais

Orientador: Prof. Dr. Madson Tavares Silva

Campina Grande, PB

2024

L732m Lima, Karlla Karem Silva de.
Mudanças do clima, do uso e cobertura das terras na região do MATOPIBA / Karlla Karem Silva de Lima. – Campina Grande, 2025.
132 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.
"Orientação: Prof. Dr. Madson Tavares Silva".
Referências.

1. Engenharia de Recursos Naturais. 2. Biodiversidade do Bioma Cerrado. 3. Expansão Agrícola. 4. Geoestatística. 5. Alteração do Clima. I. Silva, Madson Tavares. II. Título.

CDU 62:502.21(043)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA SEVERINA SUELI DA SILVA OLIVEIRA CRB-15/225

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA E GESTAO DE RECURSOS NATURAIS
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

KARLLA KAREM SILVA DE LIMA

“MUDANÇAS DO CLIMA, DO USO E COBERTURA DAS TERRAS NA REGIÃO DO MATOPIBA”.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais como pré-requisito para obtenção do título de Douto(a) Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Aprovada em: 11/11/2024

Dr.(a.) **Madson Tavares Silva** (Orientador PPGEGRN).

Dr.(a.) **Viviane Farias Silva/PPGEGRN** (Examinador Interno).

Dr.(a.) **Isabel Lausanne Fontgalland/PPGEGRN** (Examinador Interno).

Dr.(a.) **Célia Campos Braga/UACA** (Examinador Externo).

Dr.(a.) **Dimas de Barros Santiago/PNPD/PPGMET/UFCG** (Examinador Externo).

Documento assinado eletronicamente por **MADSON TAVARES SILVA**, **PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/03/2025, às 17:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **Dimas de Barros Santiago**, **Usuário Externo**, em 06/03/2025, às 17:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **CELIA CAMPOS BRAGA**, **PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/04/2025, às 10:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **VIVIANE FARIAS SILVA**, **COORDENADORA DE PÓS GRADUAÇÃO**, em 08/04/2025, às 10:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **ISABEL LAUSANNE FONTGALLAND**, **PROFESSOR**, em 08/04/2025, às 11:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade, informando o código verificador **4975336** e o código CRC **DB3C1A7F**.

Referência: Processo nº 23096.077438/2024-45 SEI nº 4975336

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.
(José de Alencar)

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter me conduzido até aqui. O caminho foi árduo e os desafios diários, mas o Senhor sempre esteve ao meu lado me conduzindo. A minha família, por ter me apoiado, em especial a minha mãe Regina Lúcia da Silva e ao meu esposo Thiago de Lima Gonçalves pela paciência e encorajamento nos momentos mais difíceis e apoio constante durante toda a minha jornada acadêmica e ao meu tesouro mais precioso, meu filho Théo Silva de Lima, por ser o maior impulsionador das minhas conquistas.

Meu profundo agradecimento ao meu orientador, o Prof. Dr. Madson Tavares da Silva, pela imensa oportunidade de trabalhar ao seu lado, por todos os ensinamentos preciosos proporcionados ao longo desses anos, suas dicas e ensinamentos foram de grande importância para o meu crescimento acadêmico. E por toda empatia demonstrada a mim nos momentos de grande desafio.

A todos amigos e colegas presentes e ausentes, o meu eterno agradecimento, por estarem sempre dispostos a ouvir minhas angústias e por me incentivarem a todo momento. A conquista é almejada e o caminho é pedregoso, mas as pessoas que Deus coloca em nosso caminho, são fundamentais nesse processo.

Aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização dessa pesquisa.

Meus agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, a coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos durante o curso.

RESUMO

A região de MATOPIBA conhecida atualmente como nova fronteira agrícola tem recebido grandes investimentos no setor do agronegócio nas últimas décadas. Com o objetivo de expandir ainda mais a produção agrícola, muita de sua cobertura de solo tem sofrido modificações, através da remoção da vegetação nativa para inserção de cultivares, principalmente soja. Entretanto, a perda de biodiversidade do bioma Cerrado, o qual abrange grande parte da área, tem sido notório nos últimos anos, tornando necessário, cada vez mais, o monitoramento das mudanças de cobertura da superfície. Com base nisso, esse trabalho tem como objetivo mapear e analisar as mudanças no processo de uso e ocupação do solo, como emsabasamento para compreensão da dinâmica de causa e efeito da expansão do agronegócio à qualidade ambiental e à produção agrícola na região do MATOPIBA. Para esse fim, realizou-se diagnósticos da evolução do agronegócio na região de estudo a partir dos dados do MapBioma e um levantamento do nível de alteração florestal por meio do método de K-means, testes de homogeneidade de Pettitt, método de tendência de Mann-Kendall e Sen's para uma maior compreensão da dinâmica de tendência das variáveis. Por fim, foram estimados e analisados os indicadores ambientais de Produtividade Primária Bruta (GPP), Evapotranspiração (ET), Enhanced Vegetation Index (EVI) e Water Use Efficiency (WUE) para avaliar as alterações e comportamento da biodiversidade vegetal. Os resultados evidenciaram que ocorreu perda de área florestal, equivalente a 11 Mha e um crescimento expressivo da área de agricultura ao longo dos 35 anos de estudo, indicando tendência de superação da quantidade de área alterada, para ouso agropecuário sobre a quantidade de área de vegetação natural. Demonstrou ainda, eficácia dos métodos estatísticos utilizados nas microrregiões e na determinação da existência de tendências, ocorrendo estas em todos os grupos durante toda a série, sendo que o período que marca o processo de alteração de forma mais expressiva ocorreu no ano de 2001 na maioria, marcando o impulsionamento da produção de soja na região. Os indicadores ambientais trabalhados evidenciam que apesar da acentuada evapotranspiração e mudanças no comportamento das chuvas, a GPP, EVI e WUE não sofreram mudanças bruscas na densidade de dados nos últimos 20 anos, apesar dos valores muito baixos de GPP terem sido observados em 2016.

Palavras-chave: Expansão agrícola; Cerrado; Geoestatística; Alteração do clima.

ABSTRACT

The MATOPIBA region, currently known as the new agricultural frontier, has received major investments in the agribusiness sector in recent decades. In order to further expand agricultural production, much of its soil cover has undergone modifications through the removal of native vegetation to introduce cultivars, mainly soybeans. However, the loss of biodiversity in the Cerrado biome, which covers a large part of the area, has been noticeable in recent years, making it increasingly necessary to monitor changes in surface cover. Based on this, this work aims to map and analyze changes in the land use and occupation process, as a basis for understanding the cause and effect dynamics of the expansion of agribusiness on environmental quality and agricultural production in the MATOPIBA region. To this end, diagnoses of the evolution of agribusiness in the study region were carried out using MapBioma data and a survey of the level of forest alteration using the K-means method, Pettitt homogeneity tests, Mann-Kendall and Sen's trend methods for a better understanding of the dynamics of the variables' trends. Finally, the environmental indicators of Gross Primary Productivity (GPP), Evapotranspiration (ET), Enhanced Vegetation Index (EVI) and Water Use Efficiency (WUE) were estimated and analyzed to assess the changes and behavior of plant biodiversity. The results showed that there was a loss of forest area, equivalent to 11 Mha, and a significant growth in the agricultural area over the 35 years of study, indicating a tendency for the amount of altered area for agricultural use to exceed the amount of natural vegetation area. It also demonstrated the effectiveness of the statistical methods used in the microregions and in determining the existence of trends, which occurred in all groups throughout the series, with the period that marked the most significant change occurring in 2001 in most cases, marking the boost in soybean production in the region. The environmental indicators used show that despite the marked evapotranspiration and changes in rainfall behavior, GPP, EVI and WUE did not undergo sudden changes in data density over the last 20 years, despite the very low GPP values observed in 2016.

Keywords: *Agricultural expansion; Thick; Geostatistics; Climate change.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....13
RESUMO.....8
ABSTRACT.....9
CAPÍTULO 1 16
1. **INTRODUÇÃO** 16
1.1 Inovação e Inedistismo.....18
1.2 Aspectos Socieconômicos e Ambientais.....18
1.3 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.....19
2. **OBJETIVOS** 20
2.1 Objetivo Geral 20
2. 2 Objetivos Específicos 20
3. **REVISÃO DE LITERATURA** 21
3.1 Expansão agrícola no MATOPIBA 21
3.2 Mudança no uso e cobertura da superfície do Cerrado 23
3.3 Estudos do ambiente a partir do processamento de dados espaciais e análise de séries temporais.....25
3.4 Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil—MapBiomas.....27
3.5 Variáveis para determinação do comportameto da superfície a partir de estudos de uso e cobertura do solo.....28
3.5.1 Índice de Vegetação Aprimorada/ Enhanced Vegetation Index (EVI).....29
3.5.2 Evapotranspiração (ET) 32
3.5.3 Produtividade Primária Bruta/Gross Primary Production (GPP) 34
3.5.4 Eficiência de Uso da Água/ Water Use Efficiency (WUE).....36
4. **DELINEAMENTO DA PESQUISA** 39
5.REFERÊNCIAS..... 41
CAPÍTULO 2.....53
1. **METODOLOGIA GERAL**.....53
1.1 Área de estudo.....53
1.2 Metodologia.....54

2. **REFERÊNCIAS**.....57
CAPÍTULO 3 58
1**. INTRODUÇÃO**..... 60
2**. MATERIAL E MÉTODOS** 62
2.1 Área de estudo..... 62
2.2 Coleta de dados 63
3**. RESULTADOS E DISCUSSÃO**.....64
3.1 Crescimento do agribusiness em MATOPIBA - Bioma Cerrado.....64
3.2 Tendências de desmatamento no MATOPIBA.....66
4**. CONCLUSÕES**..... 72
REFERÊNCIAS..... 73
CAPÍTULO 4 75
1**. INTRODUÇÃO** 77
2**. MATERIAL E MÉTODOS** 79
2.1 Área de estudo..... 79
2.2 Coleta de Dados 79
2.3 Metodologia 81
2.4 Método de Agrupamento de Dados 81
2.5 Análise de séries temporais.....82
2.5.1 Teste de tendência de Mann-Kendall.....82
2.5.2 Estimador de inclinação de Sen's slope (Sen).....83
2.5.3 Teste de homogeneidade de Pettitt.....84
3**. RESULTADOS E DISCUSSÃO**.....84
4**. CONCLUSÕES**..... 91
REFERÊNCIAS..... 92
CAPÍTULO 5 95
1**. INTRODUÇÃO** 97
2**. MATERIAIS E MÉTODOS** 99
2.1 Área de estudo..... 99
2.2 Coleta de Dados.....100
2.3 Metodologia 101
2.3.1 Determinação da Eficiência de Uso da Água (WUE).....101
2.3.2 Análise estatística - Coeficiente de correlação de Spearman.....102
3**. RESULTADOS E DISCUSSÃO**..... 103

3.1 Indicador Ambiental-GPP e PCP 106
3.2 Indicador Ambiental-EVI e ET 111
3.3 Indicador Ambiental-WUE 114
3.4 Sazonalidade dos Indicadores Ambientais 116
3.5 Análise estatística dos Indicadores Ambientais 120
4**. CONCLUSÕES** 122
REFERÊNCIAS 123
CAPÍTULO 6 130
1**. CONSIDERAÇÕES FINAIS** 130
ANEXOS 132
Artigo 1 – Referente ao Capítulo 2 132
Artigo 2 – Referente ao Capítulo 3 133

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I - Contextualização da Pesquisa

Pág.

Figura 1. Visão geral do conjunto de produtos MODIS VI e algoritmos de processamento..... 31

Figura 2. Esquema dos processos referente a Eficiência de Uso da Água (WUE)..... 38

Figura 3. Esquema da estrutura da tese..... 40

Capítulo II – Metodologia Geral

Figura 1. Demonstração da (A) localização geográfica e (B) elevação da região do MATOPIBA no Brasil e América do Sul..... 54

Capítulo III - Conflito entre o agribusiness e a conservação do meio ambiente

Figura 1. Mapa de localização da região MATOPIBA com seus 337 municípios..... 63

Figura 2. Produção de soja no Bioma Cerrado durante o período de 2000 a 2019..... 65

Figura 3. Quantitativo de área florestal do Bioma Cerrado no período de 2000 a 2019..... 67

Figura 4. Comportamento da cobertura florestal, produção de soja e agricultura durante o período de 2000 a 2019 no Bioma Cerrado. 68

Figura 5. Variabilidade temporal das áreas de cobertura florestal, agricultura e produção de soja durante o período de 2000 à 2019 nos estados do a) Maranhão, b) Tocantins, c) Piauí e d) Bahia. 69

Capítulo IV - Dinâmica espaço temporal do uso e cobertura do solo na região do matopiba

Figura 1. Localização da região do MATOPIBA..... 80

Figura 2. Distribuição espacial da variabilidade da cobertura florestal (ha) nas microrregiões do MATOPIBA no período de 1985 a 2019..... 85
Figura 3. Regiões homogêneas de redução de cobertura florestal na região MATOPIBA durante o período de 1985 a 2019..... 86
Figura 4. Amplitude da cobertura florestal natural em intervalos de 5 anos para o período de 1985-2019. 87
Figura 5. Variabilidade temporal da cobertura florestal distribuída por grupos a) Grupo 1, b) Grupo 2, c) Grupo 3, d) Grupo 4, e) Grupo 5, na região do MATOPIBA no período de 1985 a 2019. 89

Capítulo V - Variabilidade de indicadores ambientais em resposta às mudanças de uso e cobertura da superfície no MATOPIBA

Figura 1. Mapa de localização da região do MATOPIBA (a) delimitação nacional, (b) estados e (c) biomas que compõem a região de estudo..... 100
Figura 2. Variabilidade temporal da composição da cobertura vegetal no MATOPIBA durante o período de 1985 a 2021. 104
Figura 3. Variabilidade temporal da densidade da GPP no período de 2002 a 2022 na região de estudo. 107
Figura 4. Variabilidade temporal da precipitação pluvial no período de 2002 a 2022 na região de estudo. 108
Figura 5. Precipitação pluvial (mm) na região de MATOPIBA durante o período de 1985 a 2022..... 109
Figura 6. Análise da densidade do EVI entre o período de 2002 a 2022 na região de estudo. 112
Figura 7. Análise da densidade do ET entre o período de 2002 a 2022 na região de estudo. 113
Figura 8. Análise da densidade da WUE sobre o MATOPIBA, referente aos anos de 2002 e 2022. 115
Figura 9. Comportamento médio da densidade dos dados de (a) ET, (b) EVI, (c) precipitação pluvial e (d) GPP durante as estações, dentro do período de estudo (2002 a 2022), a partir da delimitação de grupos. 117
Figura 10. Variabilidade média mensal das variáveis (a) ET, (b) EVI, (c)

precipitação pluvial, (d) GPP e e) WUE na região de estudo no período de 2002 a 2022. 119
Figura 11. Relação quantitativa entre as variáveis ET com (a) precipitação pluvial, (b) EVI e (c) EVI com a precipitação pluvial. 120
Figura 12. Diagrama de dispersão e curva de regressão entre as variáveis GPP com (a) ET, (b) precipitação pluvial e (c) EVI. 121

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

1. INTRODUÇÃO GERAL

O impulsionamento do agronegócio no Brasil tem crescido exponencialmente, demonstrando importância na balança comercial e colocando o país em uma posição de destaque no mercado internacional Oliveira et al. (2022). Viabilizado desde a década de 1965, através do Sistema Nacional de Crédito Rural e através de investimentos do setor privado no período de 1960 a 2000 o agro passou a expandir e obter técnicas produtivas mais eficientes (EMBRAPA, 2022). Através de sua modernização, esse setor sofreu transformações, influenciando o modo de vida dos produtores rurais e da sociedade urbana, nos setores econômicos, culturais e paisagísticos, com redução drástica do meio rural e um forte crescimento urbano. A produção que antes tinha como finalidade a subsistência, passa a ser a principal fonte de superávit nas balanças comerciais (Ferreira et al., 2019).

Segundo a CNA (2021) no ano de 2020 o agro demonstrou uma participação de 26,1% do PIB brasileiro (Machado, 2021). Alcançou os melhores recordes nacionais da história nos anos de 2020, 2021 e 2022, tendo em 2021 uma participação de 26,6%. Entretanto, no ano que se segue, houve uma queda de aproximadamente 24% e retração do PIB, justificado principalmente por fatores climáticos. Estima-se, por sua vez, aumento de 19,1% na produção de grãos até o ano de 2032/33 (MAPA, 2023).

Com a finalidade de suprir esse mercado, muitas das áreas de vegetação nativa sofreram alteração de sua camada superficial vegetal, através da supressão da vegetação primária para a inserção de cultivos. Junto com essa mudança, vieram impactos ao meio natural, de difícil reparação.

Segundo o MMA (2018) três dos quatro estados que compõem a região MATOPIBA foram os quais apresentaram maiores taxas de desmatamento no bioma Cerrado no ano de 2019, dentre eles estão: Tocantins (23%), Maranhão (20%) e Bahia (13%), sendo que a maior concentração de áreas desmatadas está na categoria de áreas privadas ou sem informações.

De acordo com o Relatório Anual de Desmatamento 2022 (RAD 2022) do total

de área vegetal suprimida em todo o território brasileiro, 26,3% se concentrou no MATOPIBA, com 4.975 alertas e 541.803 ha de desmatamento, totalizando um aumento de 37% de áreas que sofreram essa pressão ambiental. Dos 50 municípios que mais destruíram sua vegetação, parte está concentrado no oeste baiano (MapBiomas, 2023).

Intensas mudanças na paisagem da região e no uso do solo tem sido provocadas pela expansão do agronegócio na região, substituindo a vegetação natural com suas características e peculiaridades pelas paisagens uniformes do monocultivo da soja, cana, algodão e eucalipto. Atrelado a isso, ainda há o impacto gerado às comunidades de povos tradicionais (índigenas, quilombolas, produtores sem-terra), demonstrando que o crescimento econômico a partir dessa prática não tem sido acompanhado pelo desenvolvimento social e o equilíbrio ambiental. Assim, nota-se que MATOPIBA é um espaço de conflito entre questões fundiárias e de recursos naturais (Blanco et al., 2021).

Idenficar e mensurar essas mudanças ocorridas ao longo dos anos através do uso e cobertura do solo, em consequência da substituíção da vegetação, é de suma imporância, em busca de compreender como essa dinâmica tem ocorrido. Para o desenvolvimento desse tipo de diagnóstico, o sensoriamento remoto orbital tem sido considerada uma ferramenta de grande relevância no monitoramento ambiental, através principalmente dos índices espectrais (Oliveira et al., 2020). Essas técnicas contribuem de forma muito significativa ao fornecer dados de detecção precisos e atualizados de sistemas agrícolas, sendo considerado muito adequado para a captação de informações sobre áreas extensas (Zahran et al., 2022).

Trabalhos como o de Oliveira et al. (2020) e Jung et al. (2021) demonstram o uso do sensoriamento remoto como técnica de grande utilização em estudos de uso e ocupação do solo. Zahran et al. (2022) apresentam em seu trabalho, o monitoramento de dados de séries temporais a partir do sensoriamento remoto, a dinâmica e interação das atividades agrícolas com a superfície do solo, além do comportamento das chuvas.

Sendo assim, os métodos sugeridos e aplicados neste trabalho, são de grande relevância e justificáveis para a compreensão do gral de influência que o agronegócio possa gerar sob a cobertura florestal e condições climáticas a posteriore na região de MATOPIBA.

1.1 INOVAÇÃO E INEDITISMO

Segundo Santos *et al.* (2020) o uso de imagens de satélite é totalmente aplicável para analisar as variações na cobertura florestal em uma área de interesse. Proteger os remanescentes de florestas tropicais secas da América do Norte Central e implementar políticas para promover a conservação de florestas secas secundárias e intactas pode representar um desafio significativo nos próximos anos, sendo assim, fornecer medições em escalas geográficas que sejam relevantes para os tomadores de decisão locais ou regionais é essencial para identificar localidades onde as florestas tropicais secas estejam sendo devastadas em taxas alarmantes e ações de conservação para impedir perdas futuras são necessárias; ou áreas onde o desmatamento é baixo e as ações de conservação podem se concentrar em alcançar a sustentabilidade no nível da paisagem (Portillo-Quintero; Smith, 2018).

Devido ao grande volume de dados gerados pelo sensoriamento remoto e para verificação e confirmação da confiabilidade dos dados, os métodos estatísticos são uma grande ferramenta. Aplicação de testes de métodos de agrupamento e tendência em séries temporais proporciona uma interpretação de forma mais fácil de como grande quantidade de dados se comportam. Segundo Helsel e Hirsch (2002) quando se determina se o valor de uma variável apresentou tendência positiva ou negativa (aumentou ou diminuiu) ao longo de uma série, subentende-se que a distribuição da probabilidade mudou ao longo do tempo, tornando-se muito interessante descrever as supostas razões da mudança de acordo com variações em algum lugar central de distribuição.

1.2 ASPECTOS SOCIECONÔMICOS E AMBIENTAIS

O conhecimento do uso e ocupação do solo são técnicas que promovem o suporte para um adequado método de produção, tornando-se possível a compreensão da dinâmica florestal e da expansão e alteração da vegetação ocorrida, proporcionando tomadas de decisão e gestão conscientes e eficazes. Ações antrópicas como desmatamento e degradação do solo podem inviabilizar atividades vegetais, devido a perca de minerais e nutrientes presentes nesse meio, como também impactos no ciclo hidrológico. De acordo com Foley (2005) a partir de estudos de modelagem pode-se perceber as mudanças na cobertura da terra nos trópicos e como essas afetam o clima devido às mudanças

acarretadas no balanço hídrico, como também suas influências ao clima através do balanço de radiação da superfície. As práticas de uso da terra podem alterar ainda a qualidade do ar.

Essas alterações devem ser consideradas nos planos de desenvolvimento e expansão do agronegócio do país. É nítida a importância da produção agropecuária para o abastecimento populacional, entretanto, diversas técnicas eficazes de produtividade existem, garantindo o provimento alimentar e o "crescimento econômico", más reduzindo os danos causados ao meio ambiente.

1.3 OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Há a necessidade de compreensão e aplicação de importantes ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável) como base para uma gestão e expansão consciente no MATOPIBA, como por exemplo:

II) Fome zero e agricultura sustentável - contribuíndo para a busca da erradicação da fome e segurança alimentar através da agricultura sustentável;

XII) Consumo e produção responsáveis - assegurando os padrões de produção e consumo;

XIII) Ação contra a mudança global do clima - em busca do combate a mudanças climáticas;

XV) Vida terrestre - promovendo a proteção e recuperação de ecossistemas a partir do uso sustentável (GTSCA2030, 2022).

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Mapear e analisar as mudanças no processo de uso e ocupação do solo, como emsabasamento para compreensão da dinâmica de causa e efeito da expansão do agronegócio à qualidade ambiental e à produção agrícola na região do MATOPIBA.

2.2. Específicos

- Avaliar a evolução das regiões agrícolas e os efeitos dessa interação com a cobertura natural;
- Identificar o nível de alteração na área de cobertura florestal ocorrida no período de 1985-2019, devido as mudanças de uso e cobertura da superfície;
- Caracterizar e identificar as culturas agrícolas produzidas de maior representatividade e suas regiões mais produtivas;
- Avaliar e quantificar a variabilidade espaço-temporal dos indicadores ambientais associados à fatores climáticos, condições físicas e biológicas e às mudanças ambientais;
- Compreender as relações de causa e efeito das ações antrópicos e naturais para mudanças da região do MATOPIBA entre os anos de 1985 a 2019.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Expansão agrícola no MATOPIBA

O Brasil com seu expressivo aumento na produtividade, a partir do avanço das tecnologias, tem tido papel importante na balança comercial. Este também é um setor de grande uso e ocupação territorial no país, consumindo assim recursos naturais em seu processo produtivo, afetando por diversas vezes direta e indiretamente o meio ambiente. O crescimento populacional tem se tornado, por muitos, um dos grandes fatores contribuintes e ocasionadores do esgotamento dos recursos naturais. Estima-se que a população mundial alcançará 215 milhões de habitantes em 2030 (IPEA, 2023), necessitando de uma demanda cada vez maior por alimentos, além do crescimento do padrão de consumo deste, aumentando também, devido à crise energética, a busca por biocombustíveis (IPEA, 2012), sendo necessário, por sua vez, mais áreas cultiváveis disponíveis. Entretanto, o estoque mundial de terras é limitado, levando a necessidade de maior produtividade por terra plantada. De acordo com IPEA (2012) o Brasil é considerado um dos países de maior capacidade de aumento da produção agropecuária. Estima-se que a produção do agronegócio, responda atualmente por 21,1% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (Brasil Agro, 2020) e segundo os dados da NASA (2017) cerca de 63.994.479 hectares (7,6%) do território brasileiro é ocupado para este fim. Em contrapartida, pouco ainda se avançou nos métodos produtivos que garantam uma produção sustentável, gerando benefícios econômicos, proporcionando a conservação dos recursos naturais.

Uma das grandes apostas do Brasil nas últimas décadas para impulsionar a expansão do agronegócio, tem sido a região MATOPIBA. Segundo documentos publicados pelo governo federal brasileiro, intitulado “Salve o MATOPIBA”, no ano de 2016 as estimativas já eram bastante favoráveis ao crescimento produtivo da região. Dados demonstravam que havia ocorrido na mesma época, um aumento de 19 milhões de toneladas na safra de grãos, com o Tocantins expandindo 25% de sua área plantada ao ano. Estimou-se um crescimento da produção em grãos de aproximadamente 21,4% em um período de 11 safras, o que compreende os ciclos de 2013/2014 e 2023/2024. Na safra de 2015/2016 contabilizou-se 9,28% da produção de grãos do país oriunda da região MATOPIBA, ficando abaixo apenas do Mato Grosso com 23,99%, Paraná com 18,29%, Rio Grande do Sul com 14,70% e Goiás com 9,92% (Portal Brasil, 2016).

MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) é considerada a nova área de expansão agrícola. Segundo Pereira (2019), essa região é responsável pelo crescimento da agricultura a taxas superiores à média nacional, a partir, principalmente, da produção de grãos, que tem gerado mudanças socioeconômicas desde a década de 1970. Sua produção é baseada na agricultura de largaescala como soja, algodão, milho, eucalipto e a pecuária, além também da agricultura de subsistência a base de mandioca, feijão, frutas e o extrativismo. Tal região é a de maior expansão da soja no país, ficando conhecida como a atual fronteira de expansão da soja.

Segundo Pereira (2019), essa região composta em sua quase totalidade pelo Bioma Cerrado, é responsável pelo crescimento da agricultura a taxas superiores à média nacional, a partir principalmente da produção de grãos, que tem gerado mudanças socioeconômicas desde a década de 1970. Sua produção é baseada na agricultura de larga escala como soja, algodão, milho, eucalipto ea pecuária, além também da agricultura de subsistência a base de mandioca, feijão, frutase o extrativismo. De acordo com Lima (2019), no ano de 2019 o Cerrado totalizou 183.890,9 km² de plantio de soja.

A soja hoje está entre as atividades que possui o maior valor de intensivo em terras do país. Desde a década de 1950 a mesma é produzida em larga escala, devido a fatores contribuintes como clima favorável, amplas terras disponíveis, investimentos em estradas e infraestrutura contribuíram para a alta produção dessa oleaginosa no mercado internacional de alimentos e biocombustível. Inicialmente esta se desenvolvia na região sul, expandindo-se para o norte, posteriormente para o Cerrado e Amazônia (Lima, 2019).

Os municípios de maior representatividade produtiva, superior a 1 milhão de toneladas em grãos (algodão, arroz, feijão, milho, soja e sorgo) na região de MATOPIBA estão localizados no oeste da Bahia, no sul do Maranhão e no sudoeste do Piauí (Pereira, 2019). Outro fator determinante para que essa região apresente altas perspectivas para a expansão da soja, é porquê ela possui as maiores áreas contínuas existentes (Spera et al., 2016).

Ações para o desenvolvimento de técnicas agrícolas em busca de tornar mais competitiva a região do MATOPIBA na produção de soja, colaborou para melhores resultados no crescimento do agronegócio intensivo no país recentemente (Feitosa et al., 2020). Nota-se que as áreas de produção de soja têm se expandido sobre aquelas produzidas por agricultores familiares, gerando um exôdo de produtores das regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste para as regiões de fronteira, devido ao encarecimento das terras, passando a produzir em um regime de subsistência (Lemos, 2015).

A grande expansão das atividades agrícolas pode resultar em perdas de vegetação original, como também em altas emissões de carbono, redução da biodiversidade e perturbação dos ciclos hidrológicos (Garrett et al., 2018), como também persiste sendo um desafio urgente para o desenvolvimento sustentável e ações de mitigação de mudanças climáticas (Polizel et al., 2021).

3.2. Mudança no uso e cobertura da superfície do Cerrado

Apesar de o Cerrado ser um bioma de grande biodiversidade, o mesmo tem sofrido com o desmatamento ao longo das décadas. De acordo com os relatórios do IPAM (2020) 30 Mha em vegetação nativa foram perdidos nesse bioma nos últimos 35 anos, 28 Mha entre 1985 a 2019, 659.670 mil ha apenas no ano de 2022 (MapBiomas, 2023). Segundo dados disponibilizados na coleção 5 do MapBiomas a partirda fonte do IBGE 2019, o bioma Cerrado possui 23,92% da área territorial do país, sua cobertura é composta por mosaico de savana, pastagem e floresta, 50% de cobertura vegetal nativa já foi convertida (PPCerrado/INPE) e o uso predominante do solo é para agricultura, pecuária (MapBiomas, 2020a), soja, cana-de-açúcar e eucalipto, junto comoutras atividades como mineração e produção de carvão (Pitta; Vega, 2017).

Onze dos vinte municípios mais incendiados no Cerrado no ano de 2019 e quatro dos cinco mais atingidos compreendiam a região MATOPIBA. As queimadas nesse bioma são ocasionadas por um ciclo de grilagem, especulação com terras, degradação ambiental e desmatamento, além também das práticas inadequadas de uso de agrotóxicos (Garcia e Vieira-Filho, 2018).

Na última década, houve a conversão de 2,3 Mha em lavouras, com três quartos dessa área de Cerrado (Spera et al., 2016). Investimentos que propiciem maior capacidade logística para aumentar a expansão produtiva da região são cada vez mais frequentes. Obras que visam à criação de corredores de fluxo de transporte e escoamentoda produção de grãos, como por exemplo, o trecho de 67 km da BR – 135, foi realizado pelo governo federal (Portal Brasil, 2021). Entretanto Rudorff e Risso (2015) já haviam identificado que grande parte da mudança de uso e cobertura da superfície advinda da expansão das culturas anuais, é realizada sobre a vegetação nativa. Essas atividades passaram a desencadear, de acordo com Garcia e Vieira-Filho (2018), a partirde dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2016), elevado grau de degradação dosolo devido às práticas de manejo e uso inadequado adotados, com núcleo de desertificação chegando a 591 mil

hectares já em 2016.

Os impactos ambientais ocasionados pelas atividades do agronegócio, segundo o IPEA (2012) têm dois eixos principais: a mudança de uso do solo e a degradaçãode áreas de desmatamento intenso de vegetações naturais e ecossistêmicas, com afinalidade de cultivar. O primeiro se origina de cultivação. Já o segundo, por consequência, é causado por práticas de manejo inadequadas. Quanto mais o segundo processo ocorre, mais é desencadeada a necessidade de novas terras para cultivo, já que se torna menos oneroso incorporar novas terras, do que a recuperação de áreas improdutivas. Além destes, ainda há os fatores negativos gerados pelas queimadas e o uso excessivo de agrotóxicos e fertilizantes na produção.

Em seu trabalho sobre Intensificação nas fronteiras agrícola-florestais como resposta do uso da terra às políticas de desenvolvimento e conservação no Brasil, Garrett et al. (2018) identificaram que tanto a lavoura como a pastagem demonstram impulsionamento a partir do aumento das restrições de conservação onde as florestas já são relativamente escassas, ajudando localmente a poupar as florestas a curto prazo, entretanto a longo prazo essa intensificação de safras está associada a maiores desmatamentos. Polizel et al. (2021) em seu trabalho sobre a dinâmica do uso da terra no contexto das atuais políticas de conservação e regularização fundiária na região do Cerrado - MATOPIBA (Brasil) observaram, também, que o processo desmatamento é intenso nessa região devido principalmente a expansão do agronegócio.

Santos et al. (2017) em seu trabalho trazem discussões com base em outros autores sobre o uso do solo na Amazônia, onde é apresentado que essas mudanças ocasionam, devido a intensidade ocorrida ao longo das décadas, significativasmudanças no clima regional (Rocha et al., 2012), sendo o desmatamento e as queimadas os principais causadores dos impactos gerados, decorrente a grande emissão de gases traços e partículas que geram alterações negativas no ciclo hidrológico, além de outros. Esses interferem, por conseguinte, em diminuição no fluxo de chuvas e prolongamento das estações secas da Amazônia. Estudos indicam que o desmatamento na Amazônia tem como uma das principais causas, as atividades de origem antrópica como a agricultura e pecuária, somada a agricultura do tipo de corte e queima. A remoçãoda vegetação amazônica tem levado ao empobrecimento da biodiversidade na região, o ciclo hidrológico também é afetado, podendo modificar drasticamente o transporte de umidade fornecido pela floresta para importantes regiões agrícolas do Brasil localizadas no sul e sudeste, tudo isso tem causado a supressão de chuvas (Fearnside, 2006).

De acordo com o relatório Ministério do Meio Ambiente, após análises do PRODES (Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite) a região MATOPIBA tem os maiores índices de desmatamento do Cerrado no ano de 2019 (MMA, 2018) e posteriormente em 2022 (MATOPIBA, 2023), sendo que a preocupação maior se dá na porção norte do bioma, pois é onde se encontra os maiores fragmentos de vegetação natural remanescente. Dos quatro estados indicados como de maior desmatamento no mesmo ano, três se concentram em MATOPIBA (Tocantins, Maranhão, Mato Grosso e Bahia). Além da intensiva exploração dos recursosnaturais pelo agronegócio, outro aliado da perda vegetal do cerrado é a baixa quantidade de áreas de conservação e terras indígenas (MMA, 2018).

3.3 Estudos do ambiente a partir do processamento de dados espaciais e análise de séries temporais

Estudos de análise de mudanças no uso da cobertura da terra se fazem cada vez mais necessários para compreensão do comportamento da superfície do solo, como também para dinâmica e impactos causados pelos mesmos ao meio ambiente, já que toda e qualquer atividade desenvolvida que venha a gerar algum tipo de alteração nas características ambientais, gera consigo um impacto. Lembrando que o homem e a forma de sociedade em que vivemos, já que necessitamos dos recursos naturais para sobreviver e fazemos parte de uma cadeia biológica, fazem parte do meio ambiente, e são impactados e geradores de impacto do mesmo.

Nesse contexto, o uso do sensoriamento remoto, se torna um grande aliado como ferramenta para essas análises. A partir das observações de imagens de satélite, é possível uma visualização com maior abrangência da dinâmica da vegetação terrestre, permitindo captação e registro de energia refletida e/ou emitida (Liu, 2015). Além disso, o uso de Índices de Vegetação (IV), por exemplo, fornece além do entendimento da cobertura vegetal, a oportunidade de comparar dados passados com atuais de produção agrícola, biomassa, saúde vegetal, estudos da abrangência de áreas agrícolas (Oliveira et al., 2021; Shiratsuchi et al., 2014) e degradação do solo (Olson et al., 2019; Vieira et al., 2021).

O sensoriamento remoto também apresenta grande aplicabilidade dentro do segmento da Agricultura de Precisão (AP), pois este considera a variabilidade espacial do meio. A partir deste, os produtores podem dimensionar estratégias de crescimento de produtividade e gerenciamento e estabelecer planos de manejo específicos (Shiratsuchi

et al., 2014) de acordo com a área. Manejo este que deve levar em consideração questões ambientais e de prevenção do esgotamento de recursos. Entretanto,apesar da possibilidade de utilização da ferramenta de forma mais consciente e estratégica, o que se vê na grande maioria das vezes, é a não utilização responsável ambientalmente.

Um dos desafios da atualidade é o desenvolvimento de modelos espaço-temporais que possam descrever de forma confiável os processos reais, compondo assim o mundo da geoinformação, de grande utilidade para alcançar o equilíbrio entre odesenvolvimento e o meio ambiente. Hoje tem-se posse de acentuados avanços tecnológicos e programas computacionais os quais nos possibilitam trabalhar com grandequantidade de dados de pesquisa governamentais e institucionais, levando em consideração as interações entre componentes espaciais e temporais (Viana, 2019).

Segundo Landim e Sturaro (2002), a geoestatística determina estimativas dentro de um fenômeno natural com distribuição no espaço e supõe que os valores das variáveis (consideradas como regionalizadas) sejam espacialmente correlacionadas através de estimativas e/ou simulações de pontos intermediários não amostrados.

O sensoriamento remoto e a geoestatística aliados com análises de séries temporais são utilizados por diversos pesquisadores com êxito, como através de testes não-paramétrico de Pettitt, teste de Mann-Kendall (MK), (Oliveira et al., 2021), estimadores de inclinação de Sen e análise de variância bidirecional (ANOVA) (Santos et al., 2020).

O teste não-paramétrico de Mann-Kendall se comparado a outros testes paramétricos, pode ser considerado mais robusto com relação aos desvios de normalidade e não-estacionaridade, o que demonstra a sua grande eficiência quando utilizado em estudos de tendência (Blain, 2011), além de ser análogo a análise de regressão, por esse motivo também, vem a ser mais indicado na verificação de tendências na série (Helsel; Hirsch, 2002). Além do citado acima, há ainda o método não-paramétrico decurvatura de Sen – *Sen's slope* (Sen, 1968). No cálculo de *Sen's slope,* as curvaturas de todos os pares dos valores são computadas e determinadas em série temporal,sendo considerado assim um método insensível de outliers e dados ausentes, conhecido por ser mais rigoroso do que a curvatura da regressão linear, já que este gera medidas mais reais das tendências em séries temporais.

O teste de homogeneidade de Pettitt (Pettitt, 1979) que utiliza uma versão doteste de Mann-Whitney, verifica se duas amostras pertencem à mesma população. É também considerado um teste não-paramétrico (Groppo et al., 2005). Possibilita a capacidade de

localizar o ponto de mudança brusca nas médias da série histórica. Todos os testes estatísticos mencionados são extremamente eficazes na distribuição e interpretação de variáveis ambientais, para um maior entendimento da dinâmica de mudanças de cobertura vegetal.

Análises para compreensão e detecção de sazonalidades da vegetação vem se tornando, segundo Oliveira et al. (2021), uma das aplicações do sensoriamento remoto mais frequentes em florestas secas, em especial no nordeste brasileiro, em busca da percepção dos possíveis impactos que as mudanças climáticas, por exemplo, podem ocasionar no crescimento vegetativo.

Pesquisadores como Poor et al. (2019), Portillo-Quintero e Smith (2018), entre outros, tem utilizado essas ferramentas para analisar mudanças na coberturaflorestal em determinadas localidades. Segundo Vieira et al. (2021) a partir do uso de ferramentas do sensoriamento remoto, se torna possível determinar condições de degradação de solos, em regiões de alta exploração agrícola, a partir de atividades de supressão de vegetação natural, frequência de incêndios, etc. Em seus trabalhos, o mesmo projetou a perda de 120.000km²de vegetação natural em MATOPIBA, até 2050.

3.4 Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil—MapBiomas

O desenvolvimento de análises a partir de imagens geográficas apresenta limitações de processamento quando se trata de uma grande gama de imagens de satélite, além de outros desafios encontrados. Para facilitar e proporcionar um maior monitoramento e processamento de informações acerca da superfície terrestre, plataformas de monitoramento e processamento são criados, uma dessas é o MapBiomas. Um[1] projeto que foi colocado em prática que possibilita a união de especialistas de diversas áreas de biomas, usos de terra, sensoriamento remoto, SIG e ciências da computação, onde através do processamento de dados em nuvens e classificadores automatizados, a partir do Google Earth Engine (GEE), opera e desenvolve uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra no Brasil.

[1] Plataforma Web MapBiomas. Disponível em < https://mapbiomas.org/o-projeto>

O GEE é definido pelo Google como: “uma plataforma para análise científica em escala de petabyte e visualização de conjuntos de dados geoespaciais para benefício público, negócios e usuários do governo (MapBiomas, 2020a). Definida ainda como uma rede colaborativa de organizações da sociedade civil, universidades e empresas de tecnologia e agências governamentais. Sendo que estas se uniram para produzir mapas de grande escala, com periodicidade anual do uso e ocupaçãoda terra e da mudança da cobertura da terra (LULC) entre o período de 1985 em diante (Sparovek et al., 2019). Os produtos gerados pelo MapBiomas são disponibilizados em coleções (até o momento foram geradas 8 coleções), que se distinguem pelo período de análise, com abordagens distintas e seus mapas tem sua melhor aplicação em escalas até 1:100.000.

São disponibilizados mapas de cobertura e uso do solo (30x30m), mosaicos de imagens (30 m) e plataforma Web de consulta pública com imagens, mapase estatísticas das coleções. Os mapas anuais de cobertura e uso do solo são produzidos a partir de imagens desatélite Landsat Thematic Mapper ™, Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +) e o Imageador Operacional Terrestre e Sensor Térmico Infravermelho (OLI-TIRS) a bordo do Landsat 5, Landsat 7 e Landsat 8 respectivamente, pixel a pixel, sendo todo o processo feito através da plataforma GEE e fonte da NASA e USGS. O MapBiomas abrange os biomas: Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga, Pampa e Pantanal e é dividido nos seguintes temas transversais: (I) agricultura; (II) pastagem; (III) floresta plantada; (IV) mineração e (V) infraestrutura urbana (MapBiomas, 2020a).

A plataforma apresenta um processamento de imagens baseado na tecnologia do google, a partir de imagens de infraestrutura de computação em nuvem, programação em Javascript e Python e via GEE e armazenamento de dados usando Google Cloud Storage (MapBiomas, 2020a). A mesma detém de grande credibilidade na pesquisa devida a confiabilidade e abrangência de seus dados e é bastante usada por diversos autores que tratam principalmente de observações de uso e ocupação da superfície e questões climáticas e ambientais, nos últimos anos (Arruda et al., 2021; Baeza et al., 2022; Rosa et al., 2021; Vasconcelos et al., 2024; Vieira et al., 2021).

3.5 Variáveis para determinação do comportameto da superfície a partir de estudos de uso e cobertura do solo

A seguir, serão abordados aspectos bibliográficos a cerca das variáveis que engloba a análise de uso e cobertura do solo: precipitação, índice de vegetção, bem como

a eficiência de uso da água e suas componentes, que são a produtividade primária bruta e a evapotranspiração.

3.5.1 Índice de Vegetação Aprimorada/ Enhanced Vegetation Index (EVI)

A vegetação é um componente de extrema importância para o equilíbrio biológico e determinante na avaliação da biodiversidade de uma determinada região. A partir dessa variável se torna possível inferir sobre a qualidade ambiental de uma determinada localidade. Monitorar e compreender a dinâmica vegetal, possibilita uma previsão do comportamento das plantas a partir de mudanças e eventos influenciadores da biodiversidade. De acordo com Liu et al. (2021) o desenvolvimento espaço-temporal da vegetação, como também outros fatores, podem ser de grande relevância no estudo das relações existentes entre a vegetação, as alterações climáticas e ações humanas, auxiliando a compreensão dos ambientes ecológicos. Bem como, segundo Zhang et al. (2019) a fenologia e características vegetais são excelentes indicadores das condições ecossistêmicas da superfície terrestre às mudanças do clima.

Com o crescimento exponencial das interações humanas com o meio, muitos estudiosos têm ressaltado o impacto crescente sobre a cobertura vegetal, tornando necessário cada vez mais, estudos acerca das mudanças na vegetação. O sensoriamento remoto e imagens de satélite, tem sido amplamente utilizado nas avaliações de comportamento da cobertura vegetal (Liu et al., 2021; Pacheco et al., 2023) como também o advento das geoestatísticas. A partir de dados de índices de vegetação (IVs) obtidos através de imageamento, é possível desempenhar um papel de grande relevância em estudos e monitoramento de uso e ocupação, sendo amplamente utilizados em escalas regionais ou globais (Pacheco et al., 2023; Zeng et al., 2020; Zeng et al., 2021).

Na atualidade, análises de IV a partir do sensoriamento remoto são frequentemente utilizados na maior parte dos estudos de análise vegetal, já que estes geram dados a partir da integração de duas ou mais bandas espectrais sensíveis, o que proporciona avaliar diferentes características da planta, como por exemplo, pigmentos, conteúdo de água e ainda sua estrutura, possibilitando a compreensão da real condição da vegetação (Zeng et al., 2020), como também seus parâmetros fisiológicos, determinando a abundância de clorofila, que por sua vez, produz sua capacidade fotossintética e crescimento (Zhang et al., 2017). São geralmente calculados a partir da radiação eletromagnética com base nas características espectrais da vegetação, tendo sua assinatura

espectral com forte absorção na faixa do visível e alta reflexão em regiões do infravermelho próximo (NIR) do espectro solar (Rouse et al., 1973; Tucker, 1979).

Dentre a variedade de IVs existentes, o Enhanced Vegetation Index (EVI), juntamente com outros, foi projetado para minimizar a sensibilidade do índice a vários fatores ambientais (Yu et al., 2003; Zeng et al., 2020). Foi desenvolvido com a finalidade de otimizar o sinal de vegetação, dispondo de maior sensibilidade em regiões com grande biomassa e melhorar o monitoramento a partir de um desacoplamento do sinal do dossel, reduzindo ainda as influências da atmosfera (Huete et al., 2002). Este é capaz de evidenciar se as alterações sofridas pela cobertura vegetal devido a sazonalidade climática foram geradas pela variação do regime de chuva ou se devido a mudanças no uso e cobertura da superfície, possibilitando por sua vez, inferir as mudanças no comportamento espectral da vegetação, determinando se houve ou não modificação, desmatamento ou ainda o tipo de cobertura vegetal (se nativa ou não) (Bayma, 2015; Pacheco et al., 2023).

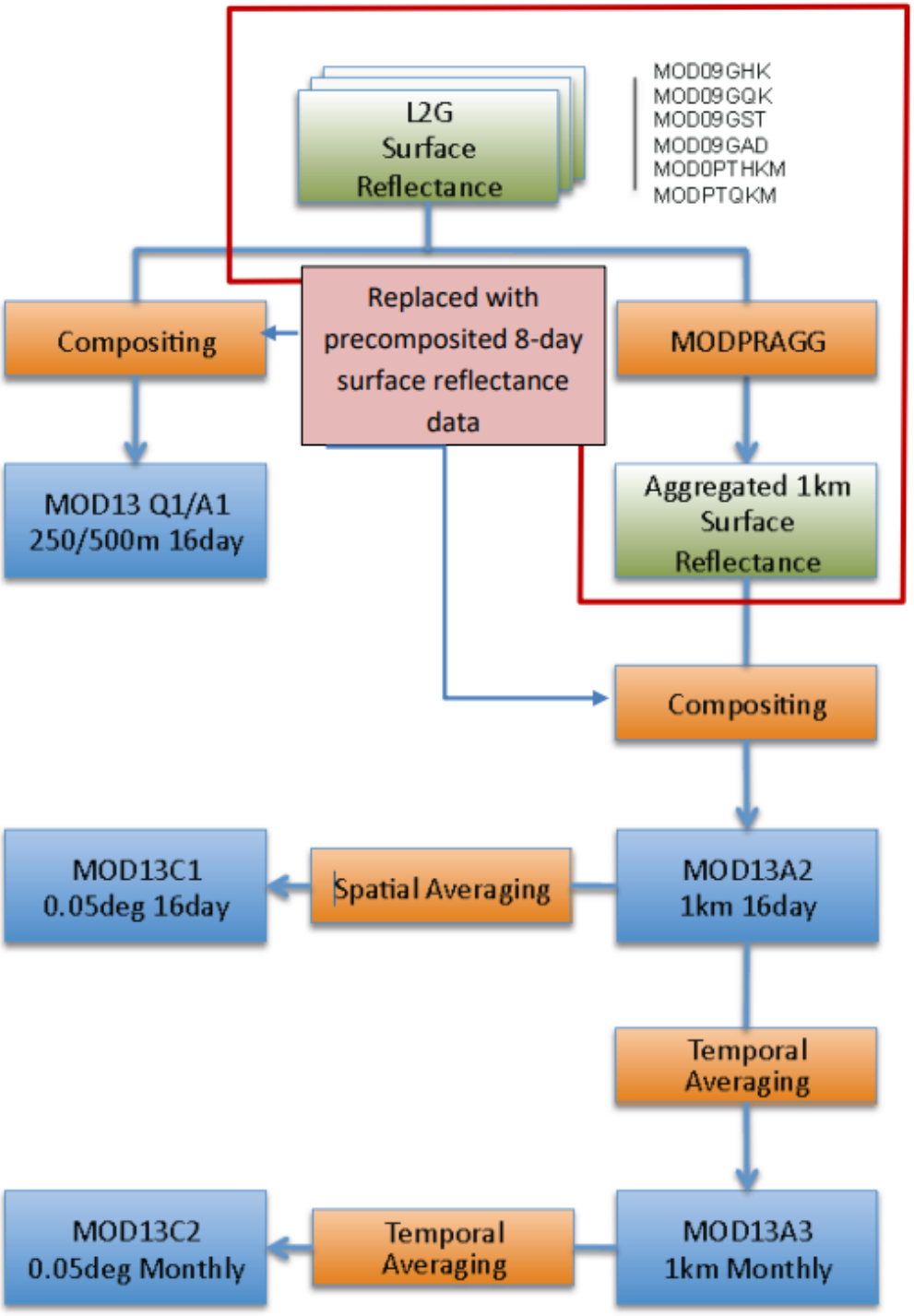
Uma das plataformas que disponibiliza dados via imagens de satélite, é a NASA (National Aeronautics and Space Administration) através dos satélites TERRA e AQUA do produto MODIS (Moderate Resolution Imaging Sperctroradiometer), amplamente utilizado em análises multitemporal de variáveis observacionais de uso e ocupação da superfície (Pacheco et al., 2023). Apresenta altíssima eficácia e precisão no monitoramento ambiental de corpos vegetais, tanto em amplitude regional como global, devido a sua resolução temporal de 1 a 2 dias, sendo ainda que alguns de seus produtos disponibiliza composição temporal a partir da melhor reflectância do pixel (Didan; Munoz, 2019).

O EVI é um dos dados produzidos pelo produto MODIS, através do MOD13. Gerado globalmente sob resolução de 1 km e 500m em 16 períodos de composição diurna, levando em consideração que o EVI é mais responsivo às estruturas oriundas do dossel, incluindo Índice de Área Foliar (IAF), copa, características fisionômicas da planta e arquitetura do dossel (Huete et al., 2002).

O produto MOD13 (Índice de vegetação) foi lançado em 1999 a bordo da plataforma Terra inicialmente e posteriormente também foi incluído na plataforma Aqua, no ano de 2002, opera com 36 bandas espectrais, distribuídas nas faixas do espectro eletromagnético, com resolução temporal de 2 dias. O produto MOD13A1, versão 6 fornece dados de IV por pixel com resolução de 500m (MODIS, 2023), fornecendo duas camadas *raster*, entre elas o Índice de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

e o EVI (Didan; Munoz, 2019) (Figura 1).

Figura 1-Visão geral do conjunto de produtos MODIS VI e algoritmos de processamento.



(**Fonte:** Didan e Munoz, 2019)

Com o propósito de corrigir as falhas que o NDVI deixa, o EVI é gerado a partir da reflectância do vermelho, infravermelho e azul (Pacheco et al., 2023), dissociando as influências do solo e atmosfera do sinal da vegetação, incluindo um feedback para correção.

A seguir, a fórmula utilizada na geração do produto MOD13A1 de acordo com Didan e Munoz, 2019:

$$EVI = G\frac{NIR - Red}{NIR + C1Red - C2Blue + L}$$

em que: NIR, vermelho e azul são total ou parcialmente corrigidos pela atmosfera; L (L=1) é o ajuste de fundo do dossel; C1 (C1=6) e C2 (C2=7,5) são os coeficientes do termo de resistência ao aerossol e G (G=2,5) é um fator de escala.

3.5.2 Evapotranspiração (ET)

A evapotranspiração (ET) é um parâmetro de extrema importância nos estudos em que tem como princípio a análise de interações entre solo, vegetação e a atmosfera, sendo ainda parte central das medições de energia superficial e hídrica (Liu et al., 2013), a qual correlaciona os fluxos de água e energia do sistema terrestre, tornando-se crucial na análise de demanda evaporativa para secas hidrológicas e agrícolas (Zhao et al., 2019). Diversos fatores, como o teor de humidade presente no solo, a produtividade da vegetação em determinada área, os nutrientes presentes no ecossistema e os percentuais hídricos, são influenciados pela ET. Analisar a ET é uma estratégia essencial e necessária quando se estuda mudanças climáticas e suas interações com a cobertura terrestre, sendo demasiadamente importe avaliar suas características nas diferentes coberturas superficiais (Liu et al., 2013), como também seu conhecimento é fundamental em estudos de produtividade da água, pesquisas agrícolas e dinâmica de ciclos hidrológicos (Venancio et al., 2019).

A estimativa da ET é complexa pois tem como variáveis determinantes, as condições do clima, como radiação solar, temperatura do ar e velocidade do vento (Luo et al., 2018), como também das características e condições da planta, que por sua vez são impactadas pelo abastecimento hídrico e nutricional (Allen et al., 1998; Zhao et al., 2019).

A evapotranspiração de cultura (ETc) pode ser medida diretamente ou estimada, entretanto, independentemente do método utilizado, deve-se levar em consideração a precisão requerida, o custo (quando for o caso) e a adequabilidade às condições da área

de estudo. Estas ainda, podem ser derivadas de diversos sistemas de medição, entre eles aqueles que utilizam técnicas a partir de imagens de satélite. Os métodos a partir de medições em campo, muitas vezes, podem ser limitados, caros e trabalhosos, o que justifica o recente aumento da integração de dados via sensoriamento remoto orbital (Zhao et al., 2019), visto que é uma técnica considerada menos onerosa, com grande alcance espacial, proporcionando assim, maior facilidade na estimativa do consumo de água pela vegetação (Consoli; Vanella, 2014).

A ET é uma das grandes responsáveis pela perda de água na agricultura, se tornando assim imprescindível sua correta determinação, para que não haja uso inadequado desse recurso (Almeida et al., 2010; Rana et al., 2001) vital para a vida terrestre e para minimizar o estresse hídrico e baixa produtividade na lavoura, reduzindo a possibilidade de prejuízo. Essa perca de água ocorre, segundo Martins et al. (2017), justamente pelos elementos que compõem a ET, que são a evaporação (correndo na superfície do solo) e a transpiração (que ocorre pelo dossel da planta). De acordo com Rodrigues e Pruski (2019) a evaporação é um fenômeno físico determinante da passagem de fase da água de seu estado líquido para o gasoso e quando em um sistema produtivo vegetal, esse processo é considerado não benéfico, uma vez que não contribui para a produção. Esta é influenciada pelas condições físicas da superfície, tendendo ser reduzida em sistema que obtém boa condição de cobertura vegetal quando comparada a áreas de pastagem degradada. Já a transpiração é o processo de transferência de água da planta na forma de vapor para a atmosfera, sendo considerada uma retirada benéfica de água do sistema pois, quando associada à cultura de interesse, contribui para o aumento da produção. Em seu trabalho sobre cultura de milho Klocke et al. (1985) observaram que que a evaporação representa em média 30% da evapotranspiração ocorrente nessa cultura. Rodrigues et al. (1997) a partir de estudos sobre produção de feijão em solos argilosos, observaram que até o ponto de atingir a cobertura total do solo, a evaporação representa 49,3 e 53,9% da evapotranspiração com frequência de irrigação de 5 a 10 dias respectivamente. Após a compreensão desse processo, diversos modelos foram criados para possibilitar a estimativa da ET, a partir da separação desses componentes (Allen et al., 1998; Steduto et al., 2009).

A ET consiste em um componente do balanço de energia, através do calor latente de evaporação, resultante da evaporação da água do solo e transpiração da água das plantas, como resultado da transformação do saldo de radiação em calor sensível e latente do ar e aquecimento do solo (Coelho et al., 2000; Medeiros et al., 2021).

O produto MODIS disponibiliza através do MOD16A2 presente no satélite Terra, dados referentes a evapotranspiração líquida, baseado em dados de evaporação do solo, da chuva interceptada pela copa das plantas antes de atingir o solo e a transpiração realizada através dos estômatos das folhas e caules. Esse produto pode ser usado na determinação do balanço hídrico e energético regional, o estado da água presente no solo, subsidiando trabalhos voltados para a gestão dos recursos hídricos, como também, a longo prazo, embasa pesquisas sobre os efeitos das mudanças climáticas no uso e ocupação da superfície terrestre, entre outros (MODIS, 2023b; Running et al., 2019).

O conjunto de dados MOD16 ET são estimados usando o modelo aprimorado em Mu et al. (2013) e é baseado na equação de Penman-Monteith (Monteith, 1965). A versão 6 desse produto é um conjunto de dados composto de oito (soma dos oito dias) dias com resolução de pixel de 500 m. Sua estrada de dados é baseada em reanálise meteorológica diária junto com produtos de dados de sensoriamento remoto do espectro radiômetro de imagem de resolução moderada (MODIS) como dinâmica de propriedades da vegetação, albedo e cobertura do solo (MODIS, 2023b; Correndo et al., 2017).

3.5.3 Produtividade Primária Bruta/Gross Primary Production (GPP)

Nas últimas décadas de acordo com o IPCC (2023) a constante emissão de gases de efeito estufa a partir da queima de combustíveis fósseis durante um período superior a um século, levou o planeta a um aquecimento de 1,1°C acima dos níveis pré-industriais, resultando em eventos climáticos extremos mais frequentes e mais intensos, causando ainda mais impactos severos ao meio ambiente e as pessoas. Ondas de calor e chuvas cada vez mais intensas, juntamente com outros extremos climáticos, tendem a aumentar ainda mais os riscos à saúde humana e os ecossistemas. Prevê-se aumento de insegurança alimentar e hídrica. Na última década, estimou-se que as mortes causadas por inundações, secas e tempestades foram aproximadamente 15 vezes mais elevadas em regiões mais vulneráveis.

Atividades voltadas ao agronegócio como agricultura, silvicultura e outros usos da terra, são consideradas fontes líquidas de grande emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) (Arévalo et al., 2023), o que vem a gerar uma contribuição de até 23% nas emissões antropogênicas de CO_2 (dióxido de carbono), CH_4 (metano) e N_2O (óxido nitroso) combinados como equivalentes de CO_2. Acredita-se que os aumentos das emissões, devido às mudanças climáticas, futuramente podem vir a neutralizar os sumidouros potenciais

por consequência de fertilização com CO_2. A disponibilidade de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, pode limitar a posteriori o crescimento vegetal, como comprometer o armazenamento de carbono (IPCC, 2019).

O CO_2 tem função de extrema importância para o metabolismo de plantas e para o equilíbrio do clima global, quando sua origem seja advinda de processos naturais, entretanto, sabe-se que o aumento exponencial dos níveis de CO_2 atualmente se dá a ações antrópicas (Silva et al., 2023).

O processo de captação do CO_2 pelos organismos autotróficos (plantas) ocorre através da fotossíntese por meio da energia solar, produzindo carboidratos essenciais para a vida vegetal. Esse processo ocorre através de duas fases, a primeira de caráter fotoquímico tem a função de converter energia luminosa em química, já a segunda com caráter bioquímico, ocorrem os processos de assimilação do carbono, desde a fixação do CO_2 até a produção de carboidratos. Esse processo é conhecido como rota C3 (Ciclo de Calvin-Benson), pois o primeiro produto estável é uma molécula de três carbonos (Martinotto et al., 2006; Pimentel, 1998). No ciclo C3 encontram-se as plantas que fixam e reduzem CO_2 a carboidratos através do ciclo de Calvin (Pimentel, 1998), como por exemplo a soja. Após a evolução de algumas espécies vegetais, desenvolveu-se variações no metabolismo fotossintético evitando a inibição da fotossíntese pelo incício da rota fotorrespiratória, originando as Rotas C4 e CAM (Gowik e Westhoff, 2011). Exemplos de plantas tipo C4 são o milho e a cana-de-açúcar.

A assimilação líquida do carbono é influenciada por fatores intrínsecos, como a disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes, enzimas e cofatores e extrínsecos referente às condições ambientais como luminosidade, oferta de CO_2 atmosférico, temperatura e disponibilidade de água e nutrientes (Mohotti e Lawlor, 2002). Além de fatores abióticos que influenciam na assimilação de carbono e na produtividade de forrageiras e ainda o manejo de pasto (Ruggieri e Cardoso, 2017).

Um parâmetro fundamental para mensuração e redução dos níveis de CO_2 na atmosfera e assimilação pela vegetação é a GPP, já que o mesmo mensura os níveis de carbono que é sequestrado da atmosfera e convertido em matéria orgânica através da fotossíntese da vegetação e armazenamento no solo, possibilitando ainda verificar a qualidade ambiental desses sistemas e sua eficiência (Veloso et al., 2022), o que o torna, o primeiro passo para que o CO_2 presente na atmosfera, adentre o ecossistema terrestre, tornando posteriormente, um componente essencial de seu ciclo biogeoquímico (Silva et al., 2021). Nesse quesito, o Brasil tem posição de destaque devido ao seu alto potencial

natural de assimilação de carbono, diante da sua diversidade e capacidade vegetal, com destaque para as florestas amazônica e savana (Veloso et al., 2022). Entretanto, o mesmo também é destaque pelas práticas de desmatamento e mudanças de uso e ocupação da superfície terrestre, originando altas emissões de GEE a partir, em sua grande maioria, de ações de expansão agropecuária (IPCC, 2023).

Com o passar dos anos, medições de GPP através de modelos via sensoriamento remoto, tem sido exponencialmente difundido (Chen et al., 2019; Sun et al., 2019), refinamento de sensores a bordo de satélites orbitais, o que permite por sua vez, maiores percisões em análises de dinâmica espaço-temporal e métricas de uso e ocupação da superfície terrestre, embasando maiores compreensões a cerca do comportamento vegetal ao longo de décadas.

Segundo Veloso et al. (2022), métodos eficazes de determinação de GPP a partir do sensoriamento remoto e dados meteorológicos de superfície têm sido desenvolvidos. Diversos sensores são utilizados para este fim, como o Enhanced Thematic Mapper Plus-ETM+, o Thematic Mapper-TM ambos da plataforma Landsat 7, o Operação Land Imager-OLI e Sensores TIRS do Landsat 8. Dentre estes, o MODIS17A2H, baseado em dados do sensor orbital MODIS, tem sido um dos destaques no processamento desses dados, fornecendo dados de GPP para vários ecossistemas. A coleção 6 consiste de um composto cumulativo de oito dias a partir de dados de radiação utilizados como entrada de modelos de dados para determinação da energia terrestre, carbono, processos do ciclo de água e dados biogeoquímicos da vegetação. Com resolução espacial de 500 km e projeção sinusoidal (MODIS, 2023).

O algoritmo utiliza em sua composição, os dados da fração radiação fotossinteticamente ativa (FPAR) a partir do produto MOD15 e estimativas de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e dados meteorológicos de reanálise, o que possibilita o cálculo da GPP em intervalo de tempo diário. Cinco parâmetros são utilizados para determinação da GPP, a eficiência máxima de conversão da radiação, as temperaturas máxima e mínima e os déficits da pressão de vapor máximo e mínimo (Running e Zhao, 2015).

3.5.4 Eficiência de Uso da Água/ Water Use Efficiency (WUE)

Um elemento essencial para a qualidade ambiental das plantas é a disponibilidade de água presente no meio em que está inserida e a capacidade de utilização desse recurso

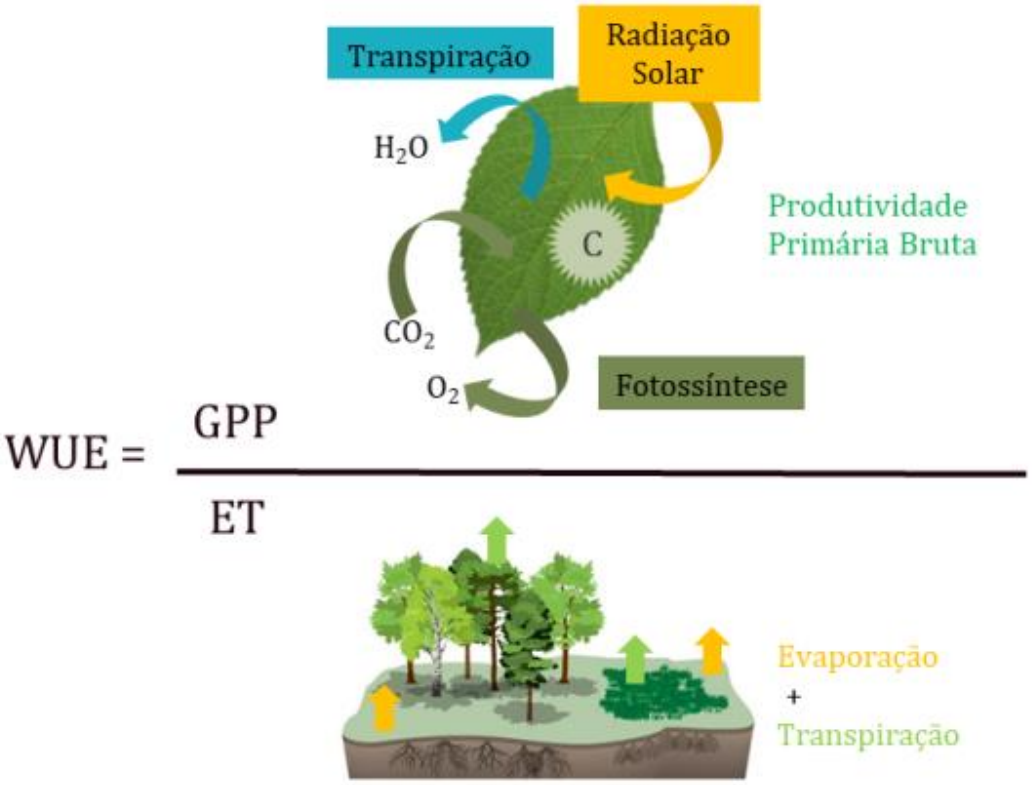
pela planta. Devido as alterações ambientais, comprometendo a disponibilidade de água no planeta, o uso eficiente dessa água passa a ter grande importância não apenas para os seres humanos, más também para as plantas, tornando o estudo da eficiência de uso da água (WUE), segundo Zhang et al., (2015) cada vez mais necessário dentro do contexto de produtividade e equilíbrio ambiental.

Com a implementação da Agenda 2030 o uso eficiente dos recursos naturais passou a ter ainda mais destaque, não ficando de fora, o uso consciente dos recursos hídricos, sendo cobrado dentro dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) a utilização de tecnologias e indicadores mais eficientes em todos os setores (Visentin; Szigethy, 2020). De acordo com Siyal et al., (2021) a agricultura é responsável por 70% da utilização de água doce global e o défict hídrico é o fator limitante da produção agrícola, tornando assim o aumento da produtividade das culturas com redução do consumo de água, essencial para diminuir os impactos negativos e melhorar o uso racional para sistemas de cultvo (Silva et al., 2022).

A WUE demonstra a relação entre a produtividade das plantas e o uso da água, ou seja, é a relação entre a assimilação do carbono obtido a partir da GPP e a perda de água pela vagetação obtida pela Evapotranspiração (ET) (Zhang et al., 2015; Wang et al., 2020). Ainda pode ser definida como o quantitativo de carbono assimilado e o rendimento da cultura por unidade de transpiração (Viets, 1962) ou a proporção de biomassa por H_2O (Sharma et al., 2015) (Figura 2). Melhorar a WUE é considerada uma forma eficaz de reduzir o consumo de água pela planta e otimizar seu gerenciamento (Zhang et al., 2015), se tornando uma informação fundamental nas avaliações de impactos a partir de mudanças climáticas, deficiência, manejo agrícola e gestão da produtividade dos escossistemas (Santiago et al., 2022; Tang et al., 2015).

Segundo Hatfield e Dold (2019) a interferência que as mudanças climáticas possam gerar na WUE, pode ser avaliada através das alterações que essas mesmas mudanças vão gerar no crescimento das plantas e a utilização dos recursos hídricos pela vegetação, isso sendo possível através de análises a nível de folhas, plantas e copa como resposta às mudanças climáticas. O processo ocorrendo a nível de folha, o consumo de água é controlado pela energia disponível incidente na superfície foliar, pelo déficit de pressão de vapor e pela troca aerodinâmica, sendo regulada pela condutância estomática. Enquanto que a nível de copa, os processos estão ligados a troca de energia na superfície do solo e na copa da planta e a perda de água, sendo esta última uma combinação da evaporação da superfície do solo e transpiração da copa da planta, definidas como ET.

Figura 2 - Esquema dos processos referente a Eficiência de Uso da Água (WUE).



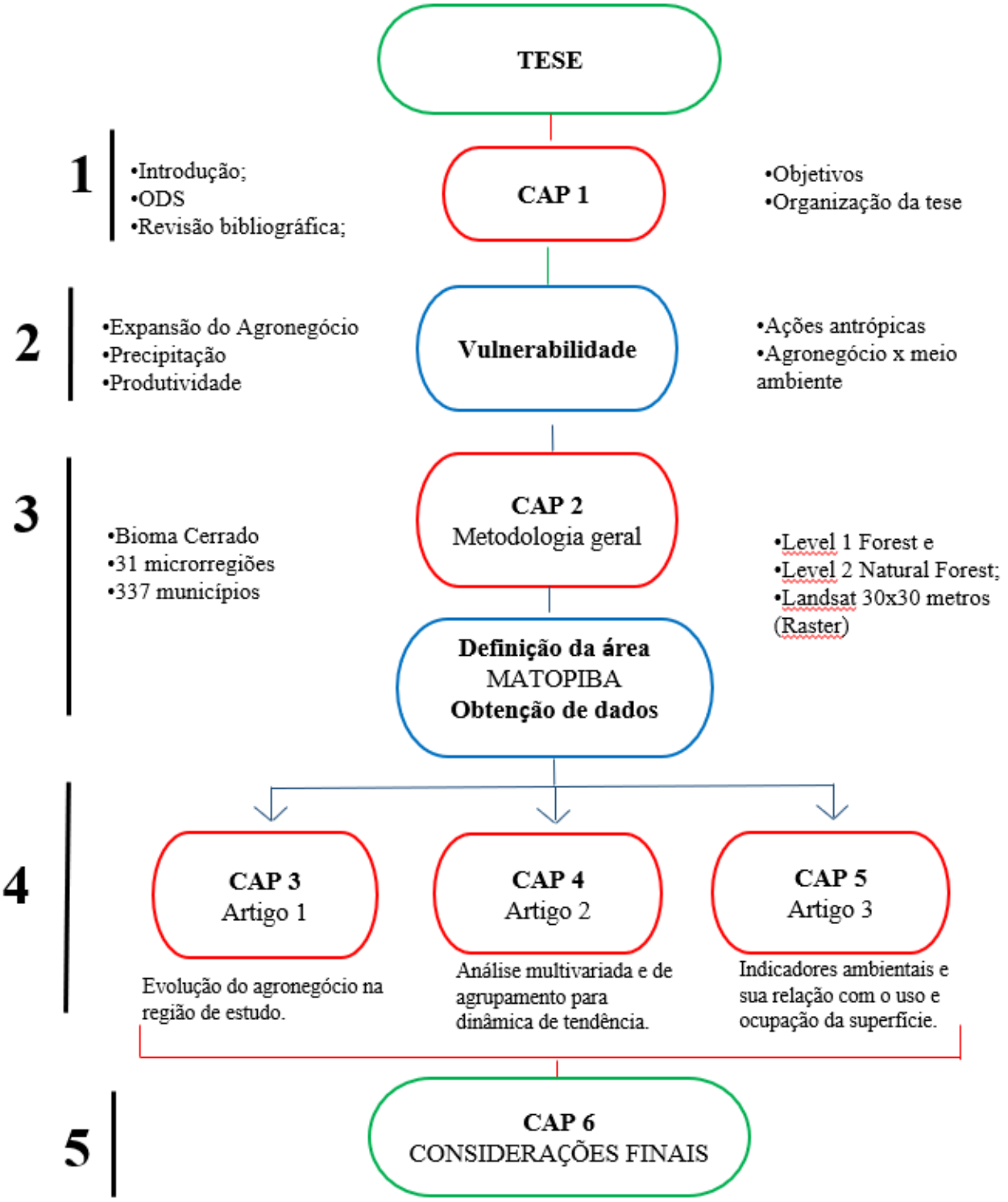
(**Fonte**: Santiago, 2023)

Ao longo dos anos, os estudos na determinação da WUE a nível de folha para identificar a eficiência hídrica foram desestimulados, devido a dificuldade de aumentar a escala do nível de folha para o dossel (Hatfield e Dold, 2019), o que posteriormente vem a favorecer o uso do sensoriamento remoto. A partir do avanço das tecnologias voltadas ao monitoramento de áreas via sensoriamento remoto, se permitiu a partir de dados de produtividade e dados meteorológicos, o estudo e estimativas de uso eficiente dos recursos hídricos no meio ecológico e agropecuário. Segundo Tomlinson et al., (2011) o sensoriamento remoto possibilita a utilização de metologias consistentes e repetíveis, sendo apliváveis tanto para estudos piloto rápidos como para monitoramentos a longo prazo. Esse avanço permitiu o uso de grandes quantidades de dados a partir de imagens orbitais para embasamento da detecção da WUE.

4. DELINEAMENTO DA PESQUISA

A documento final da pesquisa de tese foi elaborado da seguinte maneira: O CAPÍTULO 1 apresenta a introdução contendo em conjunto os objetivos, as ODS, e a revisão bibliográfica. No CAPÍTULO 2 apresenta-se a metodologia geral. Já no CAPÍTULO 3, um breve diagnóstico da evolução do agronegócio na região de estudo, com consequências parciais deste para a composição florestal natural. No CAPÍTULO 4 buscou-se demonstrar o nível de alteração florestal ocorrido no período de 1985 a 2019, a partir de técnicas de análise multivariada, no qualfoi usada a análise de agrupamento pelo método hierárquico aplicada aos valores de estrutura florestal natural, assim como foram realizados os testes de homogeneidade de Pettitt, tendência de Mann-Kendall e Sen's para avaliar a tendência e comportamento das variáveis. O CAPITULO 5 objetiva analisar e entender a variabilidade de indicadores ambientais e como eles estão associados às mudanças de uso e cobertura da superfície na região do MATOPIBA, assim como as relações de causa e efeito das ações antrópicas às mudanças causadas e identificar as culturas agrícolas produzidas. No CAPÍTULO 6 estão apresentadas as considerações finais da tese. Por fim, em anexos estão demonstradas as primeiras páginas dos artigos publicados da tese e a qualificação de doutorado. Na figura 3 é apresentado o esquema da estrutura da tese.

Figura 3 - Esquema da estrutura da tese.



(**Fonte:** Autoria própria)

5.REFERÊNCIAS

Allen, R. G. et al. Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Roma, Italy: **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 1998.

Almeida, B. M.; Araújo, E. M.; Cavalcante Junior, E. G.; Oliveira, J. B.; Nogueira, B. R. C. Comparação de métodos de estimativa da ET0 na escala mensal em Fortaleza, CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.4, n.2, p.93–98, 2010.

Arruda, V. L. S.; Piontekowski, V. J.; Alencar, A.; Pereira, R. S.; Matricardi, E. A. T. An alternative approach for mapping burn scars using Landsat imagery, Google Earth Engine, and Deep Learning in the Brazilian Savanna. **Remote Sensing Applications**: Society and Environment, v.22, 2021. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100472 Acesso em: 03 fevereiro 2024.

Baeza, S.; Vélez-Martin, E.; De Abelleyra, D.; Banchero, S. Gallego, F.; Schimbeck, J.; Veron, S.; Vallejos, M.; Weber, E.; Oyarzabal, M.; Barbieri, A.; Petek, M.; Guerra, L. M.; Saeeailhé, S.; Baldi, G.; Bagnato, C.; Bruzzone, L.; Ramos, S.; Hasenack, H. Two decades of land cover mapping in the Rio de la Plata grassland region: the MapBiomas Pampa initiative**. Remote Sensing Applications:** Society and Environment, v.28. 2022. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100834 Acesso em 05 dezembro 2022.

Bayma, A. P. Análise do potencial de séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no bioma cerrado. 2015**.** 99p. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília.

Blain, G. C. Considerações estatísticas relativas a seis séries mensais de temperatura do ar da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia.** v. 26, n. 2, p. 279-296, 2011. Disponível em https://doi.org/10.1590/S0102-77862011000200012 Acesso em: 18 fevereiro 2022.

Blanco, L. S; Carvalho, F. T; Santos, J. L. A. dos; Pereira, V. H. M; Deves, B. DI S. Agronegócio e suas repercussões no MATOPIBA. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v. 15, n. 2. 2021. Disponível em https://doi.org/10.22478/ufpb.1982-3878.2021v15n1.58897 Acesso em: 25 fevereiro 2022.

BRASILAGRO. Disponível em: https://www.brasilagro.com.br/conteudo/o-agronegocio-responde-por-211-do-pib-brasileiro.html Acesso em 05 outubro 2020.

Centeno, L. N.; Cecconello, S. T.; Guedes, H. A. S.; Timm, L. C.; Andreazza,

R.; Leandro, D. Análise multivariada aplicada aos parâmetros de qualidade da água do rio Piratini/RS. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade,** v.2, n.2, p.45-51. 2016.

Chen, S.; Yuefei, H.; Shuai, G.; Guangqian, W. "Impact of Physiological and Phenological Change on Carbon Uptake on the Tibetan Plateau Revealed through GPP Estimation Based on Spaceborne Solar-Induced Fluorescence." **Science of The Total Environment,** p.45–59 (Circular Técnica n. 40). 2019.

CMIP6— A próxima geração de modelos climáticos explicada. **Carbon Brief.** 2021. Disponível em <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of- climate-models-explained > Acesso em: 03 março 2021.

Coelho, E. F.; Sousa, V. F. de.; Aguiar Netto, A de. O.; Oliveira, A. S. de. Manejo de irrigação em fruteiras tropicais. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 48p. 2000.

CNA - Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil- 2021. Panorama do agro. Disponível em https://www.cnabrasil.org.br/cna/panorama-do-agro Acesso em: 12 março 2022.

CNA. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. PIB do agronegócio. Disponível em: https://cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/CNA-PIB-DO-AGRO-21DEZ2023.pdf Acesso em: 29 janeiro 2023.

Consoli, S.; Vanella, D. Mapping crop evapotranspiration by integrating vegetation indices into a soil water balance model. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 143. 2014.

Correndo, S.; Mu, Q.; Zhao, M. (2017). MOD16A2 MODIS/Terra Net Evapotranspiração 8 dias L4 Global 500m SIN Grid V006 [Conjunto de dados]. Centro de arquivo ativo distribuído de processos terrestres EOSDIS da NASA. Disponível em https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD16A2.006 Acesso em 24 outubro 2023.

Didan, K.; Munoz, A. B. MODIS VegetationIndex User's Guide (MOD13Series). 2019. Disponível em < https://modis-land.gsfc.nasa.gov/pdf/MOD13_User_Guide_V61.pdf > Acesso em 15 junho 2023.

EMBRAPA — MATPOPIBA, caracterização, agendas e agência. 2015. Disponível em https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/gite/projetos/matopiba/matopiba.htmlAcesso em 28 abril 2021.

EMBRAPA. Trajetória do Agro. 2022. Disponível em https://www.embrapa.br/documents/10180/79759920/Trajet%C3%B3ria+do+Agro.pdf/

3be929da-b29d-8749-1cbf-ae4c45bc4308 Acesso em 29 janeiro 2023.

EMBRAPA—Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE). 2021. Disponível em https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/gite/quem/index.html Acesso em 27 abril 2021.

Eyring, V.; Bony, S.; Meehl, G. A.; Senior, C. A.; Stevens, B.; Stouffer, Fearnside, P.M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta amazônica**, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006. Disponível em https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000300018 Acesso em 28 abril 2021.

Feitosa, M. M.; Lemos, J. J. S.; Campos, K. C. Simulações para produzir soja de forma sustentável na região do MATOPIBA. **Revista Desenvolvimento Regional em Debate,** v. 10, p.196-221. 2020. Disponível em https://doi.org/10.24302/drd.v10i0.2629 Acesso em 30 abril 2021.

Ferreira, A. B. R.; Toledo, M. R.; Pereira, G.; Resende, F. C. O agronegócio no Brasil: uma breve revisão histórica e conceitual. **Revista Interdisciplinaria de Estudios Agrarios**, n.50. 2019.

Florenzano, T.G. Iniciação em Sensoriamento Remoto. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 100 p.

Foley, J. A. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, p. 570-574, 2005.

Garcia, J. R.; Vieira Filho, J. E. R. O papel da dimensão ambiental na ocupação do MATOPIBA. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, n35. 2018.

Garrett, R. D.; Koh, I.; Lambin, E. F.; Le Polain De Waroux, Y.; Kastens, J. H.; Brown, J. C. Intensification in agriculture-forest frontiers: land use responses to development and conservation policies in Brazil. **Glob. Chang. Biol**. 53, 233–243. 2018. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.09.011 Acesso em 21 agosto 2022.

Gowik, U.; Westhoff, P. The path from C3 to C4 photosynthesis. Plant Physiology, Minneapolis, v. 155, n. 1, p. 56–63, Jan. 2011.

Gräler, B.; Pebesma, E.; Heuvelink, G. Spatio-temporal interpolation usinggstat. **RFID Journal**, v. 8, n. 1, p. 204-218, 2016.

Groppo, J. D.; Moraes, J. M.; Bedushi, C. E.; Martinelli, L. A. Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas. **Geociências.** v. 24, n. 2, p. 181- 193, 2005.

Hatfield, J. L.; Dold, C. Water-Use Efficiency: Advances and Challenges in a Changing Climate. **Frontiers in Plant Science**, v10. 2019.

Helsel, D. R.; Hirsch, R. M. Statistical Methods in Water Resources. **Techniques of**

Water Resources Investigations of United States Geological Survey – USGS. Capítulo3. 524p. 2002. Disponível em https://pubs.er.usgs.gov/publication/twri04A3 Acesso em 01 outubro 2021.

Huete, A. Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E. P.; Gao, X.; Ferreira, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, n.1-2, p.195-213, 2002. Disponível em https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2 Acesso em 23 outubro 2021.

IPAM — Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. Disponível em https://ipam.org.br/cerrado-perdeu-quase-30-milhoes-de-hectares-em- vegetacao-nativa-em-35-anos/ Acesso em 17 setembro 2020.

IPCC - Intergovernamental Panel on Climate Change. Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115.

IPCC—Intergovernamental Panel on Climate Change. 2019. Disponível em < https://www.ipcc.ch/ > Acesso em 03 março 2021.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - A dinâmica demográfica e a pandemia: como andará a população brasileira? Rio de Janeiro: Ipea. 2023.

IPEA— Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - A sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos,políticas públicas e desafios. Rio de Janeiro: Ipea. 2012.

Iri, I.R. Introduction to Remote Sensing for Monitoring Rainfall, Temperature, Vegetation and Water Bodies . **Earth Institute at Columbia University**. 2010.

Jung, J.; Maeda, M.; Chang, A.; Bhandari, M.; Ashapure, A.; Landivar-Bowles, J. The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. **Current Opinion in Biotechnology,** v.70. 2021. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.09.003 Acesso em 21 abril 2022.

Klocke, N. L.; Heermann, D. F.; Duke, H. R. Measurement of evaporation and transportation with lysimeters. **Transactions of the ASAE**, v. 28, n. 1, p. 183– 0189, 1985.

Landim, P. M. B.; Sturaro, J. R. Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos. **Geomatemática, Texto Didático 6, DGA, IGCE,UNESP**/Rio Claro, 2002.

Lemos, J. J. S. Efeitos da expansão da soja na resiliência da agricultura familiar no

Maranhão. **Revista de Política Agrícola**, v. 24, n. 2, p. 26-37, 2015.

Lima, M.; Silva Junior, C. A.; Rausch, L.; Gibbs, H. K.; Johann, J. A. Demystifying sustainable soy in Brasil. **Land Use Policy**, pp.349-352. 2019.

Liu, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. 2 edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.12.016 Acesso em 07 abril 2022.

Liu, Y; Tian, J.; Liu, R.; Ding, L. Influences of Climate Change and Human Activities on NDVI Changes in China. **Remote Sensing,** v. 13, n. 4326, 2021. Disponível em http://dx.doi.org/10.3390/rs13214326 Acesso em: 15 março 2023.

Liu, Y.Y.; Evans, J.P.; McCabe, M.F.; Jeu, R.A.M.d.; Dijk, A.I.J.M.v.; Dolman, A.J.; Saizen, I. Changing Climate and Overgrazing Are Decimating Mongolian Steppes. PLoS ONE, v.8. **2013**.

Luo, C.; Wang, Z.; Sauer, T. J.; Helmers, M. J.; Horton, R. Portable canopy chamber measurements of evapotranspiration incorn, soybean, and reconstructed prairie. **Agricultural Water Management**, v.198. 2018.

Machado, G. C. Agronegócio brasileiro: importância e complexidade do setor CEPEA-Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Departamento de Economia, Administração e Sociologia. 2021. Disponível em https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opiniao-cepea/agronegocio-brasileiro-importancia-e-complexidade-do-setor.aspx Acesso em: 29 janeiro 2023.

MAPBIOMA—MapBiomas General "Handbook": Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)— Collection 5. 2020. Disponível em < https://mapbiomas.org/atbd---entenda-cada-etapa> Acesso em: 19 maio 2021.

MAPBIOMAS – Coleção [5.0] da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível online em https://plataforma.mapbiomas.org/ Acessado em: 23 set. 2020.

MAPBIOMAS-Relatório Anual de Desmatamento 2022-São Paulo, Brasil, 125pp. 2023. Disponível em <https://alerta.mapbiomas.org> Acesso em: 20 fevereiro 2023.

MAPA - Ministério da Agricultura e Pecuária- Projeções do Agronegócio: Brasil-2022/23 a 2032/33. 2023. Disponível em https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2022-2023-a-2032-2033.pdf/ Acesso em: 29 janeiro 2023.

Martinotto, C.; Oliveira, L. M.; Paiva, R. O balanço de carbono nas plantas. In: PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. (Ed.). Fisiologia e produção vegetal. Lavras: Universidade Federal

de Lavras, p. 50-70. 2006.

Martins, I. P.; Faria, R. T.; Palaretti, L. F.; Dalri, A. B.; Oliverio, C.; Libardi, L. G. P. Lisímetros De Pesagem Para Medidas De Evapotranspiração Em Estufa. **Irriga**, v. 22, n. 4, p. 715-722, 2017.

MEDEIROS, 2021 <https://www.researchgate.net/publication/356709041_METODOS_PARA_A_ESTIMATIVA_DA_EVAPOTRANSPIRACAO_DE_REFERENCIA_EM_CONCEICAO_DO_ARAGUAIA_E_PLACAS_-_PA>

Medeiros, M. B. C. L.; Rodrigues, F. H. S.; Gomes, A. A. C.; Prévoir, E.; Sousa, P. R.; Santos, W. L.; Moreira, K. A.; Borges, L. S.; Souza, P. J. O. P. De; Lima-Júnior, J. A. Métodos para a estimativa da evapotranspiração de referência em Conceição do Araguaia e Placas – PA. In: Ciências agrárias, indicadores e sistemas de produção sustentáveis, cap.18, p.209-222. 2021.

MMA— Ministério do Meio Ambiente - Download de dados geográficos. 2016. Disponível em: <http://goo.gl/7XI6mc>. Acesso em: 05 julho 2021.

MMA— Ministério do Meio Ambiente - Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado) e Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): fase 2016-2020, v.1, 2 e 3, p184. 2018.

MODIS, 2023 < https://www.umt.edu/numerical-terradynamic-simulation-group/project/modis/mod16.php >

MODIS, 2023b https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/products/MOD13A1#overview Acesso em: 19 outubro 2023.

Mohotti, A.J; Lawlor, D.W. Diurnal variation of photosynthesis and photoinhibition in tea: effects of irradiance and nitrogen supply during growth in the field. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 367, p. 313-322, 2002.

MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. Symposium of the society of experimental biology, 19: 205−224. 1965. Disponível em http://dx.doi.org/10.1093/jexbot/53.367.313 Acesso em : 15 maio 2021.

Novo, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto** – Princípios e Aplicações. Editora Blucher. São Paulo, SP, 363 p. 2008.

Oliveira, J. D. A.; Moura, G. B. A.; Nascimento, C. R.; Lopes, P. M. O.; Nóbrega, R. S. Avaliação de Degradação e Mudanças Ambientais na Bacia Hidrográfica do Alto Ipanema. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 4. 2020. Disponível em

http://dx.doi.org/10.1590/0102-778635406 Acesso em: 21 março de 2023.

Oliveira, L. K. S.; Lopes, R. S.; Santos, W. J. C. Relevance of agribusiness in the brazilian economy. **Research, Society and Development,** v. 11, n. 16. 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i16.38493 Acesso em: 29 janeiro 2023.

Oliveira, V. G.; Silva, M. T.; Santos, C. A. C.; Serrão, E. A. O.; Silva, B. K. N.; Santos, M. R. S.; Corrêa, I. C. P. Variabilidade temporal da coberturadas terras nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Meteorologia,** v36, n1, pp125-136. 2021. Disponível em https://doi.org/10.1590/0102-77863610011 Acesso em: 06 julho 2023.

Olsson, L. H.; Barbosa, S.; Bhadwal, A.; Cowie, K.; Delusca, D.; Flores-Renteria, K.; Hermans, E.; Jobbagy, W.; Kurz, D.; Li, D. J.; Sonwa, L.; Stringer, 2019: Land Degradation. In: Climate Change and Land:an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrialecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson- Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S.Connors, R. Van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.

Pacheco, A. P.; Silva-Júnior, J. A.; Morais, L. M. B.; Moreira, E. B. M. Avaliação de índices de vegetação na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú/PE a partir de séries temporais MODIS MOD13A1. **Caderno de Geografia**, v.33, n.74. 2023. Disponível em < DOI 10.5752/p.2318-2962.2023v33n74p860 > Acesso em: 12 agosto 2024.

Pereira, C. N. Estrutura agrária no MATOPIBA: apontamentos a partir do censo agropecuário de 2017. **Boletim regional, urbano e ambiental**, IPEA, 12p. 2019.

Pettitt, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied Statistics**, v. 28, n. 2, p. 126-135. 1979.

Pimentel, C. Metabolismo de carbono na agricultura tropical. Rio de Janeiro: Edur, 1998. 159p.

Pitta, F. T.; Vega, G. Impacts of agribusiness expansion in the Matopiba region: Communities and the environment. Rede Social de Justiça e Direitos Humanos, **ActionAid**. 1-77. 2017.

Polizel, S. P.; Vieira, R. M. S. P.; Pompeu, J.; Ferreira, Y. C.; Sousa-Neto, E. R.; Barbosa, A. A. Analysing the dynamics of land use in the context of current conservation policies and land tenure in the Cerrado – MATOPIBA region(Brazil). **Elsevier**. 2021. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105713 Acesso em: 12 janeiro 2022.

Poor, E. E.; Shao, Y.; Kelly, M. J. Mapping and predicting forest loss in a Sumatran tiger landscape from 2002 to 2050. J Content courtesy of Springer Nature, terms ofuse apply. Rights reserved. **Environmental Earth Sciences**, p20 of 20 Environ Manage 231:397–404. 2019.

PORTAL BRASIL—Salve o MATOPIBA. 2016. Disponível em < https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/salve-o-matopiba> Acesso em: 28 abril 2021.

Portillo-Quintero, C.; Smith, V. Emerging trends of tropical dry forests loss inNorth and Central America during 2001–2013: The role of contextual and underlying drivers. **Appl Geogr** 95: p58–70. 2018.

Eyring, V.; Bony, S.; Meehl, G. A.; Senior, C. A.; Stevens, B.; Stouffer, R. J.; Taylor, K. E. Overview of the coupled model intercomparison porject phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. **Geoscientific ModelDevelopment.** v.9, p1937-1958. 2016.

Rana, G.; Katerji, N.; Perniola, M. Evapotranspiration of sweet sorghum: A general model and multilocal validity in semiarid environmental conditions. **Water Resources Research**, Washington, v.37, n.12, p.3237-3246, 2001.

Rocha, V. M.; Correia, F.W.; Fialho, E.S. A Amazônia frente às mudanças no uso da terra e do clima global e a importância das áreas protegidas na mitigação dosimpactos: um estudo de modelagem numérica da atmosfera- doi:10.5654/actageo2012.0002.0002. **Acta geográfica**, p. 31-48. 2012. Disponível em http://dx.doi.org/10.5654/actageo2012.0002.0002 Acesso em: 21 março 2020.

Rodrigues, A.; Fachel, J. M. G.; Passuello, A. C. Estatística espacial e análisede cluster em dados de desastres naturais: mapeamento das inundações no Rio Grande do Sul entre 2003 e 2009. **Revista Iniciação Científica**, v. 10, n. 1, p. 48-67. 2012.

Rodrigues, L. N; Mandovani, E. C.; Ramos, M. M.; Sediyama, G. C. O modelo de Ritchie na determinação da evapotranspiração do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) irrigado. **Ceres**, v. 44, n. 252, 1997

Rodrigues, L. N.; Pruski, F. F. Fundamentos e benefícios do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta para os recursos hídricos. Embrapa Cerrados-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E), 2019.

Rosa, M. R.; Brancalion, P. H. S.; Crouzeilles, R.; Tambosi, L. R.;Piffer, P. R.; Lenti, F. E. B.; Hirota, M.; Santiami, E.; Metzger, J. P. Hidden destruction of older forests threatens Brazil's Atlantic Forest and challengesrestoration programs. **Science Advances**, v7. 2021.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA. 1973.

Rudorff, B.; Risso, J. Análise geoespacial da dinâmica das culturas anuais no Bioma Cerrado. **Agrosatélite Geotecnologia Aplicada Ltda**. 2015.

Ruggieri, A. C.; Cardoso, A. S. Balanço de carbono em sistemas de produção animal: fontes de emissão e opções de mitigação. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**. v. 25. 2017.

Running, S., Mu, Q., Zhao, M. MOD17A2H MODIS/Terra Gross Primary Productivity 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. 2015. Disponível em <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD17A2H.006> Acesso em: 06 dezembro 2023.

Santiago, D. B. S.; Barbosa, H. A.; Correia-Filho, W. L. F.; Oliveira-Júnior, J. F. Interactions of Environmental Variables and Water Use Efficiency in the Matopiba Region via Multivariate Analysis. **Sustainability** 2022, 14, 8758. Disponível em https://doi.org/10.3390/su14148758 Acesso em: 02 julho 2023

Santos, C. A. G.; Nascimento, T. V. M.; Silva, R. M. Analysis of forest coverchanges and trends in the Brazilian semiarid. 2020. Environmental Earth Sciences. Salmona, Y. B. Cerrado com C ou com S? Modelagem de cenários futuros para o bioma.Dissertação (Mestrado)-Engenharia Florestal. Universidade de Brasília, Brasília (DF) Brasil. 2013.

Santos, T. O.; Andrade-Filho, V. S.; Rocha, V. M.; Menezes, J. S. Os impactos do desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia brasileira: um estudo de revisão. **Revista Geográfica Acadêmica,** v.11,n.2. 2017.

Sen, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. **J Am Stat Assoc**, 63, pp.1379–1389. 1968.

Sharma, B.; Molden, D.; Cook, S. Water use efficiency in agriculture: Measurement, current situation and trends. 2015.

Shiratsuchi, L.S.; Brandão, Z.N.; Vicente, L.E.; Victoria, D.D.C.; Ducati, J.R., Oliveira, R.P.; Vilela, M.D.F. Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. In: **Agricutura De Precisão: Um Novo Olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, p. 307-313, 2014.

Silva, J. N. B.; Galvíncio, J. D.; Miranda, R. Q.; Besera, M. S. Modelos da Produtividade Primária Bruta em área de floresta tropical em sazonalmente seca, usando dados reflectância da vegetação de caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.06. 2021. Disponível em http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.6.p3775-3784 Acesso em:

22 outubro 2023.

Silva, W. A.; Deus, L. A. B. De. Análise das mudanças de uso e cobertura da terra e planejamento regional no MATOBIBA. **Revista Tocantinense de Geografia**, v. 12, n. 27. 2023. Disponível em http://dx.doi.org/10.20873/rtg.v12i27.15281 Acesso em: 06 julho 2023.

Silva, C. A. F. da; Monteiro, J. L.G. A geografia regional do Brasil. **Rio de Janeiro: Co nsequência.** 2020.

Siyal, A. S.; Mao, X.; Liu, Y.; Ao, W.; Jiang, Z.; Wahab, N.; Ran, C.; Zhang, R.; Liu, G.; Dai, J. Pellet production from furfural residue and sawdust: Evaluating the characteristics and quality of pellets and their dependency on process parameters. **Biomass and Bioenergy**, v149. 2021. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106087 Acesso em: 03 fevereiro 2022.

Sparovek, G.; Freitas, F. L. M.; Barretto, A. G. O. P.; Sbitkowski, A. L. **Evolution of the MapBiomas initiative**. 2019. Disponível em <https://mapbiomas.org/categoria/106-relatorios> Acesso em: 19 maio 2021.

Spera, S. A. Galford, G. L.; Coe, M. T.; Macedo, M. N.; Mustard, J. F. Land use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. **Glob ChangBiol**, 22p. 2016.

Steduto, P. et al. AquaCrop - The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 3, p. 426–437, 2009.

Sun, Z.; Wang, X.; Zhang, X.; Tani, H.; Guo, E.; Yin, S.; Zhang, T. "Evaluating and Comparing Remote Sensing Terrestrial GPP Models for Their Response to Climate Variability and CO2 Trends." **Science of The Total Environment** 668: 696–713. 2019. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.025 Acesso em: 23 setembro 2022.

Tang, X.; Li, H.; Desai, A.R.; Nagy, Z.; Luo, J.; Kolb, T.E.; Olioso, A.; Xu, X.; Yao, L.; Kutsch, W.; et al. How Is Water-Use Efficiency Of Terrestrial Ecosystems Distributed And Changing On Earth? Sci. Rep. 2015.

Tomlinson, C. J.; Chapman, L.; Thornes, J. E.; Baker, C. Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: A review. **Meteorological Applications**, v. 18, n. 3, p. 296-306, 2011.

Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment,** v. 8, n. 2, p. 127–150, 1979.

Um, Q.; Zhao, M.; Running, S. W. MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (NASA MOD16A2/A3). Algorithm Theoretical Basis Document Collection 5.

2013.

Vasconcelos, B. R.; Lima, M. T. V.; Paranhos-Filho, A. C. Detecção de mudanças no uso e ocupação do solo no estado do Amazonas baseada nas classificações do projeto MapBiomas. **Geofronter,** v. 10. 2024**.** Disponível em https://doi.org/10.61389/geofronter.v10.7773 Acesso em: 12 março de 2024.

Veloso, G. A.; Ferreira, M. E.; Silva, B. B.; Silva, L. A. P. Por uma maior eficiência das pastagens brasileiras: análise da Produtividade Primária Bruta com o modelo CASA-SEBAl e dados de satélite. Caderno de Geografia, v.32, n.71, 2022. Disponível em DOI 10.5752/p.2318-2962.2022v32

Venancio, L. P.; Cunha, F. F.; Mantovani, E. C.; Amaral, C. H.; Reis, E. F. Evapotranspiração de cultura: uma abordagem dos principais métodos aplicados às pesquisas científicas e na agricultura**. Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 4. 2019.

Viana, R. S. M. O uso da geoestatística espaço-temporal e aprendizagem demáquina na predição da temperatura máxima do ar. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Viçosa, pp.123. 2019.

Vieira, R. M. S. P.; Tomasella, J.; Barbosa, A. A.; Polizel, S. P.; Ometto, J. P. H. B.; Santos, F. C.; Ferreira, Y. C.; Toledo, P. M. Land degradationmapping in the MATOPIBA region (Brazil) using remote sensing data and decision-tree analysis. **Science of the Total Environment**. 2021.

Viets, F. G. Fertilizers and the efficient use of water. Advances in agronomy, 14, 223-264. 1962.

Visentin, J. C.; Szigethy, L. Eficiência no uso de água: Brasil e um panorama internacional. Radar 64. 2020. Disponível em http://dx.doi.org/10.38116/radar64art4. Acesso em 12 março 2023.

Wang, J.; Sun, T.; Anmin, F.; Hao, X.; Wang, X. Optimization of the time seriesNDVI-rainfall relationship using linear mixed-effects modeling for the anti- desertification area in the Beijing and Tianjin sandstorm source region. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 132, p. 1291- 1301. 2018.

Wang, Jian et al. "Improved Modeling of Gross Primary Productivity (GPP) by Better Representation of Plant Phenological Indicators from Remote Sensing Using a Process Model." **Ecological Indicators** 88: 332–40. 2018.

Wang, L. An analytical reductionist framework to separate the effects of climate change and human activities on variation in water use efficiency. **Sci. Total Environ**. 2020

Yu, F.; Price, K.P.; Ellis, J.; Shi, P. Response of seasonal vegetation development to

climatic variations in eastern central Asia. **Remote Sens. Environ.** v.87. 2003.

Zahran, S. A. E.; Saeed, R. A.; Elazizy, I. M. Remote sensing based water resources and agriculture spatial indicators system. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences**, v.25. 2022.

Zeng, L.; Wandlow, B.; Hu, S.; Zhang, X.; Zhou, G.; Peng, G.; Xiang, D.; Wang, R.; Meng, R.; Wu, W. A Novel Strategy to Reconstruct NDVI Time-Series with High Temporal Resolution from MODIS Multi-Temporal Composite Products. **Remote Sensing.,** v. 12, n. 2397, 2021. Disponível em https://doi.org/10.3390/rs13071397 Acesso em: 23 novembro 2023.

Zeng, L.; Wardlow, B. D.; Xiang, D.; Hu, S.; Li, D. A review of vegetation phenological metrics extraction using time-series, multispectral satellite data. **Remote Sensing of Environment,** v. 237, n. 111511, 2020. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111511 Acesso em: 23 setembro 2023.

Zhang, L.; Tian, J.; He, H.; Ren, X.; Sun, X.; Yu, G.; Lu, Q.; LV, L. Evaluation of Water Use Efficiency Derived from MODIS Products against Eddy Variance Measurements in China. **Remote sensing,** v.7. 2015**.** doi:10.3390/rs70911183.

Zhang, R.; Guo, J.; Liang, T.; Feng, Q. Grassland vegetation phenological variations and responses to climate change in the Xinjiang region, China. **Quaternary International, v.** 513, n. 20, p. 56-65, 2019. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.03.010 Acesso em: 12 fevereiro 2023.

Zhang, Y.; Song, C.; Band, L.E.; Sun, G.; Li, J. Reanalysis of global terrestrial vegetation trends from MODIS products: browning or greening**? Remote Sens. Environ.** v.191. 2017.

Zhao, T.; Wang, Q. J.; Schepen, A. A Bayesian modelling approach to forecasting short-term reference crop evapotranspiration from GCM outputs. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 269-270, p. 88-101, 2019.

CAPÍTULO II

METODOLOGIA GERAL

1.METODOLOGIA GERAL

1.1. Área de estudo

MATOPIBA é formada pelos estados brasileiros de Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, com 73 milhões de hectares de abrangência, constituída por 337 municípios (Figura 1) (Miranda et al., 2022) e população equivalente a 6,3 milhões de habitantes (Pereira, 2019). Composta por três biomas, Cerrado (90,94%), Amazônia (7,27%) e Caatinga (1,64), sendo destes o de maior representatividade o bioma Cerrado, com quase totalidade da área (Miranda et al., 2022).

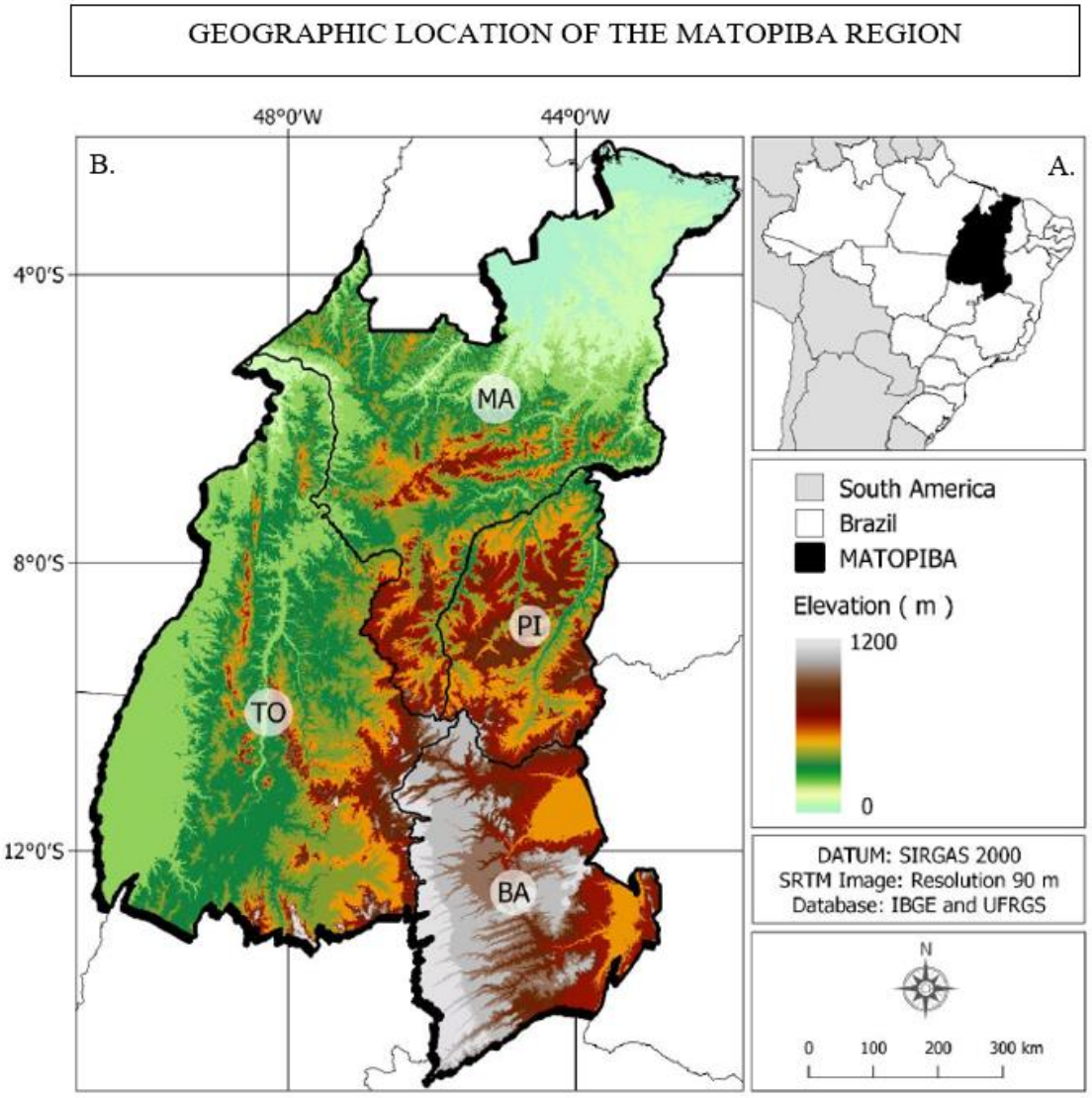
As altitudes da região variam entre 1 e 1254 m acima do nível médio do mar (MSL), com maiores altitudes se concentrando no extremo oeste (W) da Bahia e as menores no Norte (N) do Maranhão (Santiago, 2021). Seu regime de chuva é sazonal, com estações chuvosas que variam de setembro/outubro a abril/maio e valores acima de 900 mm. Já a estação seca de maio a setembro, com valores abaixo de 600 mm. Sua distribuíção pluviométrica varia de acordo com os biomas, devido a grande extensão territorial (Lima, 2011; Nascimento & Novais, 2020). De acordo com Reis et al. (2020) que realizou a espacialização da precipitação mensal entre 1980 a 2013, as maiores acumulações ocorreram nos setores oeste (W), abrangendo parte do estado do Tocantis (TO), com valores médios >150 mm. Já os menores regimes de chuva se concentraram na porção norte (N), com valores médios <25 mm.

Seu clima é tropical úmido com inverno seco (*Aw*), de acordo com a classificação de Köeppen, com temperaturas médias mensais variando de 25 a 27°C em todos os meses do ano. O fenômeno El Niño Oscilação Sul e a variabilidade das temperaturas do Atlântico Tropical têm papel fundamental na alternância entre anos secos e chuvosos, bem como na abrangência espacial dos volumes de chuvas sobre a região (Reis et al., 2020). O solo predominante engloba a classe do Latossolo (L), mais frequênte os Latossolos Amarelos, sendo associados a esses, pequenas frações de Neossolos (Quartzarênico e Litólico) e Plitossolos (Magalhães & Miranda, 2014).

Essa região apresenta boa proporção de terras com alto potencial para o

desenvolvimento de técnicas agrícolas intensivas, equivalente a 26 milhões de hectares (35% do total) classificadas como de aptidão boa e regular (Lumbreras et al., 2015). Conhecida como uma grande fronteira agrícola, tem destaque no monocultivo em larga escala, principalmente de grãos, com destaque para soja, algodão e milho (Alves, 2020; Blanco et al., 2021).

Figura 1 – Demonstração da (A) localização geográfica e (B) elevação da região do MATOPIBA no Brasil e América do Sul.



Fonte: Santiago et al. (2022).

1.2. Medologia

Inicialmente, realizou-se um estudo exploratório baseado em revisão de literatura,

através de um levantameno bibliográfico de artigos científicos e análise dos dados de comportamento do uso e ocupação da superfície da plataforma IPEA (Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia) e MapBioma (Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil) para o período e 2000 a 2019, onde fez-se uma caracterização e interpretação do avanço do agronegócio na região MATOPIBA e demonstração da dinâmica e o conflito entre a expansão das culturas agrícolas (principalmente de soja) e o desequilíbrio ambiental.

Em um segundo momento, para compreensão da dinâmica espaço temporal do uso e cobertura das terras efetuou-se um estudo geoestatístico durante os anos de 1985 a 2019, a partir da análise de agrupamento, testes de Mann-Kendall, Estimador de Sen's Slope e ainda teste de homogeneidade, na área de estudo, distribuída por microrregiões geopolíticas. Foram utilizados dados de formação florestal e formação savânica da coleção 5.0 do MapBiomas, possibilitando a análise da variabilidade espaço temporal da cobertura vegetal presente, amplitude e perda de cobertura da vegetação nativa de cerrado.

Para quantificação da variabilidade espaço-temporal, condições físicas, biológicas e as mudanças ambientais ocorridas, determinou-se os indicadores ambientais de evapotranspiração (ET) pelo MOD16A2, índice de vegetação (EVI) no MOD13A1, produtividade primária bruta (GPP) pelo MOD17A2H e estimou-se a eficiência de uso da água (WUE) ao longo do período de estudo que compreende 2002 a 2022 a partir da equação proposta por Briggs e Shantz (1913). Analizou-se ainda os dados de chuva obtidos a partir do pacote UCSB-CHG/CHIRPS, que fornece dados de precipitação do Climate Hazards Group. E por fim, aplicou-se a análise estatística de coeficiente de correlação de Spearman. As principais equações utilizadas estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Principais esquações utilizadas na pesquisa, referente aos capítulos 4 e 5.

<table>
<tr><th colspan="2">PRINCIPAIS EQUAÇÕES</th></tr>
<tr><th>Equações Cap. IV</th><th>Equações Cap. V</th></tr>
<tr><td>Método de Agrupamento
$SQD_{ii'} = \frac{1}{2} d_{ii'}^2$</td><td rowspan="2">Eficiência de uso da Água (WUE)
$WUE = \frac{GPP}{ET}$</td></tr>
<tr><td>Análise de séries temporais
$S = \sum_{k=i}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} sign\,(x_j - x_k)$</td></tr>
<tr><td>Estimador de inclinação de Sen’s Slope (Sen)
$Q_{i=\frac{x_j - x_k}{j-k}}$ for i = 1..., n</td><td rowspan="3">Coeficiente de Correlação de Spearman
$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} = r_s$</td></tr>
<tr><td>Teste de homogeneidade de Pettitt
$U_k = 2\sum_{i=1}^{k} O_i - k(n+1)$</td></tr>
<tr><td>Estatística do teste de Pettitt
$K(t) = |U_k|$</td></tr>
</table>

A manipulação dos dados e cálculos foram realizados através dos softwares Excel, R versão 4.3.1. e QGIS (Quantum GIS) versão 3.18.3.

2.REFERÊNCIAS

Alves, V. E. L. Expansão do Agronegócio e os Impactos Socioambientais na Região de Cerrados do Centro-Norte do Brasil (Matopiba). **Confins**, São Paulo, n. 45, 2020.

Blanco, L. S.; Carvalho, F. T.; Santos, J. L. A.; Pereira, V. H. M.; Deves, B. D. S. Agronegócio e suas repercussões no MATOPIBA. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v. 15, n. 2. 2021. Disponível em https://doi.org/10.22478/ufpb.1982-3878.2021v15n1.58897 Acesso em: 23 novembro 2024.

Magalhães, L. A., Miranda, E. E. MATOPIBA: Quadro Natural. Nota técnica 5. EMBRAPA. Available at: Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE). 2014. Disponível em https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT5_ Matopiba_Quadro_Natural.pdf. Acesso: 12 fevereiro 2019.

Miranda, E. E.; Magalhães, L. A.; Carvalho, C. A. Nota técnica nº 1: Proposta de Delimitação Territorial do Matopiba. Embrapa.2014. Disponível em https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT1_DelimitacaoMatopiba.pdf Acesso em: 18 novembro 2024).

Lumbreras, J. F.; Carvalho Filho, A.; Motta, P. E. F.; Barros, A. H. C.; Aglio, M. L. D.; Dart, R.; De, O.; Silveira, H. L. F.; Quartaroli, C. F.; Almeida, R. E. M.; et al. Aptidão agrícola das terras do Matopiba; Embrapa Solos. Documentos, 179; Embrapa Solos: Rio de Janeiro, Brazil, 2015.

Lima, J. E. F. W. Situação E Perspectivas Sobre As Águas Do Cerrado. **Ciência Cult.** 2011, v.63, p.27–29.

Nascimento, D.; Novais, G. Clima do Cerrado: Dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. Élisée Revista de Geografia UEG 2020, v.9, n.2. 2020.

Reis, L. C.; Silva, C. M. S.; Bezerra, B. G.; Spyrides, M. H. C. Caracterização da variabilidade da precipitação no MATOPIBA, região produtora de soja. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 04. 2020. Disponível em https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1425-1441 Acesso em: 20 dezembro 2024.

Santiago, D. B.; Barbosa, H. A.; Correia Filho, W. L. F.; Oliveira-Júnior, J. F. Interactions of Environmental Variables and Water Use Efficiency in the Matopiba Region via Multivariate Analysis. **Sustainability** v. 14. 2022. Disponível em https://doi.org/10.3390/su14148758 Acesso em: 18 novembro 2024.

CAPÍTULO III

CONFLITO ENTRE O AGRIBUSINESS E A CONSERVAÇÃO DO MEIO AMBIENTE

(Artigo publicado no International Journal of Development Research - (https://doi.org/10.37118/ijdr.21504.04.2021)

CONFLITO ENTRE O AGRIBUSINESS E A CONSERVAÇÃO DO MEIO AMBIENTE

RESUMO: MATOPIBA, conhecida como a nova fronteira de expansão da soja, é uma região composta em sua quase totalidade pelo Bioma Cerrado, tendo este bioma reduzido de forma expressiva sua área florestal, para expansão da agropecuária. Nesse trabalho objetivou-se esboçar um panorama sobre o impacto ambiental causado pela introdução da cultura de soja no Cerrado da região de MATOPIBA, auxiliando em estudos e políticas públicas de fiscalização e conservação do bioma. Com base nos dados de mapeamento de área florestal, produção de soja e produção agrícola, disponibilizados pelo MapBiomas, pode-se realizar uma análise do comportamento de uso e ocupação da superfície terrestre da região de MATOPIBA, onde identificou-se que a produção de soja no Cerrado teve expansão em larga escala nos últimos 20 anos, com um aumento de 126.851,9 km². Por consequência, houve um declínio na área territorial de floresta de aproximadamente 11,1%,sendo que a região de MATOPIBA contribuiu com uma perda de área florestal equivalente a 78% de todo o Bioma Cerrado. Diante do exposto, pode-se concluir, a partir dos dados e fatos apresentados, que é necessário que se tenha cautela no crescimento da fronteira agrícola do país, MATOPIBA, pois a mesma enfrentará consequências relevantes, causadas pela perda de área florestal e grande impacto na biodiversidade de seu bioma mais eminente, o Cerrado.

Palavras-chave: Agronegócio; Recursos Naturais; Economia Ambiental; Cerrado.

CONFLICTBETWEEN AGRIBUSINESS AND ENVIRONMENTAL CONSERVATION

ABSTRACT: MATOPIBA, known as the new frontier of soybean expansion, is a region composed almost entirely of the Cerrado Biome, with this biome having significantly reduced its forest area to expand agriculture and livestock farming. This study aimed to outline an overview of the environmental impact caused by the introduction of soybean crops in the Cerrado region of MATOPIBA, assisting in studies and public policies for monitoring and conservation of the biome. Based on mapping data on forest area, soybean production and agricultural production, made available by MapBiomas, it is possible to perform an analysis of the behavior of use and occupation of the land surface of the MATOPIBA region, where it was identified that soybean production in the Cerrado has expanded on a large scale in the last 20 years, with an increase of 126,851.9 km². As a result, there was a decline in the territorial area of forest of approximately 11.1%, with the MATOPIBA region contributing to a loss of forest area equivalent to 78% of the entire Cerrado Biome. In view of the above, it can be concluded, based on the data and facts presented, that it is necessary to be cautious in the growth of the country's agricultural frontier, MATOPIBA, as it will face relevant consequences, caused by the loss of forest area and a major impact on the biodiversity of its most eminent biome, the Cerrado.

Keywords: Agribusiness; Natural resources; Environmental Economics; Cerrado.

1.INTRODUÇÃO

Um dos grandes paradigmas existentes na atualidade é o conflito entre o crescimento do agronegócio e a conservação do meio ambiente. Pautado na busca pelo crescimento econômico e na necessidade de alimentar a população humana, que segue aumentando desordenadamente, os interesses do agronegócio, são colocados em um viés contrário à necessidade da proteção dos recursos naturais, tornando os interesses do agro, na grande parte das vezes, de maior relevância. Debates internacionais ocorrem com maior veemência sobre a necessidade do Brasil buscar modelos de produção agrícola que conciliem o crescimento econômico e a conservação ambiental.

Segundo Perman et al. (2003) por muito tempo, o objetivo da economia era a busca por condições que propiciem padrões elevados de vida, os quais determinavam que não havia relação entre desenvolvimento econômico e conservação da natureza. Apenas, a partir de 1970, surgiu discussões no mercado internacional a respeito da sustentabilidade.

Diante da pressão exercida pelo homem sobre a natureza, se tornou necessário mundialmente uma maior preocupação com o esgotamento dos recursos ambientais, criando assim o conceito de desenvolvimento sustentável, definido como aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações no sentido de atenderem às suas próprias necessidades (CMMAD, 1988). Esse conceito passou a ter mais efeito a partir da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (The World Commission on Environment and Development-WCED) criado pelas Nações Unidas em 1983, onde foi determinada a relação direta entre desenvolvimento e meio ambiente, já que não há desenvolvimento a partir de um ambiente degradado e não existe proteção ambiental sem custos (Perman et al., 2003).

Um dos fatores preocupantes internacionalmente, ocasionador do esgotamento dos recursos naturais é o crescimento populacional. Estima-se que a população mundial alcançará 10,3 bilhões de habitantes em 2080, segundo a ONU (ONU, 2024), necessitando de uma demanda cada vez maior por alimentos, além do crescimento do padrão de consumo deste, aumentando também, devido a crise energética, a demanda por biocombustíveis (IPEA, 2012), sendo necessário por sua vez mais áreas cultiváveis disponíveis. Entretanto, o estoque mundial de terras é limitado, levando a necessidade de maior produtividade por terra plantada. De acordo com o IPEA (2012) o Brasil é considerado um dos países de maior capacidade de aumento da produção agropecuária.

Em contrapartida, pouco aindase avançou nos métodos produtivos que garantam uma produção sustentável, gerando benefícios econômicos, garantindo a conservação dos recursos naturais.

Na rota desses acontecimentos, o Brasil incorpora o decreto nº 8447 de 6 de Maio de 2015, conhecido como o Plano de Desenvolvimento Agropecuário – PDA/MATOPIBA apresentando como finalidade o desenvolvimento de políticas públicas que tivesse como objetivo o desenvolvimento econômico sustentável, voltados para o setor agrícola e pecuário, direcionado a um público alvo que seriam considerados a "classe média do setor rural". Esse mecanismo de favorecimento torna-se protagonista da grande onda inovadora do agribusiness no Brasil desde a recente recessão econômica, carreando, para tanto, uma série de implicadores inclusive integrar os objetivos do desenvolvimento sustentável, as metas do milênio e agenda 2030.

Este decreto[2] tem como cláusulas a orientação de programas e projetos federais tendo como fnalidade o aumento da eficiência da infraestrutura logística do setor agrícola e pecuário, além de apoio a inovação e aumento tecnológico no agribusiness, ampliação e fortalecimento da classe média do setor rural através da melhoria de renda e qualificação profissional dos mesmos, entre outros.

O avanço do setor agrícola no Brasil proporciona grande destaque na economia. Estima-se que a produção do agribusiness, responda atualmente por 21,1% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (BrasilAgro, 2020). Dentre as regiões de maior contribuíção para esse crescimento está MATOPIBA, considerada a região de expansão da soja. Composta pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, tem predominância o Bioma Cerrado. Esse bioma é responsável por 55,14% da soja plantada no território brasileiro (Lima, 2019). É o segundo maior bioma do Brasil, com 203 Mha, apresenta mais de 4.800 espécies únicas de plantas e vertebrados. Trata-se de uma região muito mais heterogênea do que os outros biomas brasileiros, contendo fisionomias florestais, savânicas e campestres. Entretanto, já perdeu 46% de sua cobertura e os demais ainda inalterados não atingem 20% da área original (IPAM, 2020; Lima, 2019). Apesar da importância de sua diversidade biológica, apenas 8,21% de seu território é protegido (MMA, 2020).

---

[2] DECRETO Nº 8. 447 DE 6 DE MAIO DE 2015). O presente decreto foi revogado pelo Decreto nº 10.473de 24 de Agosto de 2020 (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA,

DECRETO Nº 10.473 DE 24 DE AGOSTO DE 2020).

Com base nesse pressuposto, o artigo objetiva esboçar um panorama sobre o grau de impacto ambiental causado pela produção de soja no Cerrado da região de MATOPIBA, através de uma análise de dados mundiais, buscando auxiliar em estudos e políticas públicas de fiscalização e conservação desse bioma.

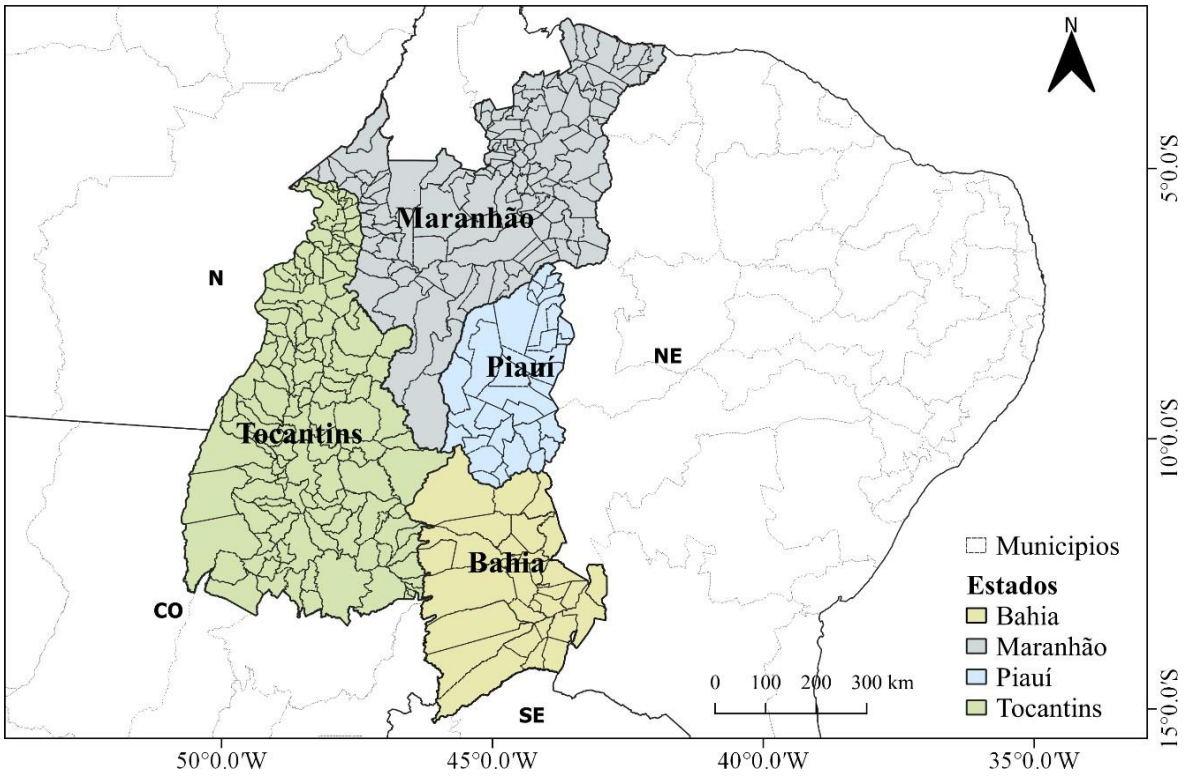
2.MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil correspondendo a 22% do território de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2020), com uma extensão que abrange os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Distrito Federal, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná e São Paulo. Com grande biodiversidade, é composto por 11.627 espécies de plantas nativas já catalogadas e diversas espécies da fauna, favorecido pelas três maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Amazônica/Tocantins, São Francisco e Prata). Região de clima tropical de caráter subúmido, com duas estações bem definidas: seca entre maio a setembro e chuvosa entre outubro a abril. Solos em sua maioria profundos, com baixa fertilidade natural e relevo plano, suavemente ondulado, de drenagem perene. Sua vegetação apresenta 3 tipos principais de fitofisionomias de acordo com a biomassa: formações florestais, formações savânicas e formações campestres, tendo cada uma, suas subcategorias (Bastos e Ferreira, 2010).

A região de estudo conhecida como MATOPIBA (Figura 1) é compreendida por 337 municípios distribuídos em um total de 73 Mha. Os estados que a compõem já somam 4.803.471 ha de soja (MA com 891.409 ha, TO com 900.663 ha, PI com 850.127ha e BA com 2.161.272 ha) (Souza, 2019). Com população estimada em 6,3 milhões de habitantes de acordo com o Censo Agro de 2017 (Pereira, 2019).

Figura 1 - Mapa de localização da região MATOPIBA com seus 337 municípios.



(Fonte: Autor, 2021)

2.2 Coleta de dados

A pesquisa realizada é de cunho bibliográfico, a qual teve como fonte principal de dados, a plataforma do IPEA (Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia) e MapBioma. Foi realizada a análise dos dados de comportamento do uso e ocupação da superfície da região de MATOPIBA, Bioma Cerrado caracterizando-a com base em três categorias: i) área florestal; ii) produção de soja e iii) produção agrícola no período de 2000 à 2019 a partir do mapeamento da região, com base no banco de dados gerados pelo MapBioma, disponibilizado em seu website.

O MapBioma fornece em sua plataforma, os dados de uso e ocupação da superfície. A partir desses dados, foi realizada a separação e caracterização com base nas categorias mencionadas e posterior interpretação dos dados.

O projeto MapBioma é uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite. Todos os mapas e dados são produzidos com base nas imagens dos satélites Landsat com resolução de 30 metros e são apresentados por bioma, por meio de

uma série temporal de 30 anos. Para mais informações, acessar a plataforma eletrônica do projeto.

Realizou-se uma análise interpretativa de cruzamento dos dados de expansão da produção de soja com os de área florestal, obtidos na plataforma MapBiomas (https://plataforma.mapbiomas.org/) e posteriormente estes com o mapeamento das áreas agrícolas. Todos de forma regionalizada a partir do mapeamento de uso e cobertura da superfície. Em seguida, comparou-se os dados com os apresentados na literatura recente para concessão de uma análise crítica.

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Crescimento do agribusiness em MATOPIBA - Bioma Cerrado

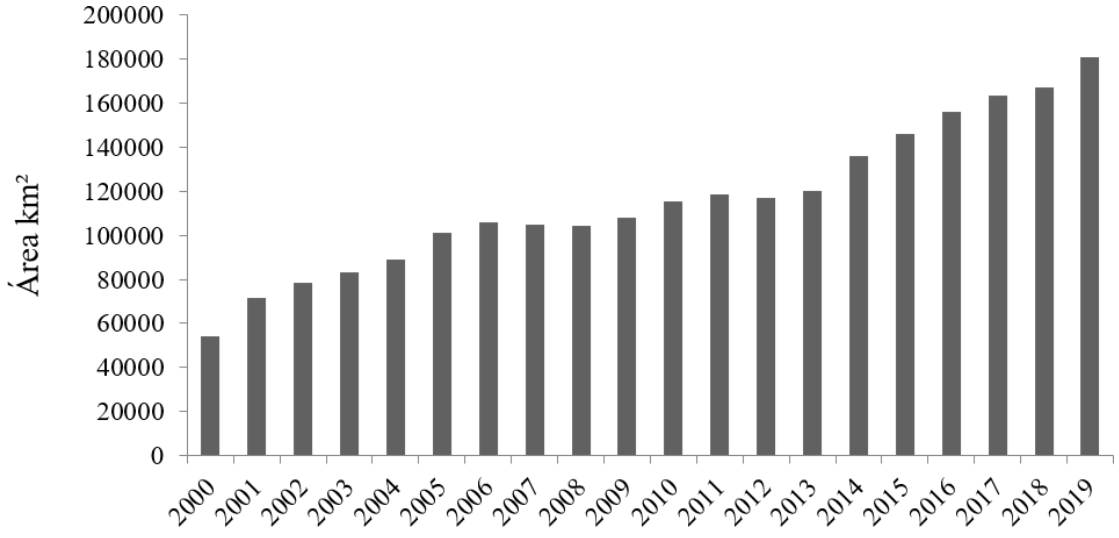
O setor do agribusiness tem crescido no Brasil exponencialmente ao longo das décadas, tornando-se um grande influenciador econômico no país, com seu expressivo aumento na produtividade. A partir do avanço das tecnologias, tem tido papel importante na balança comercial. Este também é um setor de grande uso e ocupação territorial no Brasil, consumindo assim recursos naturais em seu processo produtivo, afetando por diversas vezes direta e indiretamente o meio ambiente. Estima-se, segundo os dados da NASA (2017), que cerca de 63.994.479 hectares (7,6%) do território brasileiro é ocupado pelo agribusiness.

A soja hoje está entre as atividades que possui o maior valor de intensivo em terras do Brasil. Desde a década de 1950 a mesma é produzida em larga escala, devido a fatores contribuintes como clima favorável, amplas terras disponíveis, investimentos em estradas e infraestrutura contribuíram para a alta produção dessa oleaginosa no mercado internacional de alimentos e biocombustível. Inicialmente esta desenvolvia-se na região sul, expandindo-se para o norte, posteriormente para o Cerrado e Amazônia (Lima, 2019). Os municípios de maior representatividade produtiva, superior a 1 milhão de toneladas em grãos (algodão, arroz, feijão, milho, soja e sorgo) na região de MATOPIBA estão localizados no oeste da Bahia, no sul do Maranhão e no sudoeste do Piauí (Pereira, 2019).

A partir da análise de dados obtidas pelo monitoramento de cobertura e uso do solo realizado pelo MapBiomas (Figura 2), pode-se observar que a produção de soja no Cerrado tem crescido ao longo dos últimos 20 anos, passando de 54.102,3 km² no ano de 2000 para o equivalente a 180.954,2 km² em 2019, o que equivale a um aumento de

126.851,9 km² de produção de soja em duas décadas. Esses dados demonstram o que os autores tem relatado ao longo dos anos, o crescimento e expansão da produção de soja em larga escala no Cerrado.

Figura 2- Produção de soja no Bioma Cerrado durante o período de 2000 a 2019.



Os estados que compõem MATOPIBA também tiveram crescimento representativo na área utilizada para produção de soja ao longo desse tempo, Maranhão teve um aumento de 7.803,3 km², Tocantins 9.184,9 km², Piauí 7.796,3 km² e Bahia 13.028,4 km², sendo este último o estado com maior crescimento em área produtiva. Esses dados representam um total de 37.812,9 km² de novas áreas destinadas a produção de soja, nos últimos 20 anos. Só em 2019 foram destinadas o equivalente a 35.693,6 km² de áreas em MATOPIBA para este fim, equivalendo a 19,7% do total de áreas destinadas a produção de soja no Cerrado e 360.000,95 km² no Brasil (EMBRAPA, 2020), o que representa um grande percentual de produção retido em apenas 4 estados. Os dados encontrados aproximam-se dos relatados por Lima (2019) para a mesma região.

Apesar da importância econômica que esses dados possam representar, o risco potencial de desmatamento e degradação que essa área e o Cerrado possam ter é preocupante. MATOPIBA apresenta altas perspectivas para a expansão da soja, devido a possuir as maiores áreas contínuas existentes. Na última década, houve a conversão de 2,3 Mha em lavouras, com três quartos dessa área de Cerrado (Spera et al., 2016). Esse

crescimento, se desordenado, pode comprometer a vegetação nativa do bioma.

3.2 Tendências de desmatamento no MATOPIBA

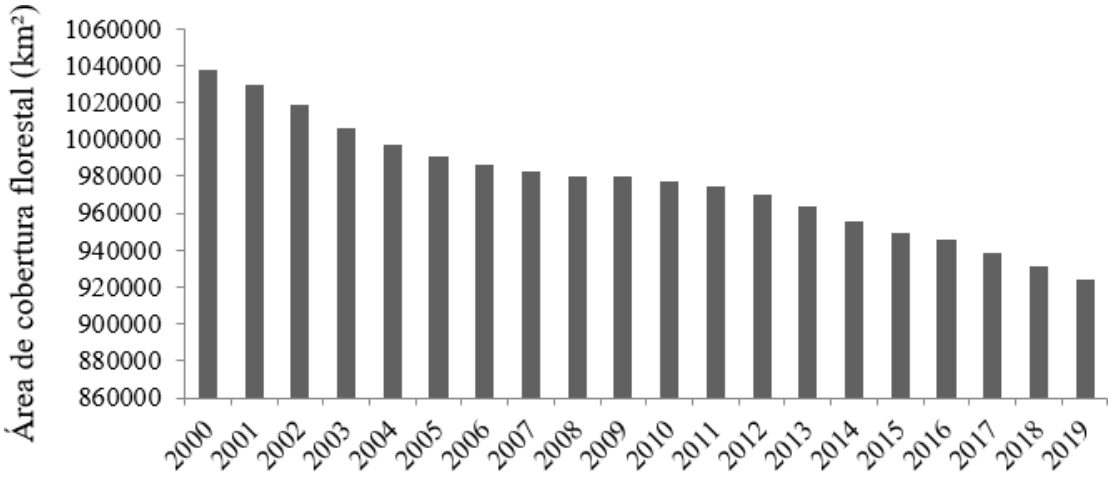
Segundo o IPEA (2012) os impactos gerados pelas atividades agropecuárias são oriundos de dois fatores principais: a mudança de uso do solo e degradação de áreas naturais e ecossistêmicas a partir do desmatamento intenso, com a finalidade de cultivar. O primeiro se origina de cultivação. Já o segundo, por consequência, é causado por práticas de manejo inadequadas. Quanto mais o segundo processo ocorre, mais é desencadeado a necessidade de novas terras para cultivo, já que se torna menos honeroso incorporar novas terras no cultivo, do que a recuperação de áreas improdutivas. Além destes, ainda há os fatores negativos gerados pelas queimadas e o uso excessivo de agrotóxicos e fertilizantes na produção.

Mesmo diante da grande biodiversidade do Cerrado, o mesmo tem sofrido com o desmatamento ao longo das décadas. De acordo com os relatórios do IPAM (2020), esse bioma perdeu quase 30 Mha em vegetação nativa nos últimos 35 anos, 28 Mha entre 1985 a 2019, tendo assim hoje 53,2% de sua vegetação natural e 44% de sua área destinada a atividades agropecuárias. Esses dados demonstram uma tendência de superação da quantidade de área alterada, desmatada para o uso agropecuário sobre a quantidade de área de vegetação natural, nos próximos anos, caso uma medida de remediação não seja tomada.

Através de modelagem de cenários futuros, realizada por Salmona (2013) nas próximas décadas o Cerrado manteria a manutenção em biodiversidade apenas em áreas indígenas, unidades de conservação e áreas de maior declividade, devido à dificuldade de implantação de mecanização.

A partir dos dados de monitoramento de uso de cobertura do solo do MapBioma, pode-se verificar que houve um declínio na área territorial de floresta no Bioma Cerrado durante os últimos 20 anos, passando de 1.037.960 km² em 2000 para 923.714 km² em 2019. Esses dados representam uma perda de aproximadamente 114.246 km² (11,1%) de área florestal de cerrado em apenas 20 anos (Figura 3).

Figura 3 - Quantitativo de área florestal do Bioma Cerrado no período de 2000 a 2019

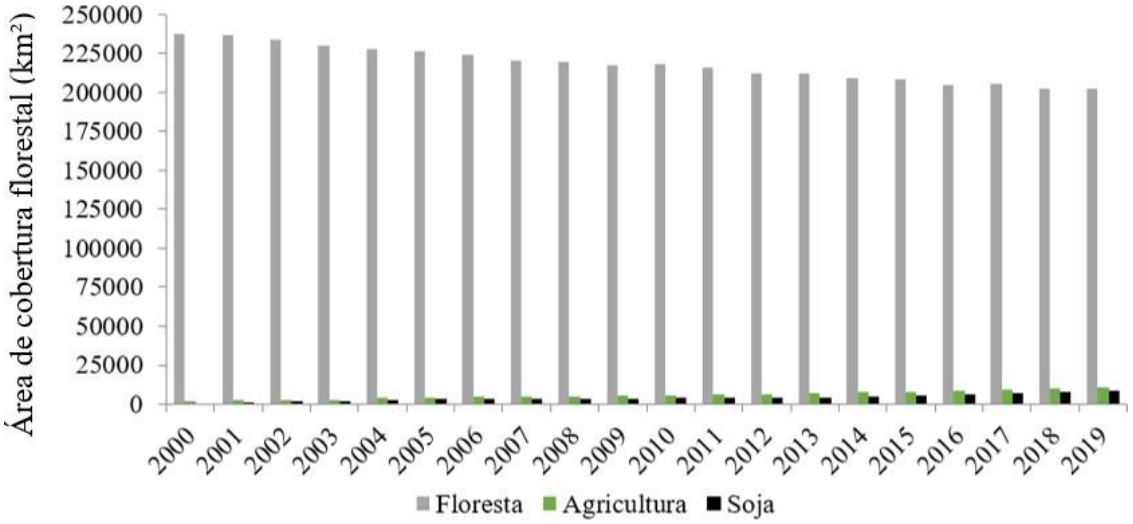


De acordo com Lima (2019), fatores que possam ter desencadeado a degradação do Cerrado, em particular MATOPIBA é a retenção de apenas 20% a 35% de área destinada a reserva legal pelo Código Florestal, como também baixos preços de terra, regimes de chuva, etc.

Quando confrontado os dados de superfície florestal com os dados de produção de soja e agricultura de forma geral para a mesma região, pode-se verificar que, à medida que houve decréscimo no total de área de floresta, houve um aumento ao longo dos últimos 20 anos da produção de soja e na área destinada a agricultura (Figura 4). Esses dados comprovam o crescimento do desmatamento no Cerrado ao longo das décadas. Quanto menos área florestal, maior probabilidade ao desequilíbrio biológico, maior exposição do solo as intempéries climáticas, já que a remoção da camada original causa prejuízos a estrutura física do solo, o deixando mais suscetível a danos na superfície.

Em trabalhos anteriores, Souza (2019) aponta os problemas climáticos e hidroclimáticos que a degradação ou perda da vegetação pode acarretar, em particular a essa região, como mudança no padrão de temperatura e dos dados de vazão do rio Tocantins, sendo alterado devido à mudança de uso e ocupação da superfície terrestre, como também do fluxo hidrológico.

Figura 4 - Comportamento da cobertura florestal, produção de soja e agricultura durante o período de 2000 a 2019 no Bioma Cerrado.



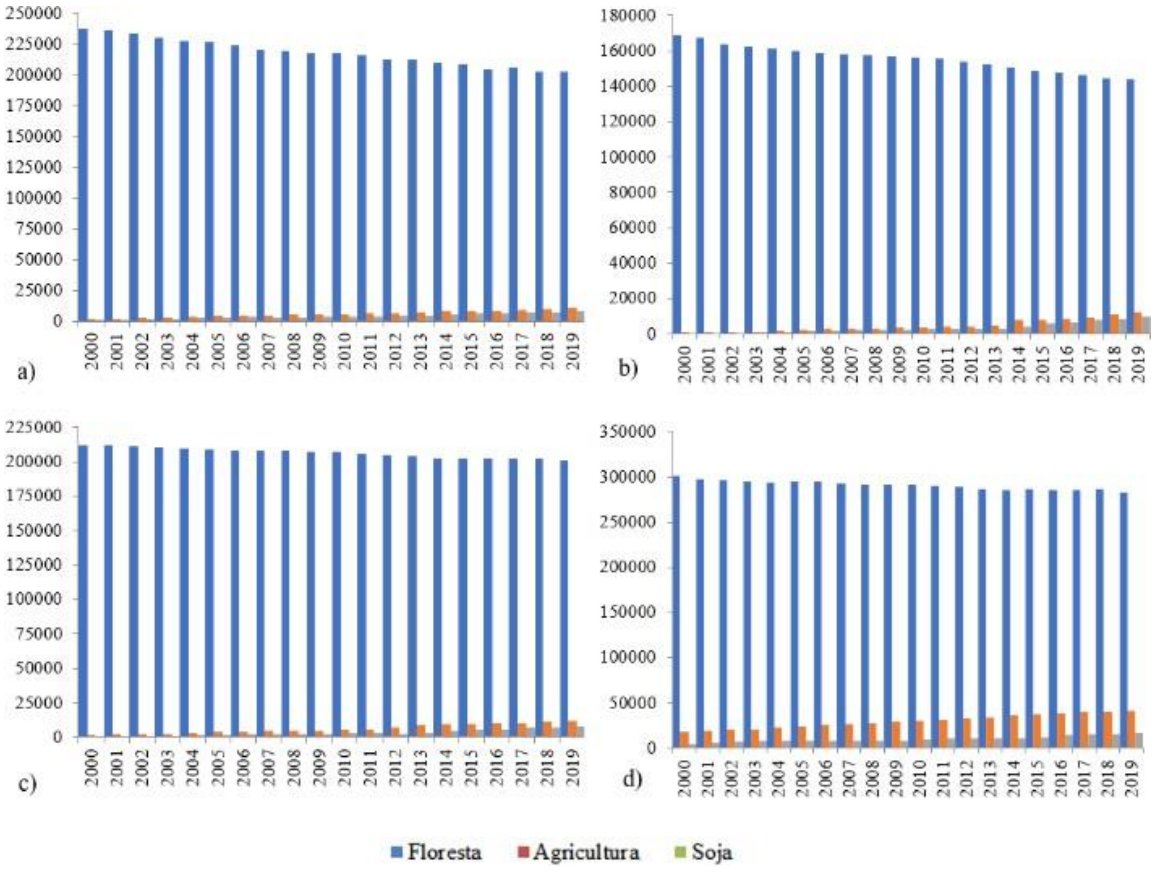
Quando analizado os dados de uso e ocupação da superfície nos estados que compõem MATOPIBA, verifica-se que o estado que teve maior perda de área florestal foi o Maranhão com 14,6% e o que teve menor perda foi Piauí com 5,29%. Já o que teve maior aumento de área plantada de soja foi a Bahia com 13.028,44 km² de aumento e o menor crescimento de área para plantio de soja foi no Piauí com apenas 7.796,33 km². Se verificado ainda o desenvolvimento quantitativo de área para plantio de agricultura, o estado que lidera é a Bahia com 22.714,45 km² de aumento, já o de menor é o Maranhão com 8.486,9 km² de aumento. Em 2019 a Bahia foi quem disponibilizou maior quantidade de área para produção de soja, com 16.855,52 km², o que demonstra que o estado baiano é o que mais tem investido intensamente no agribusiness (Figura 5).

Com base nesses dados, observa-se que a região de MATOPIBA contribuio com uma perda de área florestal equivalente a 78% de todo o Bioma Cerrado. Confirmando esses dados, está o relatório [3]PPCerrado-2019 onde é descrito apósanálises do PRODES

[3] Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal e no Cerrado – PPCDAm e PPCerrado (http://combateaodesmatamento.mma.gov.br/images/Doc_ComissaoExecutiva/Balano-PPCDAm-e-PPCerrado_2019_aprovado.pdf)

(Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite) que a região MATOPIBA tem os maiores índices de desmatamento do Cerrado no ano de2019, sendo que a preocupação maior se dá na porção norte do bioma, pois é onde se encontra os maiores fragmentos de vegetação natural remanescente. Dos quatro estados indicados como de maior destamatamento no mesmo ano, três se concentram em MATOPIBA (Tocantins, Maranhão e Bahia). Além da intensiva exploraçãodos recursos naturais pelo agribusiness, outro aliado ao desmatamento do cerrado é a baixa quantidade de áreas de conservação e terras indígenas.

Figura 5 - Variabilidade temporal das áreas de cobertura florestal, agricultura e produção de soja durante o período de 2000 à 2019 nos estados do a) Maranhão, b) Tocantins, c) Piauí e d) Bahia.



De acordo com Souza (2019) cultivo de grãos no Cerrado atualmente, apesar de ter maior adequação as leis ambientais vigentes, gera o desmatamento de grandes áreas de vegetação nativa, alterando a cobertura do solo e impactando a biodiversidade e cursos d'água, já que as técnicas de produção aplicadas ainda detem de uma grande quantidade

de água para irrigação.

O empace entre o agribusiness e a sustentabilidade se mantém claro na forma em que o primeiro é aplicado. O primeiro empace seria a busca de crescimento econômico a partir de grandes produtores com tecnologias mais eficientes e voltados para o mercado internacional, via preços competitivos; E o segundo, a utilização de tecnificação científico-informacional, onde é um espaço que seria ocupado pelos produtores familiares beneficiados pela lei da biodiversidade que também entrariam no mercado internacional de maneira consorciada. Desta maneira seriam feitas as relações de produção, de exploração e de extração do excesso de trabalho, reduzindo os desequilíbrios desastrosos ao meio ambiente.

O grande conflito para desenvolver a produção agropecuária no Brasil, como relatado anteriormente é conciliar nas decisões políticas os aspectos econômicos, sociais e ambientais, pois há sempre a sobreposição de um sobre os outros, em particular principalmente os interesses econômicos sobre os demais. Esse impasse gera falhas de mercado, causando assim externalidades negativas. Segundo Perman et al. (2003) é dito externalidade, tomadas de decisão de produção ou consumo através de um agente que gere impacto sobre a utilidade ou lucro de outro agente de forma não intencional, não sendo compensado o impactado pelo dano causado. As externalidades são fontes de falha de mercado. Quanto à externalidade positiva, poder-se-ia concluir que o mercado brasileiro poderia ser gerador de novas commodity para o mercado internacional beneficiando as famílias de porte pequeno e médio. O que também pode ser lido como alocação eficiente de retenção, o mesmo irá produzir menos em relação aos requisitos de eficiência alocativa enquanto não vier à tona ineficiências de produtividade ou baixa de capacidade, o que nesse caso poder-se-ia remeter a alguma externalidade negativa.

De acordo com o IPEA (2012), a base da produção, quando tem como alicerce o modelo de monocultura gera benefícios econômicos, já que esta estimula a produção em larga escala e a especialização produtiva, o que vem em posterior a fortalecer a economia industrial e gera competitividade de mercado. Por sua vez, o que vem a causar grandes danos, é que o modelo atual não internaliza as externalidades negativas de produção, ficando o custo destas para todos, inclusive para as gerações posteriores, já que quando assumida essas externalidades dentro do sistema produtivo, o mesmo perde vantagens econômicas repassadas ao produtor.

Quando dito “falta de intencionalidade” decorre do fato de que quando os impactos são gerados, não traz consigo qualquer recompensa/penalidade quando

benéfico/prejudicial. Dada essa falta de recompensa/punição, que poderia ser sinalizado por pagamento monetário, por exemplo, os agentes não levaram em consideração o efeito causado (Perman et al., 2003).

Observa-se que, a base produtiva, incluindo assim a produção de soja, quando não tem como preceito o esclarecimento civil (agente impactado) dos danos causados (externalidades) pelo método produtivo e expansão deste, reduz seus custos e proporciona o aumento da eficiência de mercado, priorizando por sua vez, os lucros do produtor. Sendo assim, os danos aos recursos ambientais, não são levados em consideração devidamente.

Estímulos e intervenções governamentais se fazem necessários para que a prática de feedbacks pelos produtores do agribusiness seja tomada, como também, uma maior responsabilidade ambiental. Medidas atenuantes são defendidas por Perman et al. (2003), como a criação de arranjos institucionais apropriados para estabelecer e apoiar direitos de propriedade como base de barganha, apesar destes, ainda pelo autor, serem considerados limitados. Outra medida seria regras e regulamentos que proíbam/limitem formas de ação. Instrumentos fiscais - impostos e sistemas de subsídio e licenças comercializáveis – são projetados para criar padrões apropriados de incentivos no comportamento privado.

Entretanto, a complexidade de valoração dos recursos naturais é um fato. Medidas de monitoramento também se fazem necessárias. Algumas políticas hoje já foram implantadas, como PPCerrado (Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento no Cerrado) que é um relatório que apresenta os dados dos planos de ação tomados para contensão do desmatamento do bioma Cerrado a partir de dados do PRODES. Segundo os dados do PRODES no território tocantinense, por integrar a Amazônia Legal, houve uma redução gradativa de áreas desmatadas desde 1988, quando se iniciou o acompanhamento (Souza, 2019). Outra medida cautelar tomada acerca da produção de soja, foi a Moratória da Soja, que é um acordo no qual as principais empresas exportadoras dessa commodity se comprometem a não comprar e financiar a soja produzida em áreas desmatadas. Esta foi implantada a mais de uma década na região amazônica, entretanto, segundo Lima (2019) a ABIOVE (Associação Brasileira da Indústria de Óleo Vegetal) se nega aderir a Moratória no Cerrado.

Apesar do monitoramento e das medidas tomadas, ainda se percebe uma perda exponencial da vegetação, por conseguinte da biodiversidade, confrontando com o crescimento da produção de soja no Brasil.

4.CONCLUSÕES

Diante do exposto neste capítulo, pode-se concluir, a partir dos dados e fatos apresentados, que é necessária cautela no crescimento da fronteira agrícola do país, MATOPIBA, pois a mesma enfrenta por consequência, perda de área florestal e grande impacto na biodiversidade de seu bioma mais eminente, o Cerrado.

Conclui-se ainda que houve uma perda expressiva de área florestal na região de aproximadamente 114.246 km² (11,1%) em apenas 20 anos, tornando claro uma tendência de superação da quantidade de área alterada, desmatada para o uso agrícola sobre a quantidade de área de vegetação natural, nos próximos anos, caso uma medida de remediação não seja tomada, já que atualmente apenas 53,2% de todo o território do Cerrado mantém sua vegetação nativa.

Dentre os quatro estados que compõem a região de MATOPIBA, Maranhão e Piauí foram os quais apresentaram maior/menor perda em área florestal respectivamente. Já com relação ao aumento de área plantada, a Bahia foi superior, o que demonstra que o Maranhão mesmo sendo o que mais removeu sua área nativa, as mantém sem uso agrícola. Assim, o estado baiano é o que mais tem investido intensamente no agribusiness

Apesar de tímidos, os avanços no monitoramento da produção de soja, como também das áreas desmatadas no cerrado, medidas de esclarecimento e práticas de feedbacks a respeito do mercado de agribusiness e de suas externalidades, devem ser tomadas para criar um sistema de recompensas e punições sobre os efeitos gerados para com a sociedade e com o meio ambiente, buscando assim, formas de equilíbrio entre crescimento econômico e a sustentabilidade.

5.REFERÊNCIAS

Bastos, L. A.; Ferreira, I. M. Composição fitofisionômica do bioma Cerrado: estudo sobre o subsistema de Vereda. **Espaço em Revista,** v..12, n1, pp97-108. 2010.

BRASILAGRO. Disponível em <https://www.brasilagro.com.br/conteudo/o-agronegocio- responde-por-211-do-pib-brasileiro.html> Acesso em: 05 outubro 2020.

CMMAD-Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento- Nosso futuro comum. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 1988.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados- economicos>Acessado em: 05 outubro 2020.

Demystifying sustainable soy in Brasil. **Land Use Policy**, p349-352. 2019.

IPAM - Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. Disponível em <https://ipam.org.br/cerrado-perdeu-quase-30-milhoes-de-hectares-em- vegetacao-nativa-em-35-anos/> Acesso em: 17 setembro 2020.

IPEA – Instituto de Pesquisa Ambiental- A sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos, políticas públicas e desafios. Rio de Janeiro: Ipea, 2012.

Lima, M.; Silva Junior, C. A.; Rausch, L.; Gibbs, H. K.; Johann, J. A. Land use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier**.Glob Chang Biol,** 22p. 2016. Disponível em https://doi.org/10.1111/gcb.13298 Acesso em: 12 fevereiro 2022.

MAPBIOMAS – Coleção [5.0] da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em [23/09/2020] através do link: [https://plataforma.mapbiomas.org/]".

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Disponível em <https://www.mma.gov.br/biomas/cerrado> Acesso em: 17 setembro 2020.

Pereira, C. N. Estrutura agrária no MATOPIBA: apontamentos a partir do censo agropecuário de 2017. **Boletim regional, urbano e ambiental, IPEA.** 12p. 2019.

Perman, R.; Ma, Y.; Mcgilvray, J.; Common, M. Natural resource and environmental economics. **Pearson Education Limited,** 726p, 3 Ed. ISBN 0-273-65559-0, 2003.

PORTAL BRASIL. **Matopiba se consolida como nova fronteira agrícola do país.** 2016 Disponível em <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/10/matopiba- se-consolida-como-nova-fronteira-agricola-do-pais> Acesso em: 13 novembro 2020.

Salmona, Y. B. **Cerrado com C ou com S? Modelagem de cenários futuros para o bioma.** 2013. 87p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília.

Souza, L. B.; Barros, J. R. Agronegócio e ambiente no Cerrado tocantinense: um panorama dos municípios com base em indicadores. **Ateliê Geográfico,** v13, n1, p124. 2019. Disponível em https://doi.org/10.5216/ag.v13i1.51961 Acesso em: 23 novembro 2020.

United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2024). World Population Prospects 2024: Summary of Results (UN DESA/POP/2024/TR/NO. 9).

CAPÍTULO IV

DINÂMICA ESPAÇO TEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO NA REGIÃO DO MATOPIBA

Artigo publicado na Revista Brasileira de Geografia Física –
(https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.1.p281-296)

DINÂMICA ESPAÇO TEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO NA REGIÃO DO MATOPIBA

RESUMO: A região de MATOPIBA, conhecida como a nova fronteira agrícola, abrange em sua maior parte o bioma Cerrado, o qual tem demonstrado intensa alteração de sua vegetaçãonatural, o que pode acarretar em danos ao ecossistema. Devido a isso, esse trabalho objetiva compreender a dinâmica espaço temporal do uso e cobertura das terras nas microrregiões que compõem a região MATOPIBA, no período de 1985 a 2019. Com base nos dados de estrutura florestal, obtidos na plataforma do projeto MapBiomas (mapbiomas.org/estatísticas), foi possível realizar a distribuição dos 337 municípios que compõem a área de estudo em 5 grupos e posteriormente aplicar teste de homogeneidade de Pettitt e testes não paramétricos de Mann-Kendall e Sen's, para compreensão de uma possível dinâmica de tendência no período de 1985-2019. Identificou-se que os anos de 2001 e 2002 marcam uma quebra na série histórica, indicando tendência de perda de cobertura nativa e ainda, que Tocantins foi o estado de maior perda, coincidindo com o período de expansão da soja. Com base nisso, pode-se concluir que o método estatístico de agrupamento e posterior aplicação de testes de Mann-Kendall, Sen's e de homogeneidade foram eficazes na distribuição das microrregiões e determinação de tendências, proporcionando uma maior interpretação de uma série longa de dados.

Palavras-chave: Geoestatística; Bioma Cerrado; Sensoriamento Remoto; Flora.

SPATIAL TEMPORARY DYNAMICS OF LAND USE AND COVER IN THE MATOPIBA REGION

ABSTRACT: The MATOPIBA region, known as the new agricultural frontier, encompasses for the most part the Cerrado biome, which has shown intense alteration of its natural vegetation,which can cause damage to the ecosystem. Because of this, this work aims to understandthe spatial and temporal dynamics of land use and coverage in the micro-regions that make up the MATOPIBA region, from 1985 to 2019. Based on forest structure data, obtained from the MapBiomas project platform (mapbiomas. org/statistics), it was possible to distribute the 337 municipalities that make up the study area into 5 groups andthen apply Pettitt's homogeneity test and Mann-Kendall and Sen's non-parametric tests, to understand a possible trend dynamic in the period 1985-2019. It was identified that the years 2001 and 2002 mark a break in the historical series, indicating a trend of loss of native coverage and that Tocantins was the state with the greatest loss, coinciding with the period of expansion of soybean. Based on this, it can be concluded that the statisticalmethod of grouping and subsequent application of Mann-Kendall, Sen's and homogeneity tests were effective in distributing microregions and determining trends, providing a greater interpretation of a long series of data.

Keywords: Geostatistics; Cerrado Biome; Remote Sensing; Flora.

1.INTRODUÇÃO

Mecanismos observacionais de alteração no uso e cobertura da superfície terrestre são de grande relevância na identificação e interpretação do comportamento do solo e como esse interfere na dinâmica vegetal ao longo dos tempos a partir de atividades agrícolas e outros. Segundo Hart Energy Consulting e Gabi (2010) estudos sobre mudança no uso da cobertura e suas dinâmicas históricas vem tomando destaque ao longo dos anos, pois são vistas como ferramentas fundamentais para a verificação e entendimento de processos sustentáveis e suas consequências ao meio ambiente. Por meio destes, possibilita-se o planejamento físico e a gestão de uso regional, a partir de políticas de gestão de recursos, com o objetivo da sustentabilidade em cenários diversos.

Quando analisada essas mudanças em escala nacional, o setor agrícola passa a tomar grande destaque por se tratar de uma imensa força física transformadora, principalmente em áreas florestais, através do processo de expansão. Historicamente, desde 1850 até 2000, essa expansão foi responsável por 1/3 das emissõesde Gases de Efeito Estufa (GEE), sendo o mesmo um dos principais geradores de impactos ao meio ambiente (Bernoux et al., 2010).

Um dos biomas que tem enfrentado grande alteração em sua vegetação nativa devido a atividades de uso e ocupação é o Cerrado. Tomado em grande parte por áreas de forte exploração agrícola, o mesmo tem apresentado diversas alterações em sua estrutura física e biológica. Compreendido pela região de MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), uma grande região de incentivo ao agronegócio, tem sido percebido uma forte mudança de suas características vegetais, que segundo Souza et al. (2017) tem gerado variabilidade espacial pronunciada, com características climáticas distintas nos padrões de precipitação A substituíção da vegetação nativa de acordo com Silva (2018) têm acarretado aumento da temperatura do ar global em aproximadamente 0,6 a 2,0 °C, com uma redução no total de precipitação e de evaporação de 20 a 30% prolongando as estações secas devido ao desmatamento.

A balança tem pesado mais para o lado do crescimento econômico, expansão das commodities agrícolas e extração de madeira em vez da manutenção e conservação das florestas (Marengo et al., 2021). Segundo Carneiro-Filho e Costa (2016) culturalmente, o Brasil cresce no agronegócio sob áreas de floresta nativa a partir do desmatamento. Em MATOPIBA, atual fronteira agrícola, a expansão do agro se dá em grande parte sobre a vegetação nativa, 68% entre 2000 e 2007 e 62% entre levantamentos de 2007 a 2014. Entretanto, uma alternativa seria a utilização de áreas convertidas e com aptidão agrícola,

otimizando a produção agropecuária para liberação de mais áreasjá desmatadas para expansão da agricultura. Esse tipo de alternativa, como outras, só se torna possível a partir do monitoramento espacial da superfície terrestre.

Atividades de gestão territorial são possíveis e mais eficazes devido ao monitoramento de áreas, com ações executadas a partir da utilização de instrumentos que possibilitem maior diagnóstico, compreensão e supervisão dos ecossistemas existentes e as atividades exercidas e como estas podem ter interferido ou vir a interferir (modificar) suas estruturas físicas e/ou biológicas. Isso só se torna possível com a utilização de técnicas de mapeamento dos padrões de uso e cobertura da terra. Método que consiste no levantamento de dados (por imagem) em dois ou mais períodos distintos, determinando-se, as mudanças ocorridas por meio de metodologias definidas (Holler et al., 2018)..

A relevância de estudos observacionais da superfície do solo a partir das mudanças de comportamento de uso e ocupação é mundialmente conhecida dentro da comunidade científica, devido a sua importante capacidade de refletir e projetar cenários de mudanças globais (Smith et al., 2014). Uma das técnicas mais aplicadas para este fim é a partir do sensoriamento remoto, o monitoramento espacial e temporal através do imageamento por satélites e cobertura com imagens aéreas, possibilitando uma aptidão observacional de forma sinótica, dinâmica e em escalas espaço-temporais diversos, demonstrando capacidade de quantificação dos níveis de conversão de alteração no uso e cobertura da terra (Turner II et al., 2007).

Uma ferramentade grande relevância para estudos de classificação e observação da terra é o projeto Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil – MapBiomas, uma iniciativa confiável, colaborativa e de baixo custo para produção de séries temporais de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil. Abrange dados de biomas (Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga, Cerrado, Pampa e Pantanal) e transversais (Pastagem, Agricultura, Plantação Florestal, Zona Costeira, Mineração e Infraestrutura Urbana) a partir de ferramentas como sensoriamento remoto, geografia, geologia, ecologia, meio ambiente, entre outros, objetivando apresentar um histórico a partir de mapas e dados desde 1985 (MapBiomas, 2020a).

A partir deste, objetiva-se com esse estudo compreender a dinâmico espaço temporal do uso e cobertura das terras nas microrregiões que compõem MATOPIBA, no período de 1985 a 2019, proporcionando maior entendimento do nível de alteração florestal natural ocorrido.

2.MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

MATOPIBA possui uma área de aproximadamente 73.600.000 ha, com o bioma Cerrado predominando, em torno de 90%, se estendendo por 62.961.600 ha, seguido pelos biomas Amazônia com 7,27% de abrangência e Caatinga com 1,64% (MAPA, 2018). Sua biodiversidade vem sendo ameaçada ao longo dos anos devido a grande expansão agrícola em desenvolvimento (Polizel et al., 2021). De acordo com os dadosdo PRODES Cerrado, 2,8 milhões de ha de vegetação nativa foi perdida, correspondendoa 1,4% de toda área do Cerrado. De acordo com o MAPA (2018) nos próximos 10 anos,a produção de soja na região será a mais rentável.

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, apresenta clima tropical predominante, sendo duas estações secas, sendo que uma compreende cinco meses e a outra pode ultrapassar seis meses (Mingoti et al., 2014), com temperaturas variando de20 a 26°C e precipitação em torno de 700 a 1900 mm (Alvares et al., 2013). Seu relevo é composto por depressões e áreas de planalto, com solos do tipo latossolo amarelo, seguidos de neossolos, plintossolos e argisolos. Possui 4,5% da área de terras indígenas, 11,2% de unidade de conservação dos quais 4,9% são áreas de proteção integral e 6,2% são áreas de uso sustentável (Polizel et al., 2021; Santos et al., 2011)

MATOPIBA é compreendida por 337 municípios distribuídos em um total de 73 Mha. Os estados que a compõem já somam 4.803.471 ha de soja (Maranhão com 891.409 ha, Tocantins com 900.663 ha, Piauí com 850.127 ha e Bahia com 2.161.272 ha) (Souza, 2019). Com população estimada em 6,3 milhões de habitantes de acordo com o Censo Agro de 2017 (Pereira, 2019) (Figura 1).

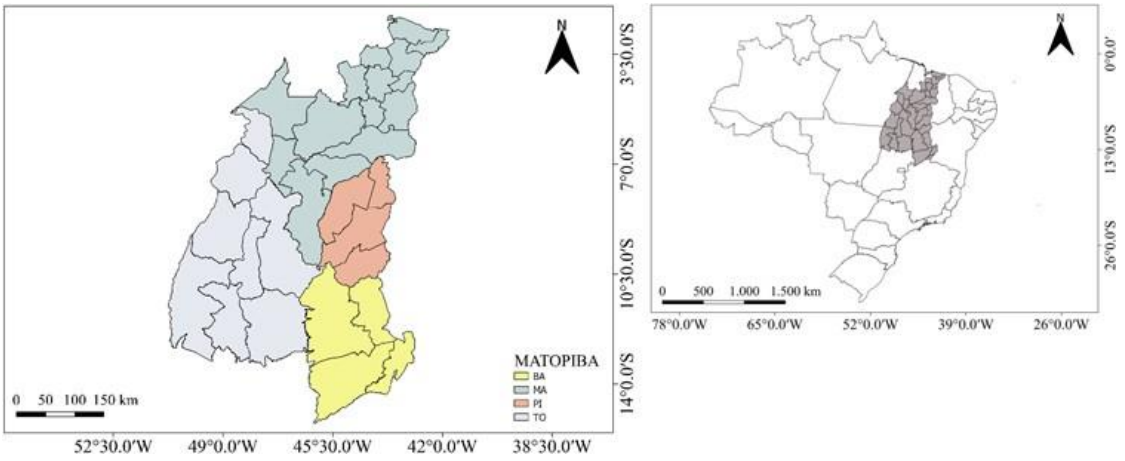
2.2 Coleta de dados

Para obtenção dos dados foi utilizado a plataforma do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomas) (mapbiomas.org/estatísticas). Os dados processados pelo MapBiomas para o período de 1985 a 2019 foram compostos, após avaliações dos efeitos de sazonalidade, por imagens de estações chuvosa e seca, criando uma grande janela (de seis meses) composta pelo período de abril a setembro de cada ano, sendo que essas datas foram selecionadas individualmente para cada uma das

172 peças de cada ano, gerando valores médios dos pixels selecionados.

A coleção 5.0 foi construída com base em modelos de floresta aleatória (uma para cada região e ano), determinando um número mínimo de amostras de 250, independentemente para cada região e ano. Foram classificadas oito classes de uso e cobertura da terra nos mosaicos Landsat, posteriormente integrados tematicamente de forma transversal. As classes principais foram: Formação florestal; formação savana; grassland (campina); pasto;agricultura; outras áreas não vegetadas; rio, lago e oceano; não observado (MapBiomas, 2020b).

Figura 1 - Localização da região do MATOPIBA.



(**Fonte:** Autor, 2021)

Nesta fase da pesquisa, utilizou-se a formação florestal e formação savânica, apresentadas no Level 1 Forest e Level 2 Natural Forest. O projeto MapBioma é uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite. Todos os mapas e dados são produzidos a partir de imagens dos satélites Landsat com resolução espacial de aproximadamente 30x30 metros (Raster) e são apresentados por bioma.

A base de dados utilizada foi distribuída em área (hectares) por bioma, separadas por estados e municípios, posteriormente foram agrupados em 31 microrregiões geopolíticas, composta por 337 municípios, possibilitando assim a análise davariabilidade espaço temporal das estruturas florestais presentes nesses ambientes, amplitude e perda de cobertura da vegetação nativa de cerrado.

A manipulação dos dados e cálculos foram realizados através dos softwares R versão 4.3.1 e QGIS (Quantum GIS) versão 3.18.3.

2.3 Metodologia

Para o desenvolvimento do estudo aplicou-se a metodologia a partir de análise de agrupamento através da amplitude da cobertura vegetal entre o período de 2019-1985, assim como testes de Mann-Kendall, Estimador de Sen's Slope e ainda teste de homogeneidade, possibilitando uma maior compreensão da série distribuída em microrregiões que compõem MATOPIBA, no período de 1985 a 2019.

2.4 Método de Agrupamento de Dados

Os métodos de agrupamentos de dados podem ser divididos em duas categorias: métodos hierárquicos e os métodos particionais. Para essa pesquisa, utilizou-se o método hierárquico, que são técnicas de agrupamento de dados de forma sucessiva, sendo representados de forma hierárquica através de grupos, facilitando assim a sua visualização, formação ou os estágios em que ocorreu o grau de semelhança dos componentes (Everitt et al., 2001). Esse método consiste em uma matriz a partir de métricas de distância entre os agrupamentos em cada estágio do algoritmo.

Para determinação dos grupos através de agrupamentos foi utilizado o Método de Ward (1983), sendo que o mesmo realiza a união dos indivíduos (pontos) através de associaçõesentre os mesmos que proporcionem a menor soma de quadrados de desvios. Após essa associação, são criados dendogramas (árvore de decisão) onde as amostras são agrupadas entre si, a partir das características, de acordo com a variável escolhida (Silva et al., 2018b). Utilizou-se o método do Quadrado da Distância Euclidiana, o qual utiliza uma medida de dissimilaridade para realizar o agrupamento, sendo que foi aplicado para a série históricade 35 anos, verificando a relação a partir da Equação 1 e 2:

$$SQD_{ii'} = \frac{1}{2} d^2_{ii'} \quad (1)$$

$$SQD_{ii'} = \sum_{j=1}^{n} SQD_{j(ii')} \quad (2)$$

em que: SQDj(ii') é a soma dos quadrados dos desvios para a j-ésima variável, considerando-se os postos *i* e *i'*; $d^2_{ii'}$ o quadrado da distância euclidiana entre os pontos *i* e *i'*, sendo *n* o número de variáveis avaliadas. A soma dos quadrados dos desvios total é dada pela Equação 3:

$$SQDT = \frac{1}{g} \sum_{i<}^{g} \sum_{i'}^{g} d_{ii'}^{2} \quad (3)$$

2.5.Análise de séries temporais

2.5.1 Teste de tendência de Mann-Kendall

O teste de Mann–Kendall tem por finalidade a identificação de eventuais flutuações nas tendências ao longo do tempo de estudo, como também na identificação de possíveis pontos de mudança na série (Bari et al., 2016; Kendall, 1975) conforme Equação 4 e 5:

$$S = \sum_{k=i}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} sign\,(x_j - x_k) \quad (4)$$

$$Sign = (x_j - x_k) = \begin{cases} +1\ se\ x_j - x_k > 0 \\ 0\ se\ x_j - x_k = 0 \\ -1\ se\ x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (5)$$

sendo que, a variância é calculada pela Equação 6:

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(n2+5) - \sum_{i=1}^{p} ti(i)(i-1)(2i+5)}{18} \quad (6)$$

Portanto, S e Var(S) são utilizados para o cálculo da estatística Z (Silva et al., 2018).

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{var(S)}} & se\ S > 0 \\ 0 & se\ S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{var(S)}} & se\ S < 0 \end{cases} \quad (7)$$

em que: n é o comprimento da série de tempo; p o número de valores amarrados em X e t o número de laços de extensão i.

Através da análise estatística Z, se aceita a hipótese nula (H0) caso os dados sejam estáveis. Já, quando configurada a tendência nos dados, é aceita a hipótese alternativa (Ha) (Silva et al., 2018b).

Z caracteriza se há tendência no teste. Quando positivos indicam que há uma tendência crescente e os valores negativos indicam tendência decrescente. Se Z for 0, não há tendência.

2.5.2 Estimador de inclinação de Sen's slope (Sen)

O estimador de inclinação de Sen's Slope (Sen, 1968) tem como objetivo estimara inclinação de tendência em uma série, utilizando para este um modelo de estimativa de tendência linear, com variâncias nos resíduos de forma constante temporalmente, a partir da Equação 8:

$$Q_{i=\frac{x_{j-}x_k}{j-k}} \text{ for i = 1..., n} \tag{8}$$

em que: x_j e x_k representam valores nos tempos *j* e *k (j> k)*, respectivamente. Se houver *n* valores de *x* na série temporal, obtemos até $N = n\,(n-1)/2$ estimativas de inclinação *Q1*. Os valores *N* de *Qi* são classificados do menor ao maior, e o estimador de inclinação de Sen's é a mediana dos valores *N* de *Qi*; este valor é calculado como na Equação 9:

$$Q_{med} = \begin{cases} Q\left(\frac{n+1}{2}\right) & se\ N\ for\ ímpar \\ \frac{Q\left(\frac{n}{2}\right)^{+Q}\left(\frac{n+2}{2}\right)}{2} & se\ N\ for\ par \end{cases} \tag{9}$$

Sendo: *Qmed* o sinal que reflete a tendência dos dados, enquanto o valor indica a inclinação de tendência. Quando se pretende determinar se a inclinação média é significativamente diferente de zero, o intervalo de confiança de *Qmed* deve ser obtido em uma probabilidade específica.

O intervalo de confiança considerando a inclinação de tempo pode ser calculado de acordo com a Equação 10 (Gilbert, 1987):

$$Ca = Z_1 - \frac{a}{2}\sqrt{var\ (s)} \tag{10}$$

em que: *Z1 – a / 2* é obtido a partir de uma tabela de distribuição normal padrão. Posteriormente determina-se *M1 = (n – C α) / 2 e M2 = (n + Cα) / 2*, sendo que são o intervalo de confiança e seus limites inferior e superior, *Qmin e Qmax* , é o *M1 º* maior e *(M2+ 1)* o maior das estimativas de inclinação ordenada *n*, respectivamente (GILBERT, 1987). A inclinação *Qmed* é significativa diferente de zero se os dois limites (*Qmin* e *Qmax*) têm sinais semelhantes.

2.5.3 Teste de homogeneidade de Pettitt

Conhecido como teste de ruptura de Pettitt (Pettitt, 1979) é um teste não-paramétrico onde a partir de duas amostras se verifica se ambas pertençam a mesma população, Y_1,..., Y_T e Y_{t+1},..., Y_T (Groppo et al., 2005). O mesmo utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney, onde é utilizado para observar a homogeneidade das séries temporais, podendo proporcionar informações acerca do ponto de descontinuidade da série, sendo que este é sensível a heterogeneidades localizadas no meio da série. É formulado com em números de ordem correspondente à ordenação crescente dos valores.

A hipótese nula estabelece que a variável é independente e identicamente distribuída, ouseja, homogênea, já a hipótese alternativa determina um desvio na média, uma mudançanos dados (Santos et al., 2012). A estatística do teste é definida pela Equação 11:

$$U_k = 2\sum_{i=1}^{k} O_i - k(n+1) \quad (11)$$

em que: O_i é a ordem da i-ésima observação, quando os valores de Y_1, ..., Y_n são ordenados em ordem crescente. A estatística k(t) do teste de Pettitt é de acordo com a Equação 12:

$$K(t) = \max_{1 \le k \le n} |U_k| \quad (12)$$

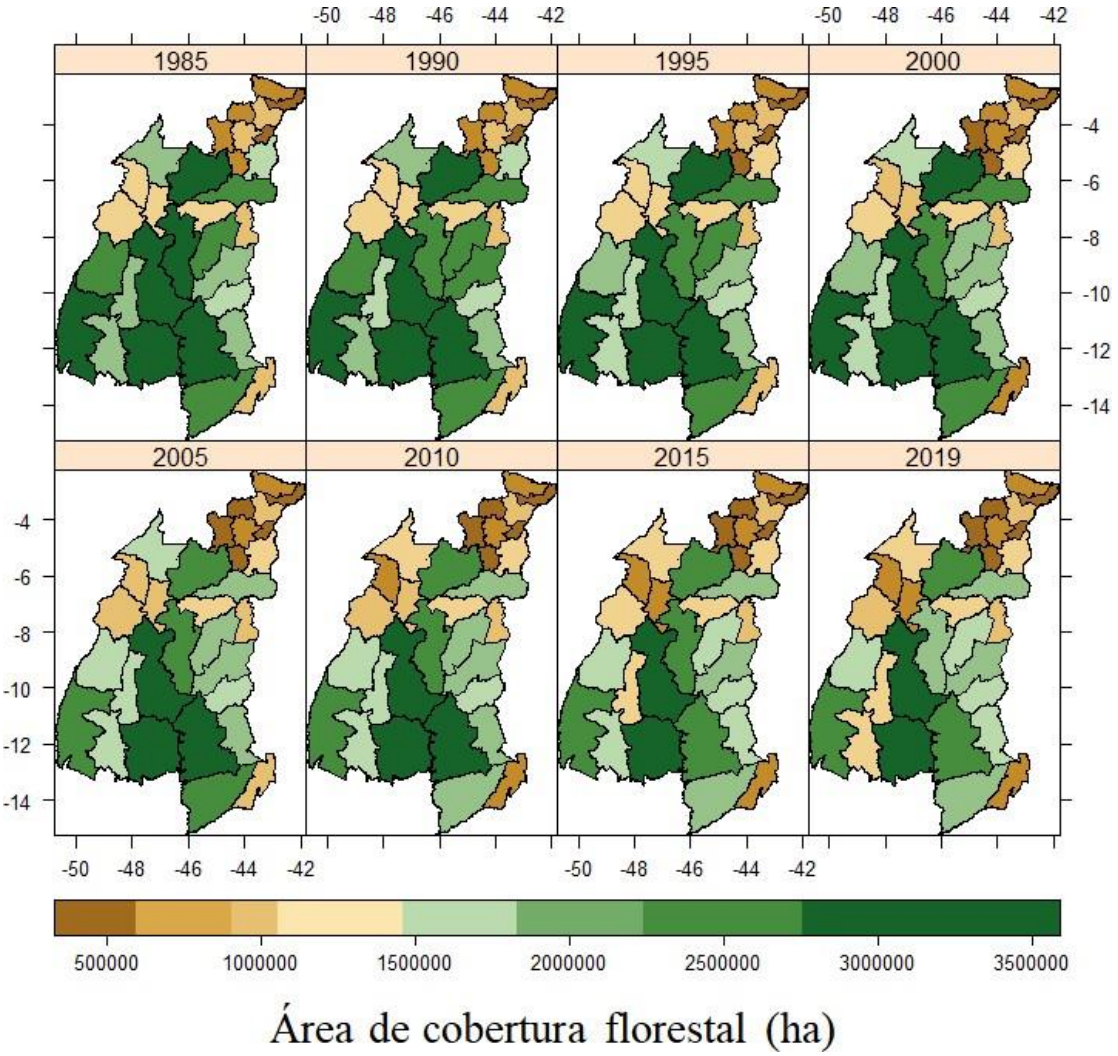
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente quando observado os dados de cobertura florestal, a partir da Figura 2, nota-se que as microrregiões de maior composição de floresta natural no ano de 1985 estão localizadas na parte central da região de estudo, compostas por Alto Mearim e Grajaú, Gerais de Balsas, Jalapão, Barreiras, Dianópolis e ainda Rio Formoso, sendo que destas, Barreiras (BA) apresentou valor superior, com aproximadamente 3Mha. Já a região de menor cobertura compreende Coelho Neto (MA), tendo esse último 351.398 ha. Essas mesmas regiões de maior/menor cobertura apresentaram redução vegetal em torno de 25% na primeira e 5% na segunda. Nota-se perda significativa de vegetação na região oeste, compreendendo grande parte do estado de Tocantins, com destaque as microrregiões de Porto Nacional e Gurupi.

Observa-se que a região norte do Maranhão, já apresentava baixa cobertura vegetal natural na década de 80 e que no período posterior aos anos 2000, grande parte da área da pesquisa demonstrou redução em sua vegetação nativa.

Polizel et al. (2021) concluíram que a classe de vegetação do Cerrado diminuiu aproximadamente 8 Mha nos últimos 27 anos (1990 a 2017). Entre 2000 e 2009, a vegetação do Cerrado diminuiu em torno de 102 Mha para aproximadamente 95 Mha. Em 2017, 44,5% da área do Cerrado era coberta por vegetação de Cerrado e 11,8% por lavouras, uma demonstração de como essa paisagem mudou desde o início da década de 1990, o que corrobora com os dados demonstrados nesse trabalho, confirmando o alto nível de perda de floresta nativa.

Figura 2 - Distribuição espacial da variabilidade da cobertura florestal (ha) nas microrregiões do MATOPIBA no período de 1985 a 2019.

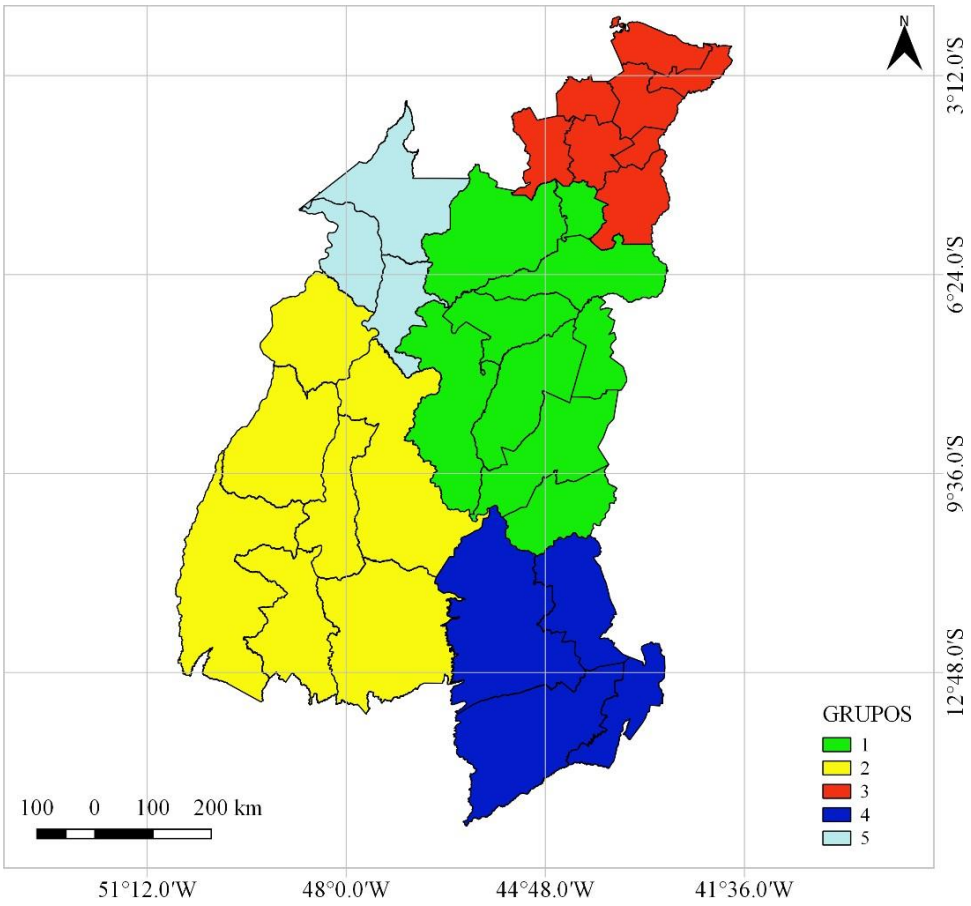


(**Fonte:** Autor, 2021).

Para melhor interpretação da distribuição da cobertura vegetal e como essas alterações vem ocorrendo ao longo dos anos, utilizou-se métodos de distribuição das

microrregiões, proporcionando uma maior visualização do todo. De acordo com a Figura 3 é possível identificar Regiões Homogêneas (RH) e como estas estão alocadas, tomando como critério de agrupamento os métodos hierárquicos, representados em grupos com grau de semelhança a partir da metodologia de Ward (1983). Diante da necessidade observacional foram separadas as 31 microrregiões em 5 grupos, possibilitando assim uma melhor explanação dos dados.

Figura 3 - Regiões homogêneas de redução de cobertura florestal na região MATOPIBA durante o período de 1985 a 2019.



(**Fonte:** Autor, 2021).

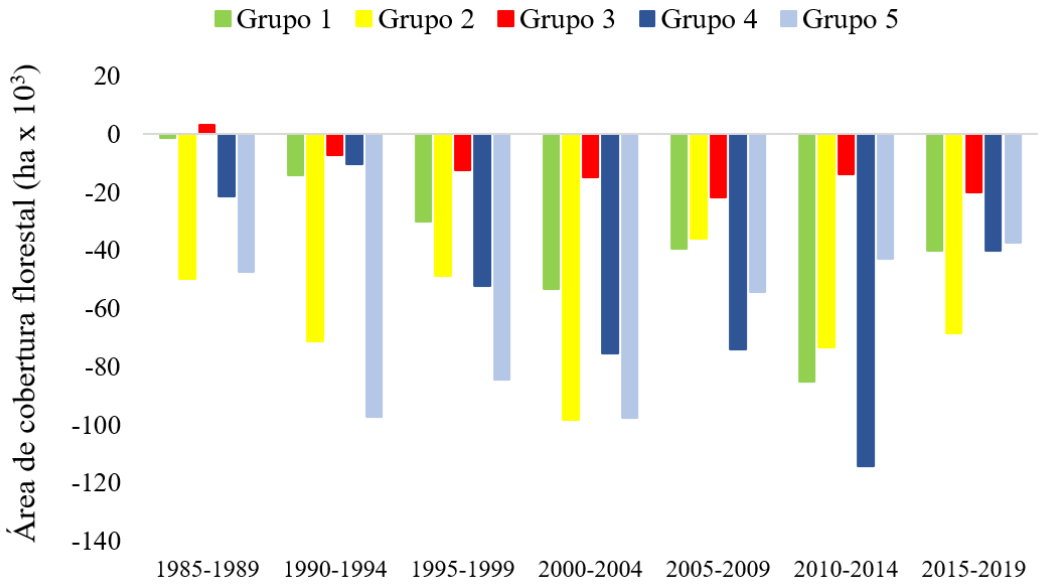
Ao analisar o comportamento da superfície por grupos, pode-se observar que o grupo que demonstrou maior perda de cobertura vegetal nativa foi o 2 com aproximadamente 550.153 ha, seguido do grupo 5 (529.476 ha), 4 (440.390 ha) e 1 (324.476 ha) respectivamente. O grupo 2 é composto pelas microrregiões de Gurupi, Porto Nacional, Jalapão, Dianópolis, Araguaína, Miracema do Tocantins e Rio Formoso, ou seja, pertencentes a Tocantins (TO), o que coincide com o levantamento apresentado

por Rudorff e Risso (2018) que apresentaram esse estado como de grande incentivo para a produção de soja. O grupo 3 foi o que apresentou menor perda de cobertura vegetal original, com aproximadamente (110.941 ha) composto pelas microrregiões de Baixo Parnaíba Maranhense, Chapadinha, Lençóis Maranhenses, Itapecuru Mirim, Médio Mearim, Codó, Coelho Neto e Caxias, todas compreendidas no Maranhão (MA).

Pode-se identificar a partir da Figura 4, a variabilidade temporal da cobertura florestal natural entre os períodos mais curtos do ano (5 anos), que o intervalo de maior perda na região compreendida pelo grupo 2 (grupo de maior alteração na vegetação) foi entre os anos de 2000-2004, o que justamente coincide com o ápice de incentivo da produção de soja para a região de Tocantins, no início do ano 2000, citado por (Rudorff; Risso, 2018).

Ainda de acordo com a Figura 4 é possível inferir que, o grupo 3 além de ser o que apresentou menos perda de cobertura natural, ainda foi o único que durante todo o período de 35 anos, exibiu exclusivamente entre 1985-1989, ganho de floresta natural.

Figura 4 - Amplitude da cobertura florestal natural em intervalos de 5 anos para o período de 1985-2019.



(**Fonte:** Autor, 2021).

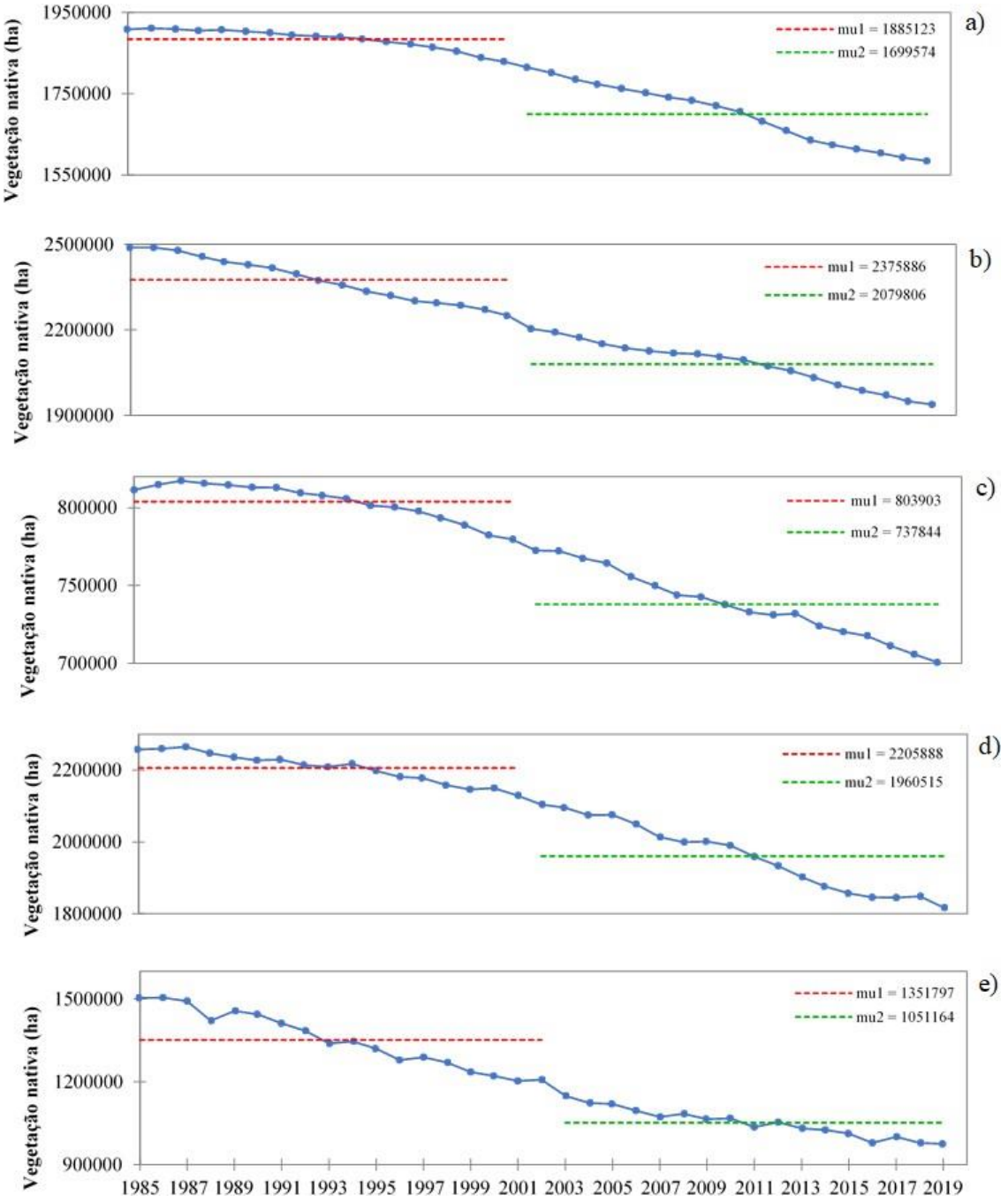
Ao analisar os dados de perda de cobertura vegetal composta por estrutura florestal natural e formação savânica, pode-se observar que ao longo dos 35 anos (1985-

2019) MATOPIBA apresentou redução de área vegetal de aproximadamente 11 Mha o que é considerada uma perda expressiva, coincidindo com um período de grande expansão da agricultura, considerando que grande parte da redução de floresta natural possa ter sido consequência do crescente incentivo ao agronegócio. Nos últimos 19 anos (2000-2019) mais da metade do valor de perda de cobertura vegetal foi identificado, equivalente a aproximadamente 7 Mha, sendo que a partir dos anos 2000 houve um grande avanço na produção de soja nessa região do Brasil. De acordo com Carneiro-Filho e Costa (2016), a partir do ano 2000 ocorreu ampla expansão da produção de soja em todo o Cerrado, entretanto grande parte se deu sob área anteriormente de pasto ou antropizada, já na região de MATOPIBA essa expansão se deu sob áreas de vegetação nativa, sendo que a área de soja aumentou de 1 Mha para mais de 3 Mha (crescimento de253%), com 68% deste sob vegetação nativa entre 2000 a 2007 e aumentando para 62% no período seguinte, 2007 a 2014, com foco nos estados de Maranhão e Piauí.

A partir do relatório da "Agrosatélite Geotecnologia Aplicada" de Rudorff e Risso (2018) pode-se analisar que no MATOPIBA a área de soja aumentou aproximadamente 2 Mha entre o período de 2000/01 — 2016/17, onde mais da metade (69%) se deu com desmatamento, sendo que no período de 2013/14—2016/17 houve queda nesses dados devido ao desfavorecimento do mercado e intempéries climáticas ocorrentes nos anos de 2012 e 2015 que desaceleraram os investimentos, levando a um aumento de 35% com destaque ao estado de Tocantins no mesmo período, mantendo ainda essa região em uma posição de grande relevância para o processo de expansão da soja.

De acordo com a Figura 5 pode-se notar a quebra estrutural na série de cobertura florestal natural ao longo do período de estudo. Percebe-se que, em todos os grupos, o ano de 2001 é o período que marca essa quebra estrutural na série temporal, exceto no grupo 5, que apresentou quebra no ano de 2002 o que demonstra o período em que houve uma mudança relativamente brusca de perda de vegetação. Trabalhos como o de Spera et al. (2016) em seu trabalho sobre mudança de uso do solo e suas consequências para a reciclagem de água na região de fronteira agrícola, relatam mudança expressiva na cobertura vegetal a partir do ano 2000 e expressivo avanço da agricultura em áreas nativas entre o período de 2003 a 2013, corroborando com o apresentado.

Figura 5 - Variabilidade temporal da cobertura florestal distribuída por grupos a) Grupo 1, b) Grupo 2, c) Grupo 3, d) Grupo 4, e) Grupo 5, na região do MATOPIBA no período de 1985 a 2019.



Nos grupos 2, 3 e 4 essa mudança é notadamente mais intensa nos gráficos, enquanto que nos grupos 1 e 5 ela ocorre de forma mais linear, menos brusca. Entretanto, as maiores perdas se deram nos grupos 2 e 5 de aproximadamente 12% e 22%. E a menor perda se deu no grupo 3 de aproximadamente 8%, a um nível de significância p-valor de 0,01%.

Tabela 1 - Testes estatísticos de tendência de Mann- Kendall, estimador de inclinação de Sen's Slope e teste de homogeneidade de Pettitt, aplicados a série histórica no período de 1985 a 2019 por grupos.

VARIÁVEL	PETTITT				MANN-KENDALL		
	p-valor	t	Δt	k	Tau de Kendall	Sen's Slope	p-valor
Grupo 1	< 0,0001	2001	-185549	306.0000	-0.9899	-10769	< 0,0001
Grupo 2	< 0,0001	2001	-296080	306.0000	0.9966	-16577	< 0,0001
Grupo 3	< 0,0001	2001	-66059	306.0000	-0.9697	-3813	< 0,0001
Grupo 4	< 0,0001	2001	-245373	306.0000	-0.9630	-13937	< 0,0001
Grupo 5	< 0,0001	2002	-300633	306.0000	-0.9630	-16826	< 0,0001

A partir do teste de Mann-Kendall pode-se identificar que toda a série apresentou significância estatística (p-valor <0,0001), demonstrando ainda tendência negativa, ou seja, tendência de perda de cobertura vegetal. De acordo com a metodologia de Curvatura de Sen's, percebe-se que os grupos de maior e menor perda por ano se deram nos grupos 5 (-16.826 ha) e 3 (-3.813 ha) respectivamente (Tabela 1).

4.CONCLUSÕES

Com base no exposto, conclui-se que:

A partir da dinâmica espaço temporal do uso e cobertura das terras em MATOPIBA, houve tendência de redução de vegetação nativaem todos os grupos durante a série histórica analisada, o que indica perda de cobertura vegetal de cerrado nas microrregiões ao longo dos 35 anos estudados. Após o método de distribuíção de grupos, concluiu-se que houve redução mais significativa no grupo 2, compreendido pela região oeste, ocorrendo maior perda no estado de Tocantins. Já o grupo 3, apresentou menor alteração em sua cobertura florestal original.

Observou-se ainda que em alguns grupos, essa mudança na cobertura florestal ocorreu de forma mais gradativa em algumas microrregiões, enquanto que em outras, esse processo aconteceu de forma mais abrupta, tendo uma perda de cobertura vegetal natural expressiva, equivalente a 11 Mha ao longo dos 35 anos de estudo

O período que marca o processo de alteração de forma mais expressiva ocorreu no ano de 2001 para a maioria dos grupos, após análise da quebra estrutural na série, exceto o grupo 5 que ocorreu em 2002. Entretanto, coincide com o apresentado por outros autores, que registraram o período a partir do ano 2000, como de grande mudança na cobertura do solo, podendo o mesmo ter o incentivador de grande investimento aplicado na agricultura da região nessa mesma época, principalmente para a produção de soja.

Por fim, a metodologia proposta foi satisfatória e demonstrou que a distribuíção de agrupamento para análise estatística é um método eficiente para melhor compreensão do comportamento espacial de grandes áreas, como também, a análise de séries temporais proporciona um melhor diagnóstico de períodos marcantes das mudanças sofridas a partir do uso e ocupação da superfície.

Entretanto, com base nos dados expostos neste estudo, ainda não se pode determinar se de fato a expansão da produção agrícola por si só, foi a grande responsável por essa alteração, já que para isso, se faz necessário a análise de outros indicadores, com um estudo mais detalhado sobre o crescimento da agricultura durante o mesmo período.

5.REFERÊNCIAS

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. K¨oppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift.** v.22, n.6, pp.711–728. 2013. Disponível em https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507 Acesso em: 12 outubro 2023.

Bari, S.H.; Muhammad, T.U.; Md, A.H.; Hussain, M. Analysis of seasonal and annual rainfall trends in northern Bangladesh. **Atmospheric Research**, v. 176-177,p. 148- 158, 2016. Disponível em http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.02.008 Acesso em: 23 setembro 2024.

Bernoux, M.; Branca, G.; Carro, A.; Lipper, L.; Smith, G. Ex-ante greenhouse gas balance of agriculture and forestry development programs, (February). p.31–40. 2010.

Carneiro Filho, A. ; Costa, K. A expansão da soja no CerradoCaminhos para a ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável, INPUT do Brasil, Agroicone. 30 pp. 2016.

Everitt, B.; Landau, S.; Leese, M. Cluster Analysis. **A Hodder Arnold Publication**, ed.4. 2001.

Gilbert, R. O. Statistical methods for environmental pollution monitoring. John Wiley e Sons, Hoboken, 1987.

Groppo, J. D.; GROPPO, J. D.; MORAES, J, M.; BEDUSCHI, L. A. M. Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas. **Geociências**. v. 24, n. 2, p. 181-193, 2005.

HART ENERGY CONSULTING & GABI. **Land Use Change: Science and Pilicy Review.** 51p. 2010.

Holler, W. A.; Rosot, M. A. D.; Garrastazu, M. C.; Figueira, I. F. R.; Luz, N. B.; Maran, J. C.; Franciscon, L.; Oliveira, Y. M. M. Dinâmica de uso e cobertura da terra e análise de tendência de mudanças para o município de Caçador, SC**. Ciência e Natura**, v.40, ed.63. 2018. Disponível em https://doi.org/10.5902/2179460X32437 Acesso em: 12 junho 2023.

Kendall, M.G. Rank correlation methods, 4th edn. Charles Griffin, London, UK, 1975.

MAPA—Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2017/18 a 2027/28 projeções de longo prazo/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Política Agrícola – Brasília, MAPA/ACE. 112p, 2018.

MAPBIOMAS General "Handbook": **Algorithm Theoretical Basis Document**

(ATBD). Collection 5, Version 1.0. 2020a. Disponível em https://mapbiomas.org/download-dos-atbds Acesso em: 19 maio 2021.

MAPBIOMAS — **Cerrado:** Appendix. Collection 5, Version 1.0. 2020b. Disponível em https://mapbiomas.org/download-dos-atbds Acesso em: 23 novembro 2021**.**

Marengo, J. A.; Jimenez, J. C.; Espinoza, J. C.; Cunha, A. P.; Aragão, L. E. O. Increased Climate Pressure on the New Agricultural Frontier in the Eastern Amazonia-Cerrado Transition Zone. **Reserach Square**, v.1, 17 pp, 2021.

Mingoti, R., Holler, W. A., Spadotto, C. A. **Características predominantesde bioma, clima, relevo e solos na área dos estados do Maranhão, Tocantins,Piauí e Bahia**. 2014. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de- publicacoes/-/publicacao/990918/caracteristicas-predominantes-de-bioma-clima- relevo-e-solos-na-area-dos-estados-do-maranhao-tocantins-piaui-e-bahia> Acesso em 27 outubro 2021.

Pavão, V. M.; Querino, C. A. S.; Beneditti, C. A.; Pavão, L. L.; Querino, J. K. A. S.; Machado, N. G.; Biudes, M. S. Variação espacial e temporal do saldo de radiação superficial em uma área do Sul do Amazonas, Brasil. **Revista Ra'e Ga**, v.37, p 333 – 352, 2016. Disponível em http://dx.doi.org/10.5380/raega.v37i0.42469 Acesso em: 25 junho 2024.

Pereira, C. N. Estrutura agrária no MATOPIBA: apontamentos a partir do censo agropecuário de 2017. **Boletim regional, urbano e ambiental, IPEA.** 12p. 2019.

Pettitt, A. N. A non-parametric approach to the change-point detection. **Applied Statistics**, v. 28, p. 126-135, 1979.

Polizel, S. P.; Vieira, R. M. S. P.; Pompeu, J.; Ferreira, Y. C.; Sousa-Neto, E. R.; Barbosa, A. A. Analysing the dynamics of land use in the context of current conservation policies and land tenure in the Cerrado – MATOPIBA region(Brazil). **Elsevier**. 2021. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105713 Acesso em 15 maio 2023.

Rudorff, B.; Risso, J. Análise geoespacial da dinâmica da soja no bioma Cerrado:2014 a 2017. **Agrosatélite Geotecnologia Aplicada**, 20p, 2018.

Santos, H. G.; Carvalho-Junior, W.; Dart, R. O.; Aglio, M. L. D.; Sousa, J. S.; Pares, J. G.; Fontana, A.; Martins, A. L. S.; Oliveira, A. P. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. **Embrapa Solos**, p. 67. 2011.

Santos, R. S.; Sediyama, G. C.; Oliveira, R. A.; Abrahão, G. M. Homogeneidade de séries climatológicas em Minas Gerais. **Revista Brasileira deEngenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n.12, pp.1338-1345. 2012. Disponível em https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001200011 Acesso em: 08 maio 2024.

Sen, P. K. Estimates of the Regression Coefficient based on Kendall's Tau. **Journal of the American Statistical Association**, v.63, p.1379-1389, 1968.

Smith, P.; Bustamante, M.; Ahammad, H.; Clark, H.; Dong, H.; Elsiddig, E. A.; Haberl, H.; Harper, R.; House, J.; Jafari, M.; Masera, O.; Mbow, C.; Ravindranath, N. H.; Rice C. W.; Abad, C. R.; Romanovskaya, A.; Sperling, F.; Tubiello, F. 2014: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs- Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UnitedKingdom and New York, NY, USA. 2014.

Silva, M. J. G.; Querino, C. A. S.; Santos Neto, L. A.; Machado, N. G.; Militão, J. S.; Biudes, M. S. Efeito da ocupação do solo sobre o clima de PortoVelho, Rondônia, Brasil. **Revista Ra'e Ga,** v. 43, p. 232 -251, 2018.

Silva, M. N. A.; Pessoa, F. C. L.; Silveira, R. N. P. O.; Rocha, G. S.; Mesquita, D. A. Determinação da Homogeneidade e Tendência das Precipitações na Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, v. 4, p.665-675, 2018. Disponível em https://doi.org/10.1590/0102-7786334008 Acesso em: 12 setembro 2023.

Souza, E. B.; Ferreira, D. B. S; Guimarães J. T. F.; Franco, V. S.; Azevedo, F. T.M. Souza, P. J. O.P. Padrões Climatológicos e Tendências da Precipitação nos Regimes Chuvoso e Seco da Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, set. 2017. Disponível em https://doi.org/10.5380/abclima.v21i0.41232 Acesso em: 06 outubro 2023.

Spera, S. A.; Galford, G. L.; Coe, M. T.; Macedo, M. N.; Mustard, J. F. Land-Use Change 3 Affects Water Recycling in Brazil's Last Agricultural Frontier. **Global Change Biology**. 2016.

Turner II, B. L.; Lambin, E. F.; Reenberg, A. The emergence of land change science for global. v. 104, n. 52, p. 20666–20672. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. 2007.

CAPÍTULO V

VARIABILIDADE DE INDICADORES AMBIENTAIS EM RESPOSTA ÀS MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA SUPERFÍCIE NO MATOPIBA

VARIABILIDADE DE INDICADORES AMBIENTAIS EM RESPOSTA ÀS MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA SUPERFÍCIE NO MATOPIBA

RESUMO: Variáveis ambientais são essenciais quando se deseja avaliar a qualidade ambiental e biodiversidade de uma determinada área ou região, possibilitando estimar o nível de conservação/impacto gerado por uma atividade. Neste sentido, o objetivo deste trabalho consiste em analisar a variabilidade de indicadores ambientais e como estes estão associados às mudanças de uso e cobertura da superfície na região do MATOPIBA, entre 1985 a 2019. Para isso utilizou-se a variável GPP (Gross Primary Productivity) a partir dos dados do produto MOD17A2H a ET (Evapotranspiração), o MOD16A2 e o EVI (Enhanced Vegetation Index) a partir do produto MOD13A1. Os dados de chuva foram baixados através do pacote UCSB-CHG/CHIRPS. Todas as variáveis foram baixadas e processadas no Google Earth Engine (GEE) e posteriormente analizadas para identificação do comportamento de cada uma e como estas respondem como indicadores de qualidade ambiental. Pode-se observar que a região apresentou baixa variação na densidade dos dados de GPP, EVI e WUE, apesar da expressiva substituíção de sua vegetação primária, os baixos valores de GPP e dos índices pluviométricos foram identificados em meados de 2016. houve alteração positiva no comportamento da WUE em 2017, após o aumento dos níveis de chuva, que ocorreram nos anos subsequentes. Os resultados da correlação de Spearman demonstram maior correlação entre a ET e o EVI, entre a GPP e a ET e também entre a EVI e a precipitação. Concluiu-se ainda que a região apresentou redução de área florestal e savânica, em contrapartida, crescimento nas áreas destinadas ao agronegócio.

Palavras-Chave: Variáveis ambientais; Cerrado; Savana; Agronegócio.

VARIABILITY OF ENVIRONMENTAL INDICATORS IN RESPONSE TO CHANGES IN LAND USE AND COVER IN MATOPIBA

ABSTRACT: Environmental variables are essential when you want to evaluate the environmental quality and biodiversity of a given area or region, making it possible to estimate the level of conservation/impact generated by an activity. From this, the objective of this work is to analyze the variability of environmental indicators and how they are associated with changes in use and surface coverage in the MATOPIBA region, between 1985 and 2019. To determine the variable GPP (Gross Primary Productivity) data from the MOD17A2H product was used and for ET (Evapotranspiration) MOD16A2, the EVI (Enhanced Vegetation Index) was obtained from the MOD13A1 product. Rainfall data were downloaded via the UCSB-CHG/CHIRPS package. All variables were downloaded and processed in Google Earth Engine (GEE) and subsequently analyzed to identify the behavior of each one and how they respond as indicators of environmental quality. It can be observed that the region showed low variation in the density of GPP, EVI and WUE data, despite the significant replacement of its primary vegetation, however, low levels of GPP and rainfall levels were identified in mid-2016. there was a change positive impact on WUE behavior in 2017, following the increase in rainfall levels that occurred in subsequent years. The Spearman Correlation results demonstrate a greater correlation between ET and EVI, between GPP and ET and also between EVI and precipitation. It was also concluded that the region showed a reduction in forest and savanna area, on the other hand, growth in areas destined for agribusiness.

Keywords: Environmental variables; Cerrado; Savana; Agribusiness.

1. INTRODUÇÃO

As variáveis ambientais são determinantes para compreensão da qualidade e saúde ambiental do meio. Através destas, se torna possível estimar a biodiversidade e o nível de conservação de uma determinada área ou região, garantindo assim, seu equilíbrio ecológico. De acordo com Neto et al. (2009) os indicadores ambientais são instrumentos responsáveis por possibilitar o planejamento e gestão dos espaços urbanos, como também dos espaços rurais, fomentando um melhor aproveitamento dos recursos naturais e mitigando ações degradadoras e consequentes prejuízos econômicos.

O Índice de Vegetação Aprimorada (Enhanced Vegetation Index) conhecido pela sigla EVI é um indicador de qualidade ambiental, o qual determina a área foliar possibilitando e parametrizando o estado biofísico e as características de determinada vegetação, como também segundo Zeng et al. (2021) possibilita monitorar as mudanças ocorridas na vegetação em decorrências de incêndios e demais. Há ainda a varável Evapotranspiração (ET), fundamental na determinação da saúde ambiental das plantas, pois mensura o quantitativo de água perdida para a atmosfera a partir da evaporação superficial (sistema solo-planta) e pela transpiração das plantas, sob condições padronizadas onde a área necessita de extensa superfície natural (Carvalho et al., 2011).

A GPP (Produtividade Primária Bruta/Gross Primary Production) é um parâmetro responsável pela avaliação dos mecanismos que possibilitam uma análise global das mudanças de cobertura e clima, determinante na mensuração do ciclo biogeoquímico do CO_2 e fixação pelas plantas durante o processo de fotossíntese, essencial para o ideal desenvolvimento vegetal, muito utilizado em estudos de mudanças climáticas e alterações no uso e cobertura da terra (Silva et al., 2021). Por fim, o parâmetro de mensuração da Eficiência de Uso da Água (Water Use Efficiency) (WUE), diretamente relacionado a GPP e ET, a partir desse indicador de qualidade ambiental possibilita-se a mensuração de fatores relacionados ás mudanças climáticas, através da estimação do teor de CO_2 e H_2O na planta e deficiência no processo de irrigação e gestão produtiva (Santiago et al., 2022).

Para um adequado planejamento e gestão em equilíbrio com o meio ambiente, se faz necessário a compreensão das alterações ocorridas no meio, a partir da observação das mudanças e uso da cobertura superficial. De acordo com o IPCC (2023) as atividades do homem, como a emissão de gases de efeito estufa, uso insustentável de fontes energéticas, uso e alteração do solo, estilo de vida e padrões de consumo tem gerado efeitos catastróficos, os quais já estão afetando a vida humana e o equilíbrio planetário

através de extremos meteorológicos, ocasionando desequilíbrio na cadeia produtiva e alimentícia, hídrica, na saúde humana, na economia e irreparavelmente na natureza. A produtividade agrícola também tende a ser ameaçada devido a essas mudanças climáticas. O crescimento produtivo foi abrandado ao longo dos últimos 50 anos a nível mundial, com impactos negativos relacionados com o rendimento das culturas (IPCC, 2023).

Uma região de grande interferência antrópica em sua cobertura superficial é MATOPIBA. A nova fronteira agrícola, como é conhecida, apresenta grande expansão do mercado AGRO, principalmente no bioma Cerrado, o qual detém de maior percentual de área territorial (Neto et al., 2022). Nas últimas duas décadas, MATOPIBA tem apresentando expansiva substituíção de sua cobertura superficial natural para atividades voltadas a agropecuária, destacando-a não apenas dentro do mercado comercial, más também e principalmente, nos alertas do arco de desmatamento em 2022 (MapBiomas, 2023). Nesse mesmo ano, MATOPIBA concentrou 26,3% da área desmatada no país, um aumento de 37% quando comparado ao ano anterior (2021). 82,1% da área de supressão ocorreu sob vegetação nativa de cerrado (MapBiomas, 2023).

O desenvolvimento econômico e geração de empregos e renda devido ao exponencial crescimento do setor do agronegócio em MATOPIBA é inegável (Lopes, 2014). Entretanto, o custo ambiental para esse crescimento também tem sido expressivo, como desmatamento, compactação do solo, erosão, assoriamento de rios, contaminação dos corpos hídricos e perda em sua biodiversidade, o que acarreta em desequílibrio ecossistêmico (Cunha et al., 2008). Mensurar essas modificações e seus impactos a partir de parâmetros biofísico, como é o caso dos indicadores ambientais, é uma tarefa complexa, pois exige uma gama de informações em uma grande cobertura superficial, sendo inviável sua execução *in situ*. Ao longo das décadas muitos estudos têm sido desenvolvidos a partir de tecnologias remotas. Técnicas de sensoriamento remoto vem sendo utilizado como ferramenta para monitorar a superfície da terra e vários algoritmos com esta finalidade tem sido desenvolvidos (Ren et al., 2017).

Sendo assim, métodos de determinação e mensuração das alterações ocorridas na cobertura da terra, a partir do uso do sensoriamento remoto, são de grande relevância como embasamento para políticas de gestão ambiental e desenvolvimento econômico mais adequados. A partir do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar a variabilidade de indicadores ambientais e como estes estão associados às mudanças de uso e cobertura da superfície na região do MATOPIBA.

2. MATERIAL E MÉTODOS

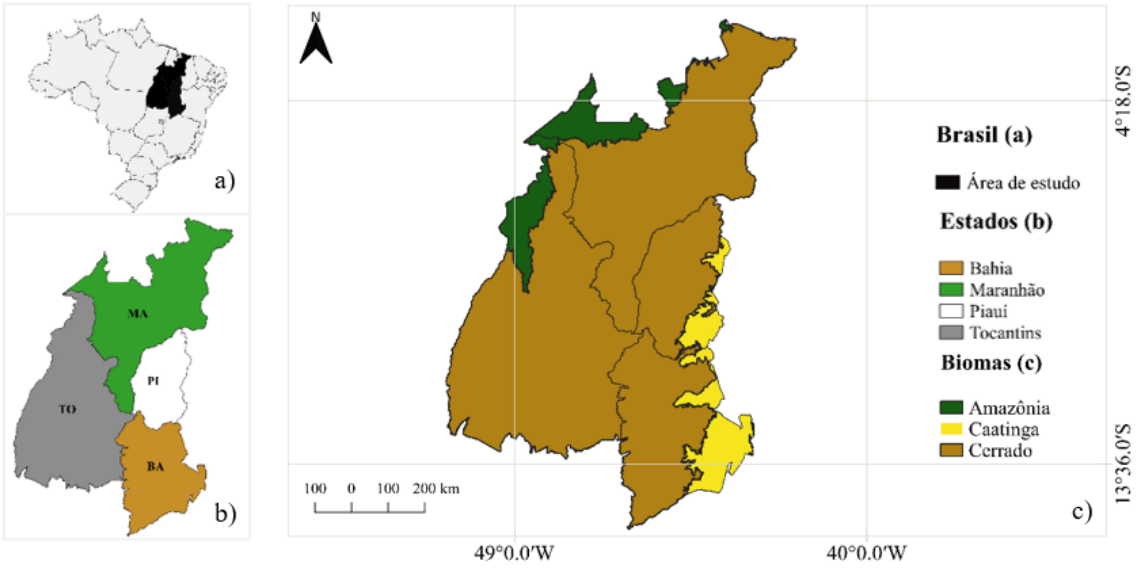
2.1 Área de estudo

A região do MATOPIBA é composta por territórios dos estados de Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (Figura 1). Abrange cerca de 73.600.000 ha, distribuída em 337 municípios (MAPA, 2018). Relevo composto de depressões e áreas de planalto (Santos et al., 2011; Polizel et al., 2021). Quatro bacias sedimentares circundam a região, sendo três delas classificadas como bacias intracratônicas, ou seja, as quais localizam-se no interior de regiões tectonicamente estáveis dos continentes (os crátons): Bacia do Parnaíba, Bacia do São Francisco e Bacia do Bananal. Há ainda a Bacia de Barreirinhas, classificada como bacia de margem equatorial (Magalhães e Miranda, 2014). Vegetação predominante é o Cerrado, com um percentual de distribuíção de 91% da área. A demais, existem parcelas de remanescentes da Amazônia, ocupando 7,3% e áreas de Caatinga, com uma parcela de aproximadamente 1,7% de área territorial (EMBRAPA, 2023).

O clima tropical predominante, segundo a classificação de Köppen-Geiger, sendo duas estações secas, uma compreendendo cinco meses e a outra pode ultrapassar seis meses (Mingoti et al., 2014), com temperaturas variando de 20 a 26°C e precipitação em torno de 700 a 1900 mm (Alvares et al., 2013), abrangendo de acordo com Magalhães e Miranda (2014) aproximadamente 78% da região. As demais áreas, compreendidas pelo Leste, é caracterizado por um clima semiárido, com baixa umidade precipitação, equivalente a seis meses secos. De acordo com a análise de variabilidade espaço-temporal da precipitação na região de MATOPIBA realizada por Reis et al. (2020) a quadra chuvosa que apresenta maioríssimo valor de precipitação se concentra de janeiro a março, sendo março o mês de maior média acumulada. No mês subsequente, há um decréscimo, correspondente ao final do período chuvoso em uma maior parte da região. O período de maio a setembro marca a estação seca de MATOPIBA.

Sua hidrografia é classificada a partir de três bacias: Bacia do Rio Tocantins, a qual apresenta uma área de extensão de 43% da área do MATOPIBA, Bacia do Atlântico – Trecho Norte/Nordeste, com 40% de área e Bacia do Rios São Francisco, recobrindo 17% da região. Seus principais rios são: Araguaia, Tocantins, São Francisco, Parnaíba, Itapicuru, Mearim, Gurupi e Pindaré. O solo do tipo latossolo são predominantes, seguido dos neossolo e plintossolos (Magalhães e Miranda, 2014).

Figura 1 - Mapa de localização da região do MATOPIBA (a) delimitação nacional, (b) estados e (c) biomas que compõem a região de estudo.



(**Fonte:** Autor, 2024)

MATOPIBA é composta por aproximadamente 5Mha de área destinada a agricultura, distribuída entre lavoura temporária e lavoura perene. As culturas de lavoura temporária de maior representatividade territorial são: soja, cana-de-açúcar, arroz e algodão. Já a perene é o café. Dentre estas, a soja ocupa um espaço de aproximadamente 4 Mha e o algodão 198 mil ha. Junto com a agricultura, a pecuária (agropecuária) ocupa o equivalente a 35, 41% de sua área territorial **(**https://mapbiomas.org/, acessado em 30 de novembro de 2023).

2.2 Coleta de dados

No presente estudo, para determinação dos indicadores ambientais responsáveis pela análise das mudanças de uso e cobertura da superfície na região do MATOPIBA, se fez necessário o uso de GPP e ET, obtidos e processados a partir do produto MOD17A2H versão 006 e MOD16A2, ambos são compostos cumulativos de 8 dias, com resolução de 500m. Assim como, os dados do EVI, disponível no produto MOD13A1 versão 006, com resolução de 500m, sendo um compilado de 16 dias. Os dados de chuva foram obtidos a partir do pacote UCSB-CHG/CHIRPS, que fornece dados de precipitação do Climate Hazards Group através de um banco de dados de mais de 30 anos, incorporando uma série histórica em grade a partir de imagens de satélite e dados de estação. Todos as variáveis

citadas anteriormente foram baixadas e processadas através da plataforma do Google Earth Engine (GEE) (https://earthengine.google.com/). Os dados do pacote CHIRPS são, de acordo com Funk et al. (2015) consistentes e validados.

Os dados de uso e cobertura do solo, foram obtidos na plataforma do MapBiomas (mapbiomas.org/estatísticas) coleção 5.0, processados anualmente com resolução espacial de 30x30 metros (Raster), apresentados por bioma, o que facilita a captação das informações da área específica. São classificadas oito classes de uso e cobertura: formação florestal; formação savana; grassland (campina); pasto; agricultura; outras áreas não vegetadas; rio, lago e oceano; não observado. A partir do banco de dados gerado em área (hectares) para cada bioma, separou-se os estados e municípios e agrupou-se os mesmos em 31 microrregiões geopolíticas.

A manipulação dos dados e cálculos foram realizados através dos softwares R versão 4.3.1 e QGIS (Quantum GIS) versão 3.18.3.

2.3 Metodologia

2.3.1 Determinação da Eficiência de Uso da Água (WUE)

Para determinação da WUE se faz necessário a utilização dos parâmetros GPP e ET, sendo os mesmos obtidos através do produto MOD17A2H e MOD16A2 respectivamente.

A GPP (MOD17A2H), é determinada a partir da eficiência de uso da luz (ε) e a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (APAR). Equação 1:

$$\text{GPP} = \varepsilon \, . \, APAR \qquad (1)$$

em que, a APAR é determinada a partir da radiação fotossinteticamente ativa absorvida incidente e a radiação de ondas curtas incidente. Para mais detalhes, buscar Running e Zhao (2019). Embora a GPP seja estimada diariamente, são disponibilizados dados de uma somatória de 8 dias (disponível em https://lpdaac.usgs.gov/products/mod17a2hv006/) e os dados foram convertidos para gC/m².

A ET (MOD16A2) é baseada na equação de Penman-Monteith (Monteith, 1965) aprimorada a partir de dados de sensorimento remoto e dados meteorológicos globais (https://lpdaac.usgs.gov/products/mod16a2v006/), conforme Equação 2:

$$\lambda E = \frac{s\,A' + \rho C_p \frac{(e_{sat}-e)}{r_a}}{s + \gamma(1+\frac{r_s}{r_a})} = \frac{s\,A' + \rho C_p \frac{VPD}{r_a}}{s + \gamma(1+\frac{r_s}{r_a})} \quad (2)$$

O EVI (MOD13A1), segundo Didan et al. (2015) é estimado a partir dos dados de radiação infravermalha próxima (NIR), coeficiente de termo de resistência (C1=6 e C2=7,5) e fator de escala G=2,5 (disponível em https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13a1v006/). Equação 3:

$$EVI = G\frac{NIR-Red}{NIR+C1Red-C2Blue+L} \quad (3)$$

A partir dos mesmos, calculou-se a WUE (gC/kgH_2O) por meio da equação proposta por Briggs e Shantz (1913) que determina a razão entre essas duas variáveis através do software Excel, demonstrando a relação existente entre a produtividade das plantas e seu consumo de água, como também o percentual de biomassa por unidade de água, conforme Equação 4:

$$WUE = \frac{GPP}{ET} \quad (4)$$

2.3.2 Análise estatística - Coeficiente de correlação de Spearman

Toda a análise estatística foi desenvolvida através do software R. Aplicou-se o método de coeficiente de correlação de Spearman, o qual de acordo com Sousa (2019) avalia a intensidade e o sentido da relação em que duas variáveis monótona estejam, em uma escala ordinal, sendo aplicado em dados lineares e não-lineares. O mesmo não é sensível a assimetria e nem a outliers. Pode-se dizer que equivale a correlação de Pearson aplicado a dados ordenados. Equação 5:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} = r_s \quad (5)$$

equivalendo a

$$r_s = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2-1)}$$

sendo: $\boldsymbol{d_i} = \boldsymbol{x_i} - \boldsymbol{y_i}$ a diferença de postos (ordens) dos escores X e Y e *n* o número de séries temporais.

Segundo Zar (2005) a correlação de Spearman varia entre -1 e 1, sendo que quanto mais próximo de 0 é dito que não há dependência entre as variáveis. Quando positivo, os

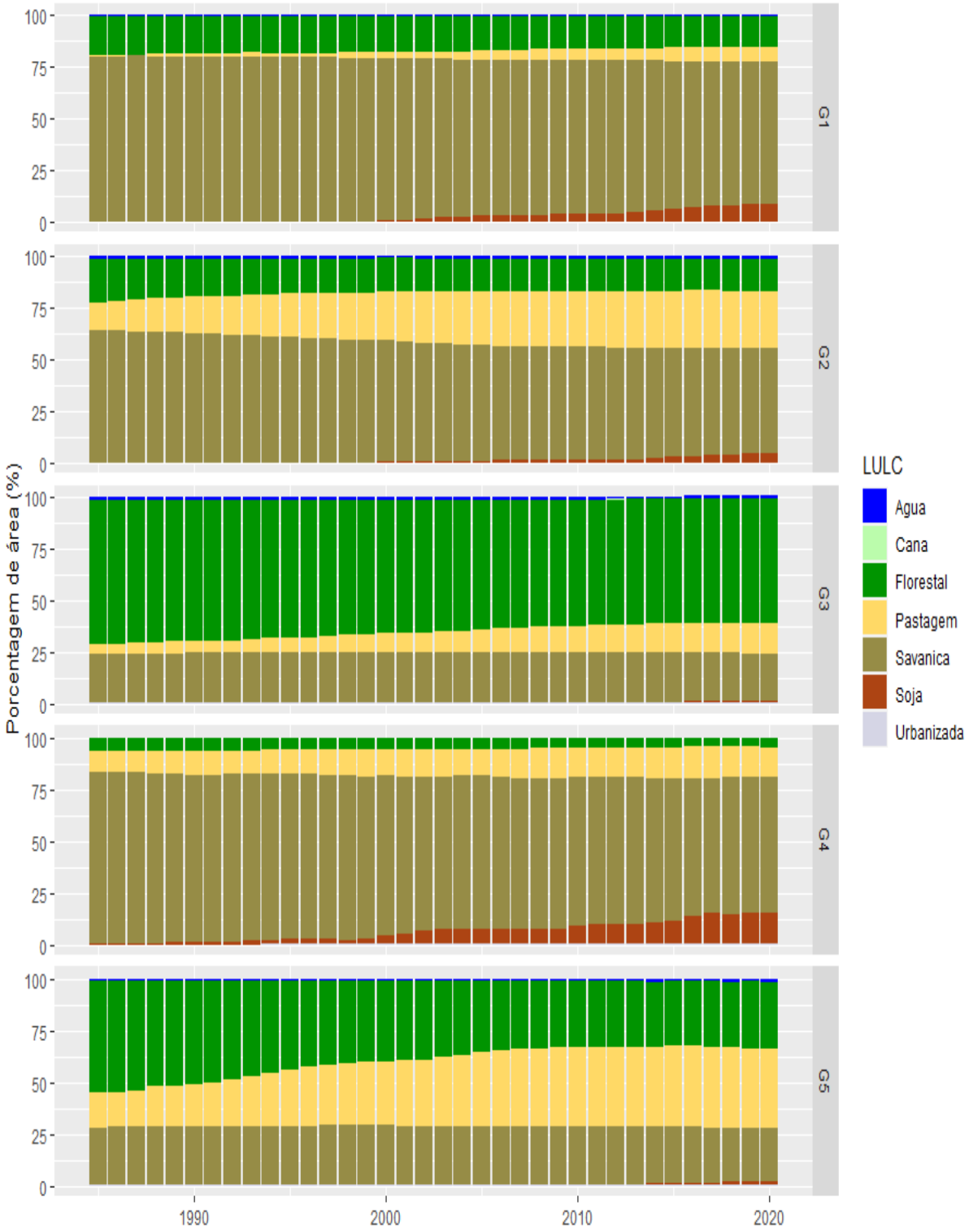
dois valores indicam aumento, quando negativo, quer dizer que um valor está aumentando enquanto o outro está diminuindo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De posse dos indicadores ambientais, se fez possível a avaliação do comportamento vegetal e equilíbrio ambiental da região de MATOPIBA ao longo do período de estudo que compreende 2002 a 2022, a partir das variáveis citadas, e ainda a identificação das mudanças de cobertura da superfície do solo para os anos de 1985 a 2019, possibilitando o entendimento das alterações ocorridas na região e quais a possíveis consequências destas para a saúde ambiental do ecossistema. Através da metodologia de análise de agrupamento dos dados pela amplitude da cobertura vegetal, foram gerados cinco grupos abrangentes da área de estudo, em seguida realizou-se a análise dos indicadores, possibilitando a identificação do grau de saúde ambiental da vegetação do MATOPIBA, proporcionando assim, compreender o quanto o bioma foi degradado e as consequências do uso e ocupação da superfície.

A partir da Figura 2 é possível identificar em cada Região Homogênea- RH (grupo) a composição da cobertura superficial do solo na área durante o período de 1985 a 2019. Nota-se que há uma predominância da cobertura vegetal de savana em três dos cinco grupos (G1, G2 e G4), correspondente aos estados predominantes de Piauí, Tocantins e Bahia, o que demonstra que mesmo havendo grande expansão do setor do agronegócio no MATOPIBA, esses estados ainda mantém grande quantidade de área florestal natural. A formação savânica do MATOPIBA, de acordo com o MapBiomas (onde foi coletado os dados) é composta por estratos arbóreo e arbustivo-herbáceo (Cerrado denso, Cerrado típico, Cerrado ralo e Cerrado rupestre. Identifica-se ainda, considerável parcela de área com composição do tipo florestal, com destaque para o G3. A formação florestal é caracterizada por vegetação com predomínio de espécies do tipo arbórea e florestas estacionais semideciduais.

Figura 2 - Variabilidade temporal da composição da cobertura vegetal no MATOPIBA durante o período de 1985 a 2021.



(**Fonte:** Autor, 2023)

Apesar da extensa cobertura de área florestal e savânica, ambas estão em redução ao longo dos anos estudados e há um crescimento da área de pastagem de forma expressiva ao longo do tempo em todos os grupos, sendo o G5 (Maranhão e Tocatins) o de maior cobertura de pasto em sua área. Identifica-se ainda, o surgimento da cultura de soja, após o ano 2000 na maior parte dos grupos, ano em que foi destaque para a produção dessa oleaginosa, segundo Carneiro Filho e Costa (2016) e Oliveira et al. (2020), com destaque para o G4, que foi o de maior crescimento. Os anos 2000/2006 ainda marcam o "boom das commodities" ocorridas a partir da abertura dos mercados, onde a área agrícola passou a ocupar 62,4 Mha do território nacional, aumentando aproximadamente 20% da área plantada em 10 anos e 53% na produção agrícola total. Nesse mesmo período, a soja tornou-se o ator principal dentro do mercado agro, ocupando cerca de 35,3% da área agrícola do país, seguidos do milho com 20,8% das áreas e cana-de-açúcar com 10,2% (Imaflora, 2021).

Identificou-se ainda a retração de áreas e aumento na produtividade na maior parte das microrregiões do Norte, com expansão da soja e milho no Tocantins, expressando o cultivo de commodities na região Norte a partir do ano 2000, em particular na região MATOPIBA (Imaflora, 2021).

De acordo com Oliveira et al. (2020) a soja é configurada como a principal cultura produzida no Cerrado, com destaque para a região de MATOPIBA, seguida do milho e algodão (Embrapa, 2023) repercutindo na economia regional. Estima-se que a área territorial para o plantio de soja cresça em torno de 27,5% no próximo decênio, o que equivale aproximadamente a 12 Mha, passando para um total de 55,9 Mha de área produzida, sendo considerada a lavoura que mais deve expandir na área de MATOPIBA (MAPA, 2023). Se por um lado houve alteração da configuração superficial do MATOPIBA pelo exponencial crescimento da produção de soja, por outro lado, ocorreu o desmatamento e pressão social através de conflitos agrários (Oliveira et al., 2020).

Em seu trabalho, Silva; Deus (2023) demonstram redução do cerrado e aumento da classe agricultura entre o período de 1997 a 2017, com crescimento do Bioma Cerrado apenas na classe caracterizada como Cerrado Baixo, que configura a parcela de vegetação mais rala, rasteira, com fragmentos de pastagem contidos nessa classe, corroborando com o demonstrado. As demais variações de cobertura da superfície, apresentaram representatividade pouco significativas.

Um ponto importante a ser destacado é o aumento expressivo na produção agrícola do país, e não diferente no MATOPIBA, com projeções de crescimento para as

próximas décadas. Entretanto, esse crescimento circundou culturas de oleaginosas e fonte para biocombustíveis, tirando de sena, fontes alimentares humanas, como é o caso do feijão e arroz, que de acordo com (Imaflora, 2021) sofreram redução em sua produção entre 2006 e 2017, o que demonstra a descentralização na necessidade de incentivo à produção agrícola como fonte alimentar humana e necessária devido ao aumento populacional e passa a ser voltada a outros interesses econômicos, como por exemplo o mercado de bioenergia.

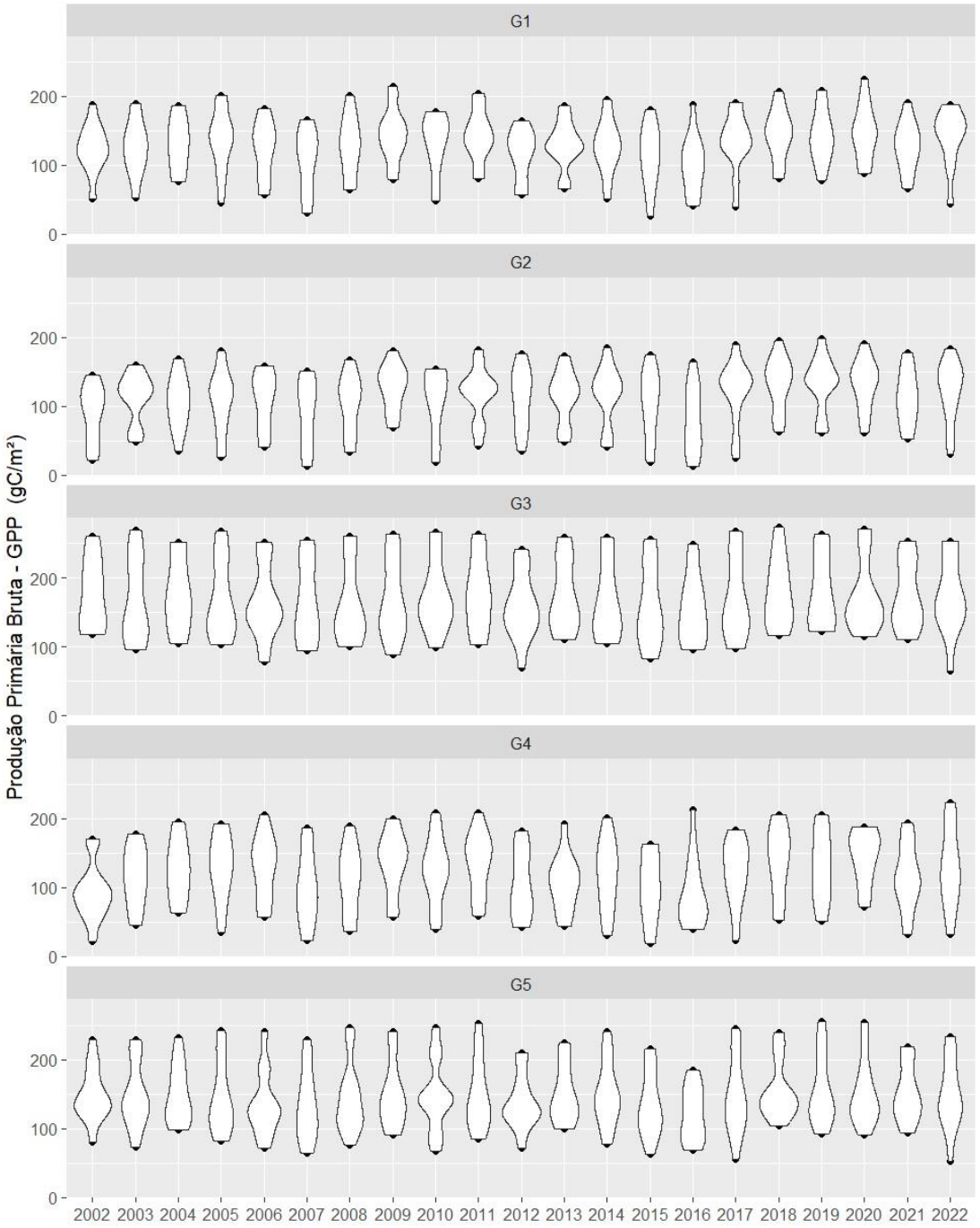
Há necessidade de cautela e responsabilidade ambiental nos projetos de crescimento agrícola na região, com o intuito de redução dos impactos gerados a partir da alteração das características biofísicas do bioma, pois a medida que ocorre a remoção da cobertura nativa, danos ambientais são gerados, riscos ao funcionamento do ecossistema e declíneo da biodiversidade. Segundo Roos (2012) o ecossistema é afetado a partir da degradação ambiental provocada pelas atividades humanas, comprometendo a sobrevivência das espécies, gerando risco as populações de plantas e animais. Essa interferência gera a destruição de comunidades inteiras e tem implicações diretas no meio ambiente.

3.1 Indicador Ambiental-GPP e PCP

A variável GPP é responsável por mensurar o nível de absorção do dióxido de carbono que as plantas resgatam da atmosfera, convertendo o mesmo em matéria orgânica para seu desenvolvimento, através do processo de fotossíntese e produção de carboidratos, possibilitando identificar o grau de produtividade que a cobertura vegetal apresenta e sua qualidade ambiental.

Na região do MATOPIBA, entre o período de 2002 a 2022 podemos observar que a GPP variou de 12,8 a 273,8 gC/m², sendo que o menor dado anual ocorreu no ano de 2016 no grupo 2 e o valor mais elevado foi apresentado no ano de 2018 no grupo 3. A maior densidade de dados concentrou-se entre 100 e 150 gC/m² em todos os grupos, com valores abaixo de 100 gC/m² apenas no G4 (Figura 3 e 4).

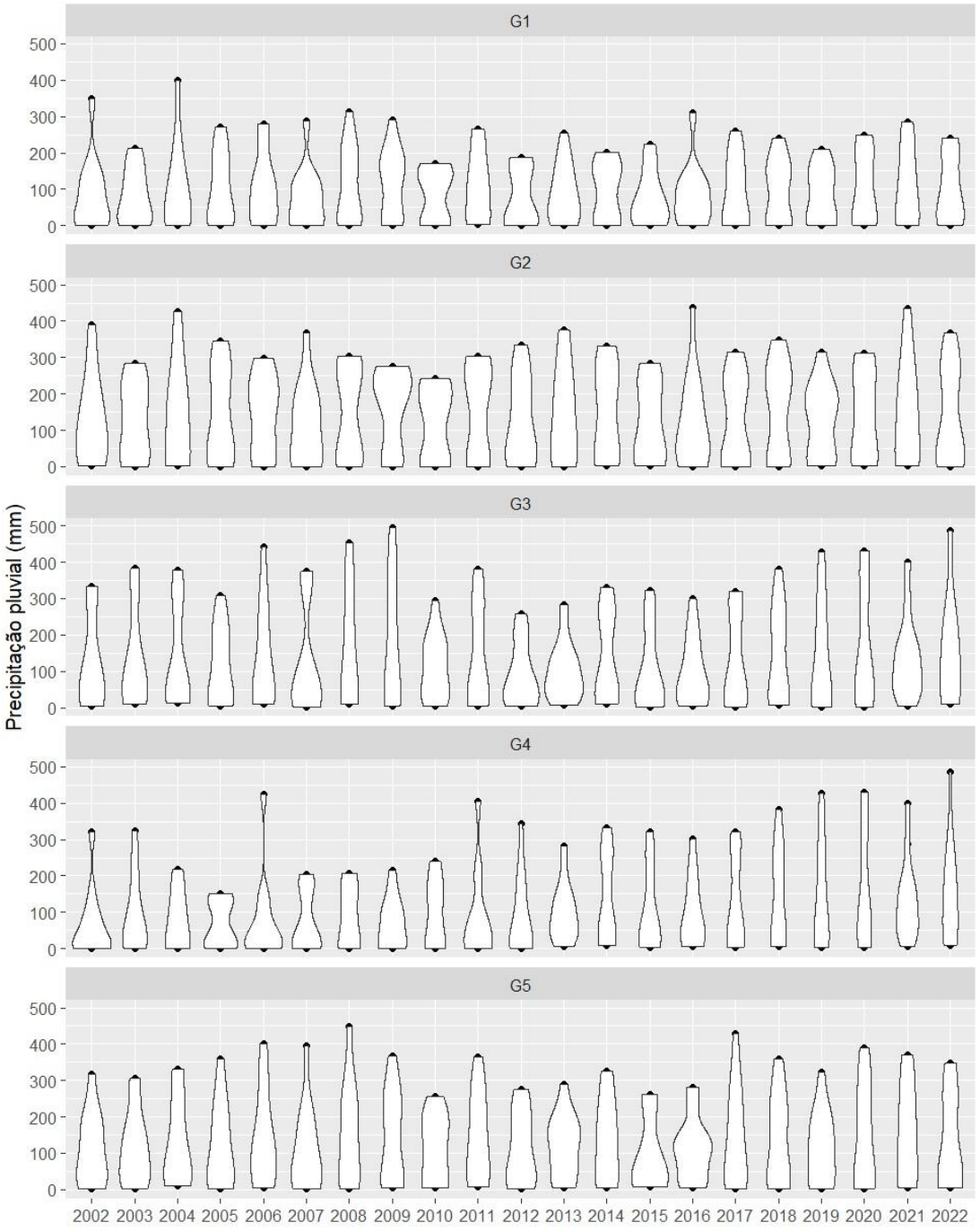
Figura 3 – Variabilidade temporal da densidade da GPP no período de 2002 a 2022 na região de estudo.



O grupo 1 apresentou menor valor no ano de 2015 durante a primavera e maior valor em 2020 durante o inverno, o grupo 2 demonstrou menores dados em 2016 no inverno e maiores valores em 2019 durante o outono, o grupo 3 teve menor GPP em 2022 no outono e maior GPP em 2018 no inverno, o grupo 4 demonstrou valores baixos em

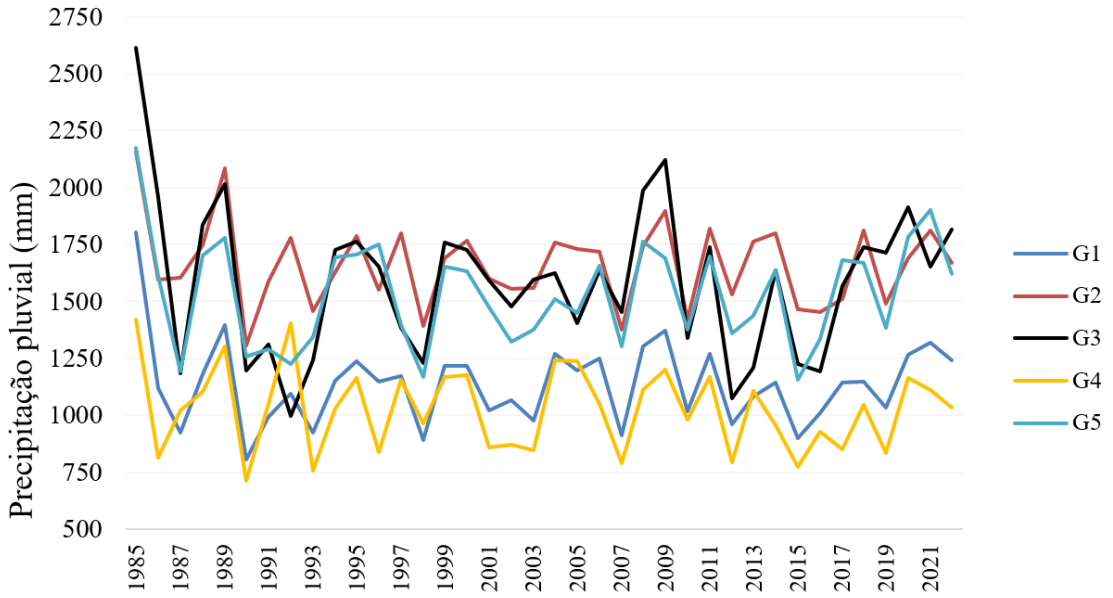
2015 durante a primavera e valores altos em 2022 no outono e por fim, o grupo 5 apresentou menor valor no ano de 2022 durante a primavera e maior valor no ano de 2019 durante o inverno.

Figura 4 – Variabilidade temporal da precipitação pluvial no período de 2002 a 2022 na região de estudo.



Esses dados demonstram que o período de 2018 a 2022 marca os maiores índices de GPP apresentados na região do MATOPIBA ocorrendo durante a estação de outono/inverno.

Figura 5 - Precipitação pluvial (mm) na região de MATOPIBA durante o período de 1985 a 2022.



A partir destes, nota-se que a cobertura vegetal presente em toda a região, demonstra comportamento de sumidouro de CO_2, caracterizando-se assim, como contribuinte na captação de carbono da atmosfera, o que é de fundamental importância, para redução de um dos componentes causadores do efeito estufa na camada de ozônio, quando em concentrações excessivas. Entretanto, esses valores de GPP podem ser explicados pela precipitação. Houve uma queda no nível de chuvas na região do grupo 2 nos anos de 2015-2016 e um aumento no período de 2017-2018 no grupo 3 (Figura 5).

Segundo Campos e Chaves (2020) entre o período de 1977 a 2010 houve redução nas chuvas do Cerrado de aproximadamente 8,4%, ocorrendo de forma mais expressiva nas regiões centrais e ocidentais do bioma, o que corresponde a região de MATOPIBA, ocasionada em sua grande parte a conversão de áreas de vegetação nativa em outros usos.

A água afeta de forma muito significativa a assimilação de carbono pela vegetação, juntamente com a umidade e altas temperaturas, influenciam a produção de forragem no Cerrado (Gao et al., 2016; Simões et al., 2019; Veloso et al. 2022).

As interferências do homem geram efeitos no clima, sentidos principalmente em regimes pluviométricos, no fluxo de água, energia, ciclo do carbono e ciclagem de nutrientes (Costa e Foley, 2000). Baixos aportes de água disponível reduzem a eficiência na conversão de energia solar em biomassa, ou ainda, a redução da quantidade de energia luminosa interceptada pelas copas, devido a diminuíção da área foliar, podem diminuir a produtividade vegetal (Nogueira *et al*., 2008). Maioríssima restrição hídrica tem como principal efeito, o fechamento dos estômatos, afetando a manutenção da umidade, com consequente redução na captação do CO_2 (Baker *et al*., 2004).

As plantas do tipo C4 (gramíneas no geral) são diretamente controladas pelo fator água em grande parte da produtividade de todas as regiões do planeta (Churkina; Running, 1998). Já o aumento do CO_2 favorece as plantas com metabolismo tipo C3 (espécies lenhosas), quando em condições de temperatura e umidade favoráveis. O período de baixa pluviosidade reduz a GPP, em especial as áreas de pastagem, devido a baixa disponibilidade de água no solo. A medida que há um estresse hídrico, as plantas tendem a absorver menos radiação, acumulando assim, menos biomassa Veloso et al. (2022). O grupo 3 apresenta uma maior composição de espécies de floresta e o grupo 4, savana e pasto, o que pode ser uma justificativa para o grupo 3 ser o que apresentou maior GPP, já que é o mais favorecido, por ter predominância de plantas do tipo C3.

De acordo com Osterroht (2002), espécies florestais e não florestais cultivadas de forma simultânea ou em sequência, ou ainda, em associação planejada, cultivos anuais ou perenes e/ou pastagens demonstram ser as melhores opções para contribuir na captação de carbono. Segundo Stape et al. (2004) o estresse hídrico gera redução na produção de biomassa em espécies com características de rápido crescimento, ocorrendo maior produtividade em regiões de maior precipitação e menor déficit hídrico.

Devo ressaltar que variáveis como umidade e temperatura devem ser observadas, em trabalhos posteriores, para concluir de forma mais concreta essa hípotese.

Segundo Siqueira et al. (2001) nas décadas que se seguem, a cultura de soja tende a ser favorecida com o aumento expressivo do CO_2 disponível na atmosfera, com o crescimento de aproximadamente 20% em sua produtividade, já que a soja é uma planta do tipo C3. Já as culturas de trigo e milho, com ciclo C4, tendem a serem prejudicadas pelos efeitos adversos do aumento da temperatura, reduzindo sua produtividade.

Entretanto, devo enfatizar que o aumento da concentração de CO_2 acarreta o aumento da temperatura global, por ser um elemento do efeito estufa, e segundo o IPCC (2023), há uma tendência de elevação da temperatura terrestre. Esse efeito, pode afetar o

desenvolvimento e redução da produtividade em plantas C3 também, podendo concluir que há uma tendência esperada de aumento e favorecimento da produção de espécies como a soja, pelo favorecimento do aumento da concentração de CO_2, entretanto esse cenário pode mudar, já que esse mesmo crescimento de CO_2 tem gerado um aumento na temperatura global, o que por sua vez impacta negativamente a produtividade das culturas, como também, um desequilíbrio ecossistêmico

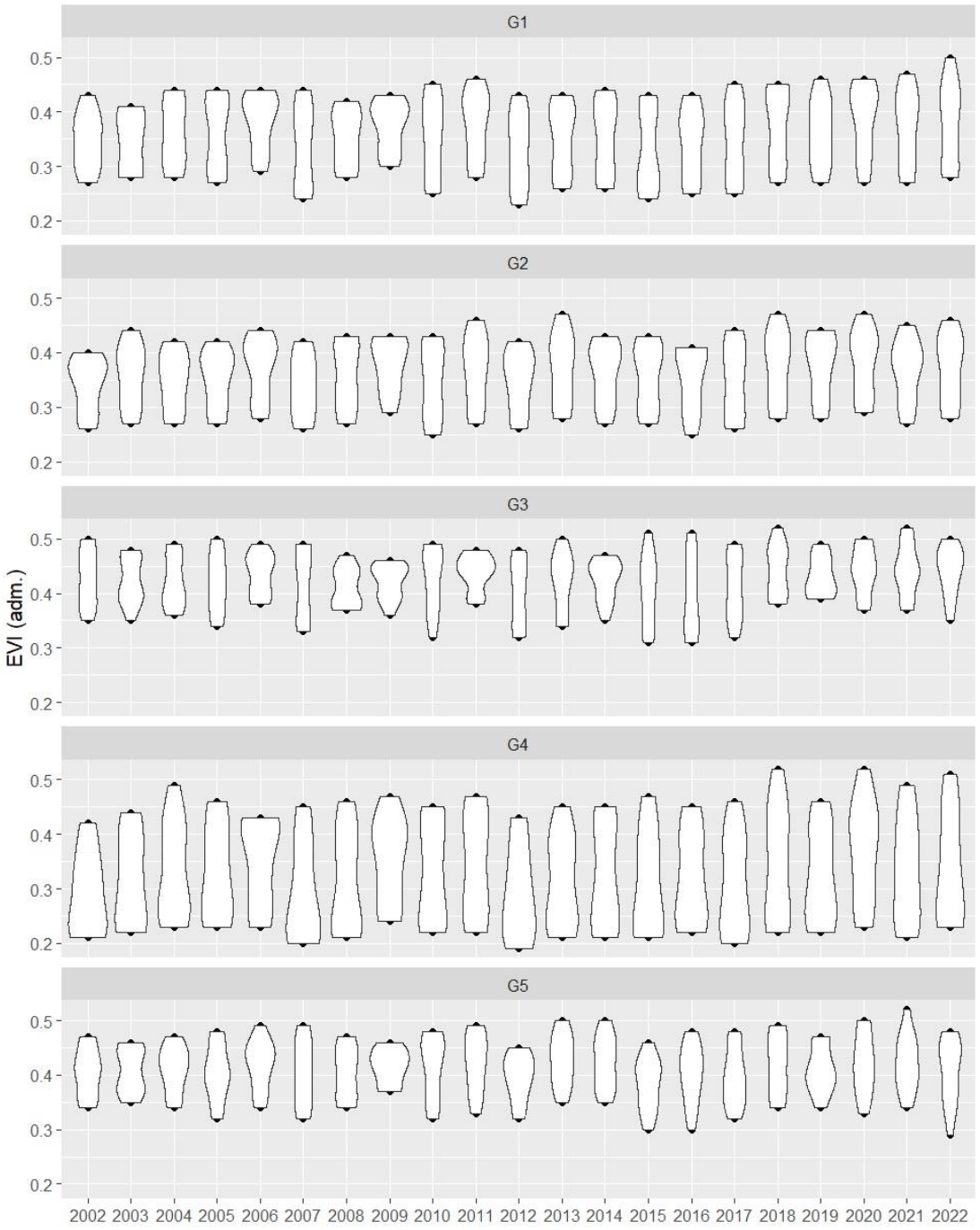
3.2 Indicador Ambiental-EVI e ET

Na Figura 6 pode-se observar que o EVI demonstra comportamento de poucas oscilações nos grupos 1, 2, 3 e 5 tendo a maior densidade de dados entre 0,3 e 0,4. Já o grupo 4 apresentou picos de crescimento consideráveis em três momentos distintos, no ano de 2006, 2009 e 2020. A ET (Figura 7) demonstrou valores mais elevados no grupo 3 com valores chegando a 175,8 mm de máxima e 31,7 mm de mínima, entretanto a estimativa de densidade não variou muito nesse grupo. O grupo 4 foi o que apresentou maior variação na densidade média dos dados, com variação nos picos de queda e aumento da ET.

Profeta et al. (2018) em seus estudos identificaram a relação de influência da vegetação na ET, onde, quanto maior o índice de vegetação maior a evapotranspiração, após analisar a evapotranspiração real diária na região de Minas Gerais. Os mesmos ainda identificaram uma associação negativa da ET com o aporte ou ausência da vegetação. Por fim, observou-se baixos valores de evapotranspiração real diária com as regiões não vegetadas, como ainda dos valores correspondentes às variações da vegetação.

Os demais grupos obtiveram uma variação de densidade pouco expressiva, o que quer dizer que, apenas no grupo 4 a ET oscilou de forma mais significativa, baixando e elevando ao longo dos anos, respondendo de forma muito expressiva as baixas precipitações no período de 2007 a 2010, demonstrado na Figura 7, correspondendo com aumento da ET em 2009 e queda em 2012 após aumento na precipitação em 2011/2012, finalizando o período de estudo com redução da ET devido a altas na chuva. No quadro geral a ET variou de 8,8 a 175,8 mm em toda a região de MATOPIBA.

Figura 6 - Análise da densidade do EVI entre o período de 2002 a 2022 na região de estudo.

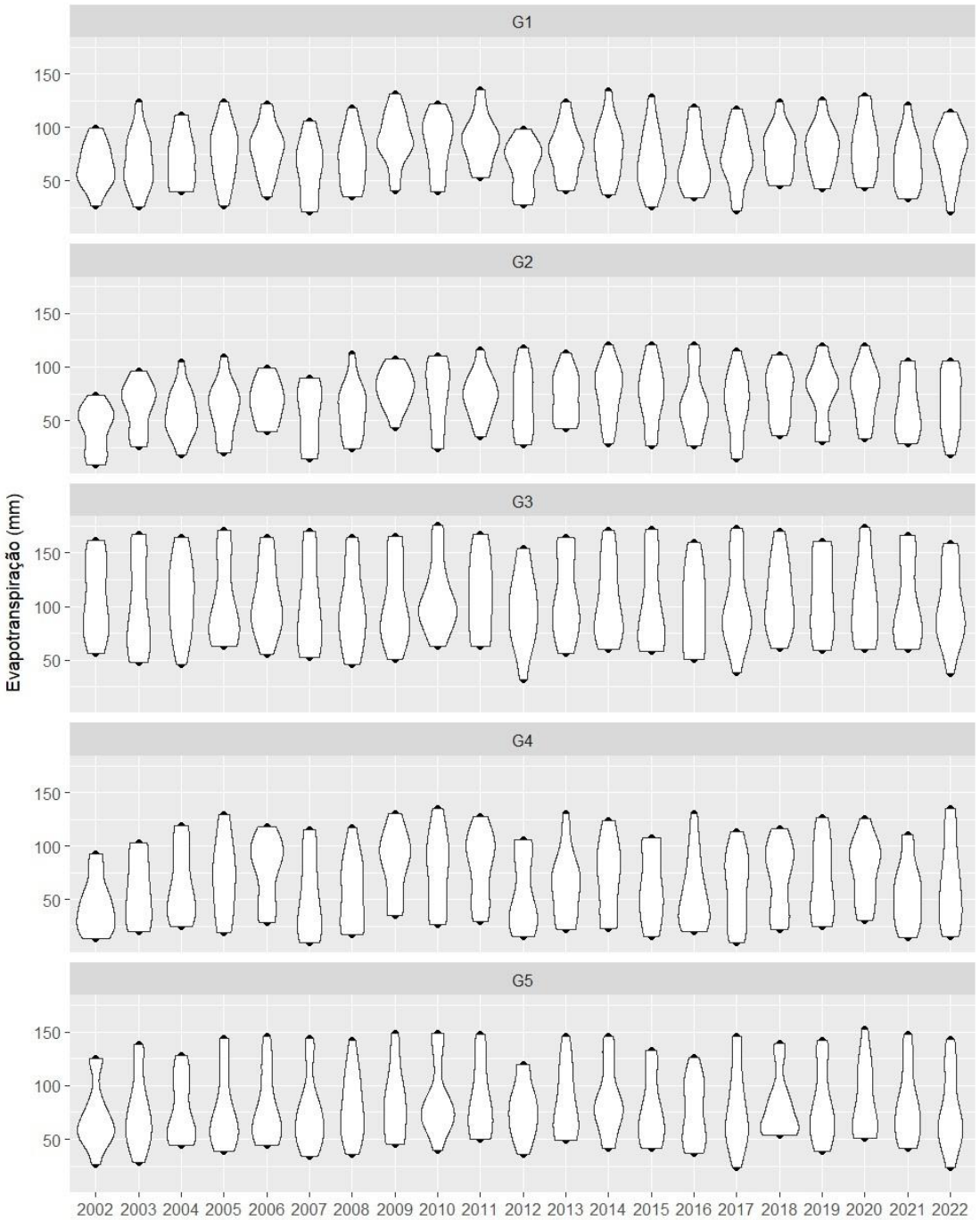


Percebe-se ainda que nos grupos 1, 3 e 5 o percentual de ET é quase equivalente à precipitação, o que significa que há uma evapotranspiração acentuada, chegando a valores próximos a recarga de chuva ocorrida.

A ET em regiões tropicais, como o Cerrado, são de extrema importância na regulação climática local e regional, por ser responsável pela ciclagem de grande

percentual da precipitação, alimentando a formação de nuvens e ainda na assimilação de carbono conforme (Neto et al., 2023).

Figura 7 - Análise da densidade do ET entre o período de 2002 a 2022 na região de estudo.



As alterações nos níveis de chuva na região, a partir da década de 1970 em decorrência ao desmatamento em larga escala estão associados às modificações ocorridas

em processos biofísicos como albedo, rugosidade aerodinâmica e evapotranspiração, que em contrapartida, após essa redução da evapotranspiração e dos processos convectivos, ocorre a redução da formação de chuvas, como em um processo cíclico (Salazar et al., 2016; Campos e Chaves, 2020).

A temperatura é um dos componentes chave que afeta diretamente o desenvolvimento vegetal. Quando em condições de temperaturas elevadas associadas a baixas precipitações, há a ocorrência do processo de aumento da transpiração das plantas, ocorrendo em períodos mais críticos, a redução da produtividade devido o aumento da mortalidade e/ou problemas, como exemplo, a bifurcação de plantas. Encontram-se ainda, mais suscetíveis ao ataque de pragas e de doenças (Silva et al., 2021).

A substituição da vegetação nativa por espécies exóticas interfere nos processos biofisícos e em particular, na evapotranspiração, contribuindo ainda para o aumento do albedo a da temperatura da superfície (Sabino et al., 2019). As alterações no uso e cobertura do solo apresentam impacto direto na ET, tornando assim, um elemento de suma importância no ciclo hidrológico (Neto et al., 2023), já que, um manejo adequado e planejamento ambiental aliados às características do Cerrado em ter um processo de evapotranspiração como fonte principal de perda de água, são essenciais para um bom desenvolvimento vegetativo (Furquim et al., 2020).

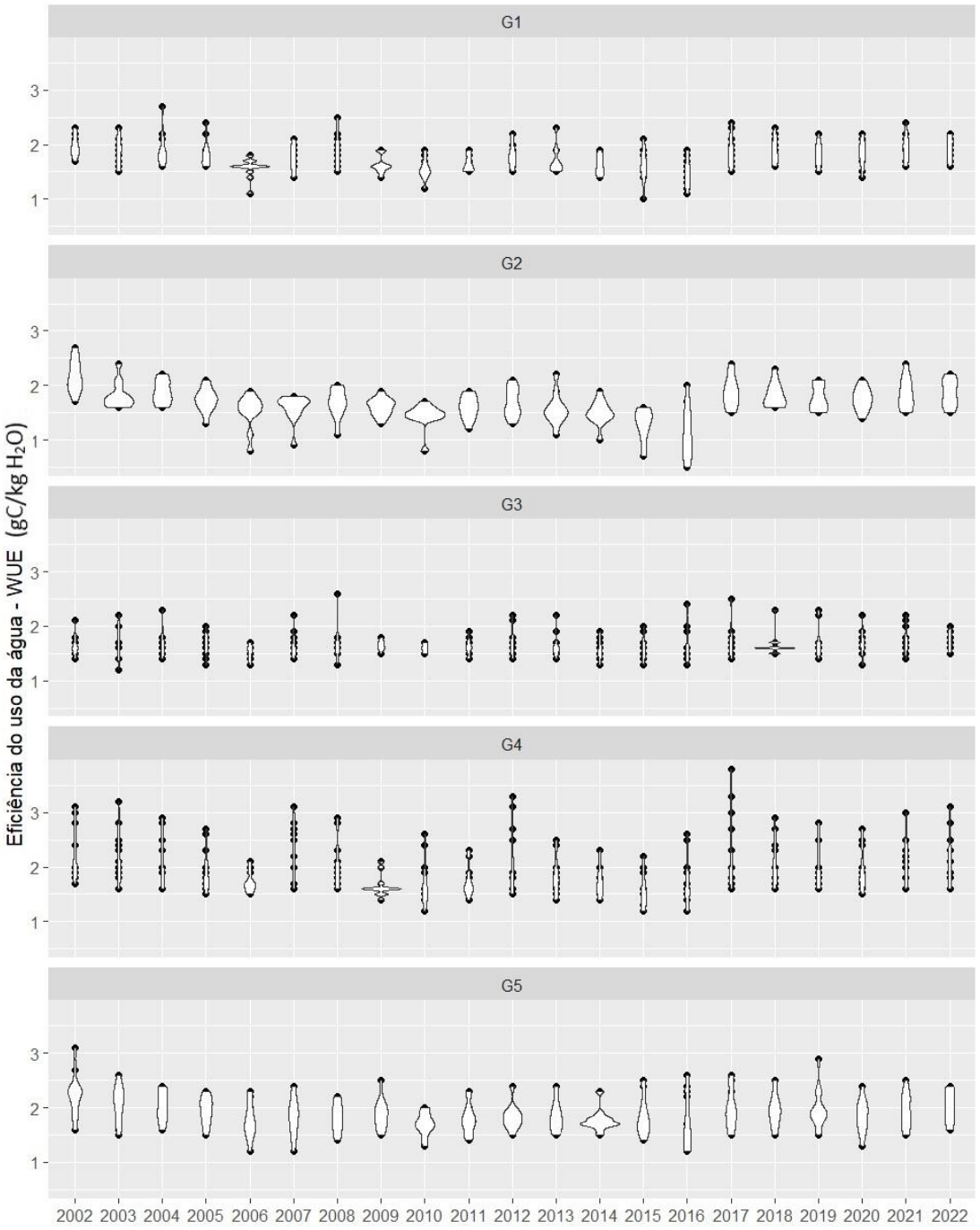
3.3 Indicador Ambiental-WUE

A WUE anual variou 0,5 a 3,8 gC/kgH_2O, com a média de densidade dos dados ficando abaixo de 2,0 gC/kgH_2O, como pode ser visto na Figura 8. O grupo 1 foi o que apresentou maior oscilação na densidade de dados ao longo dos anos, entretanto no quadro geral, a densidade dos dados demonstrou pouca variação. O grupo 4 e 5 apresentaram máximas acima de 3,0 gC/kgH_2O, tendo o G4 a máxima WUE, ocorrendo no ano de 2017 na estação de inverno. Já o G2, apresentou a menor WUE, no ano de 2016 também no período de inverno. Nota-se ainda, que o ano de 2017 marca uma mudança no comportamento desse indicador, demonstrando aumento na densidade dos dados em todos os grupos.

A WUE é um conceito operacionalizado na busca do eficiente uso dos recursos (que é definido, segundo a ecologia, como a quantidade de biomassa produzisa por unidade de recurso fornecido) e é uma métrica usada para poder ser avaliado a produtividade de uma planta com determinado consumo de água, podendo levar em

consideração desde o melhoramento de plantas até a irrigação. Sendo assim, a WUE varia em escalas espaço temporais e variáveis de medição (Hoover et al., 2023), tendo como variáveis hidrológicas determinantes de medição, a precipitação, a ET, transpiração e o esgotamento da água no solo (Howell, 2001).

Figura 8 - Análise da densidade da WUE sobre o MATOPIBA, referente aos anos de 2002 e 2022.



Em seus trabalhos, Guo et al. (2019) identifica que as atividades humanas de mudança na cobertura do solo, podem levar a alterações na WUE média anual. De acordo com Silva e Deus (2023) há redução da qualidade vegetal de cerrado na região devido a baixa na disponibilidade hídrica presente no solo, em detrimento aos baixos índices pluviométricos, convertendo o cerrado de úmido para classe de cerrado baixo (vegetação de pequeno porte).

3.4 Sazonalidade dos Indicadores Ambientais

Através da Figura 9, pode-se notar de forma mais clara, o comportamento desses indicadores de saúde ambiental, onde notamos que a densidade de dados apresenta comportamento de decréscimo na ET na maior parte dos grupos, em todas as estações do ano, com excessão do outono, que teve um leve crescimento na densidade dos dados, más logo voltando a diminuir, tendo a primavera como estação de menor intensidade para a ET.

Esses dados podem ser justificados pela média de temperatura da região que alcança aproximadamente 28°C na maior parte da área, com média no Cerrado de 24°C. O bioma apresenta um padrão espacial relativamente semelhante, com média espacial na primavera/verão de 25,4°C e no outono/inverno 23,6°C, sendo a média espacial da temperatura máxima de 30,°C. Entretanto, as temperaturas médias anuais máximas demonstram maiores valores no período de outono/inverno variando de 33,1 a 34,8 °C (Nascimento e Novais, 2020).

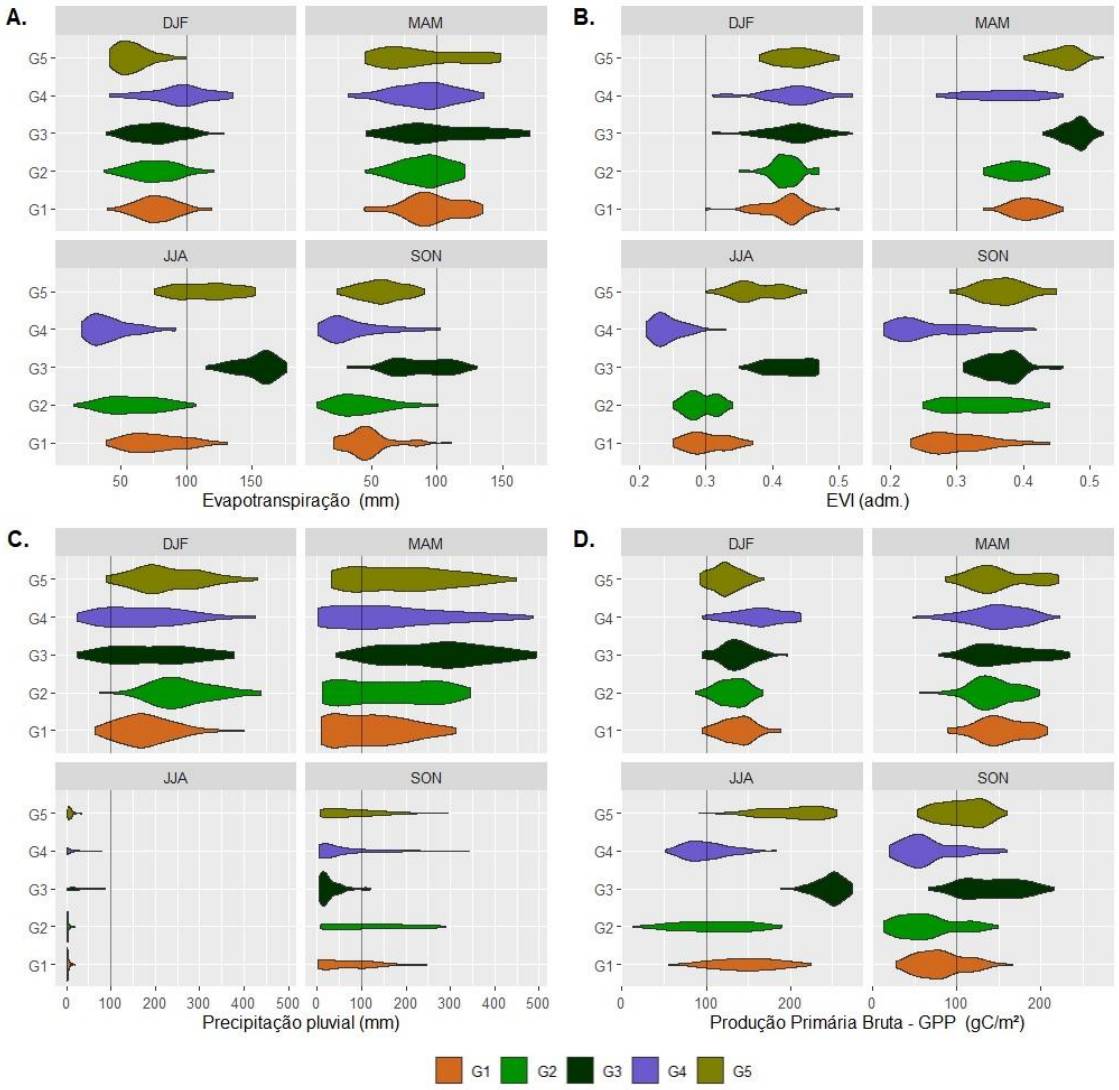
O EVI demonstra tendência de crescimento na densidade dos dados no verão e outono, com decréscimo no inverno, voltando a crescer na primavera, o que é justificado pelo período de resposta da vegetação ao estímulo da chuva, que ocorreu de forma mais intensa também no período de verão/outono e da recarga de energia proporcionada pela radiação. Já a GPP apresentou um comportamento de crescimento na densidade de dados em quase todo o ano, exceto na primavera, o que pode ser justificado ao crescimento das emissões de CO_2 (IPCC, 2023) na atmosfera, fonte principal para o favorecimento da GPP das plantas (Silva et al., 2021; Veloso et al., 2022).

Os períodos de chuvas na região do Cerrado têm forte característica sazonal, concentrando suas chuvas entre outubro a março e o período seco entre abril a setembro (Carvalho e Jones, 2009; Reboita *et al*, 2010). Os grupos que mais se destacaram foram o G3 e o G5 e o que menos se destacou foi o G4, como também identificado

anteriormente.

Sendo assim, ao verificar as maiores intensidades de dados, nota-se que o EVI e GPP apresentaram resposta imediata a precipitação, tendo suas maiores intensidades de dados ocorrendo no verão e a ET no outono e a menor densidade de dados se concentrou na primavera para a GPP e ET e no inverno para o EVI e precipitação, demonstrando um certo intervalo de tempo de resposta da GPP a baixa estação chuvosa, o que ainda é esperado, devido ao armazenamento de água no solo e em outras estruturas da planta, que possibilitam a sua condição produtiva por um curto período após a diminuição das chuvas.

Figura 9 - Comportamento médio da densidade dos dados de (a) ET, (b) EVI, (c) precipitação pluvial e (d) GPP durante as estações, dentro do período de estudo (2002 a 2022), a partir da delimitação de grupos.



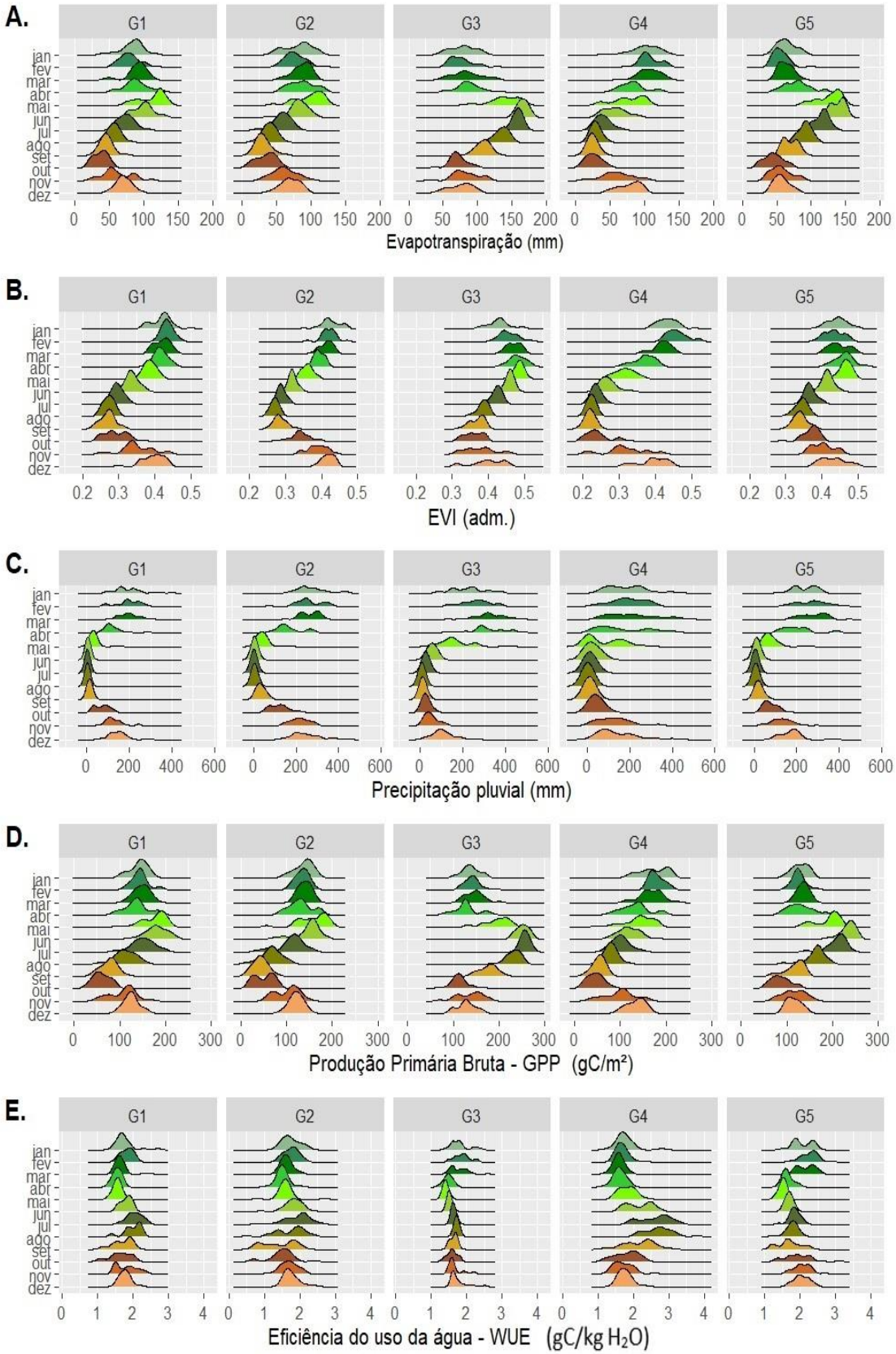
Quando observado o comportamento mensal desses indicadores (Figura 10), nota-se que a GPP apresentou valores mais elevados nos meses de maio e junho para os grupos 1, 2, e 5, o grupo 3 nos meses de junho e julho e grupo 4 de janeiro a março, sendo que os grupos 1, 2 e 4 apresentam dados semelhantes quanto ao período do ano de tendência de maior produtividade, compreendidos no primeiro semestre dos anos (janeiro a junho/julho) e queda em quase todo segundo semestre (julho a novembro), correspondendo com o período de maior precipitação acumulada no mês, que ocorreram entre janeiro a março, conhecido esse, de acordo com Reis et al. (2020) como período de maiores índices pluviométricos na região.

O EVI apresenta comportamentos semelhante, com o período de maior valor nos meses de janeiro a maio em todos os grupos, com tendência de maiores índices no primeiro semestre e queda na segunda parte dos anos, voltando a apresentar crescimento em dezembro, o que já é um comportamento esperado, haja vista que o EVI é um índice de vegetação, com relação direta com a GPP e ambos respondem diretamente ao estímulo da chuva. A ET demonstrou maior densidade dos dados entre os meses de maio e junho em quase todos os grupos, exceto no grupo 4, que ocorreu entre janeiro a março.

Nota-se que a variável chuva tem influência direta sobre esses indicadores ambientais, sendo fonte inegável para o melhor desempenho ecossistêmico. A região do Cerrado tem a ocorrência de grandes acumulados de chuva no período do verão, devido ao forte aquecimento radiativo da superfície, permitindo o desenvolvimento de atividades convectivas (Nascimento et al., 2021). Alguns desses sistemas convectivos estão relacionados à dinâmica de escoamento dos Jatos de Baixos Níveis (JBN) vindos da Amazônia, que podem integrar a circulação do ASAS (Alta Subtropical do Atlântico Sul), o que por sua vez gera nebulosidade e precipitações intensas na região (Reboita et al., 2010). A entrada de anticiclones que bloqueiam a atuação das baixas pressões, geram um período com eventos de curtos períodos de seca, denominados veranicos, ocorrendo em meio ao verão. Já o outono é caracterizado pelo fim da atuação da ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) e início do ASAS, diminuindo as chuvas no período de abril, maio e junho (Nascimento et al., 2021).

De acordo com Silva et al. (2008) o Cerrado apresenta sistemas atmosféricos como um núcleo terminal, onde as massaas de ar repercutem a circulação habitual da atmosfera, interrompida e modificada periodicamente por sistemas atmosféricos perturbadores, como a ZCIT (Zona de Convergência Intrtropical), a ZCAS a Frente Polar (FP).

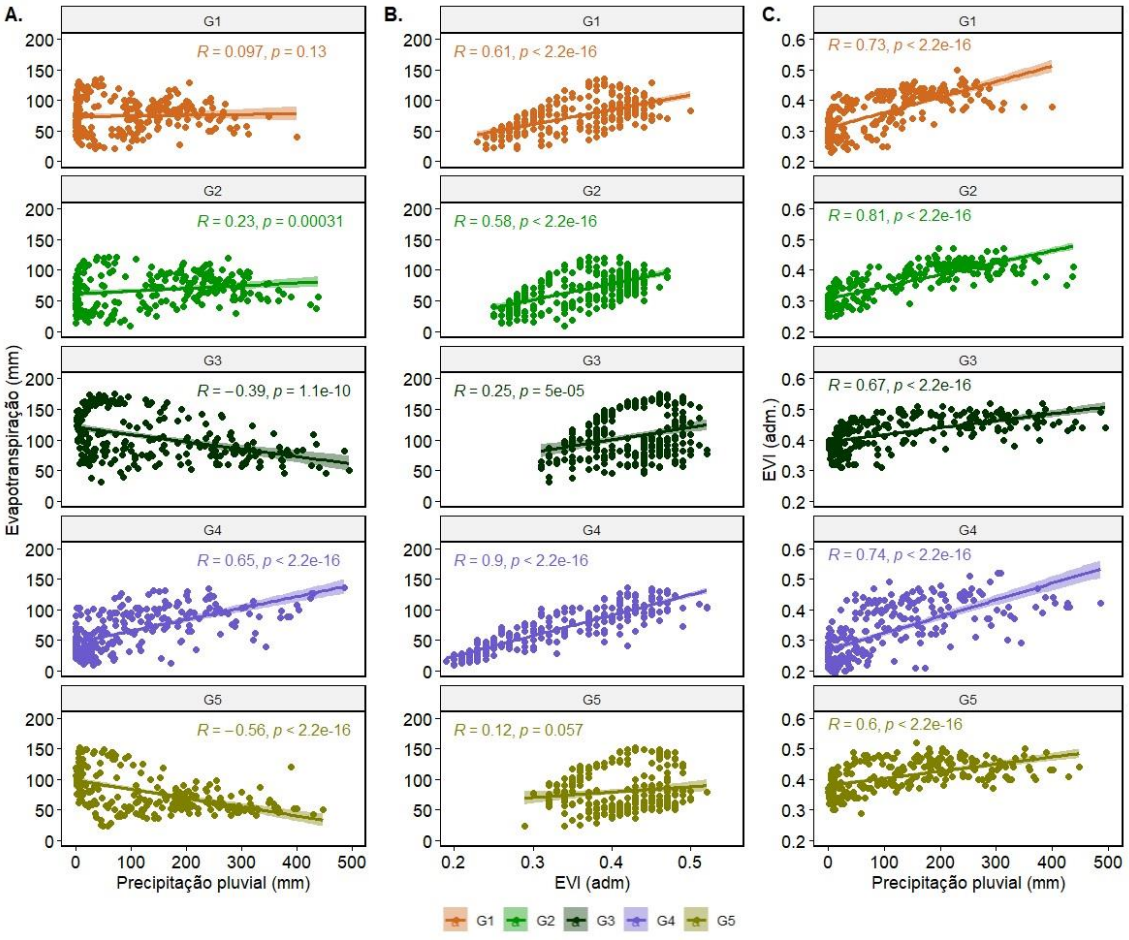
Figura 10- Variabilidade média mensal das variáveis (a) ET, (b) EVI, (c) precipitação pluvial, (d) GPP e e) WUE na região de estudo no período de 2002 a 2022.



3.5 Análise estatística dos Indicadores Ambientais

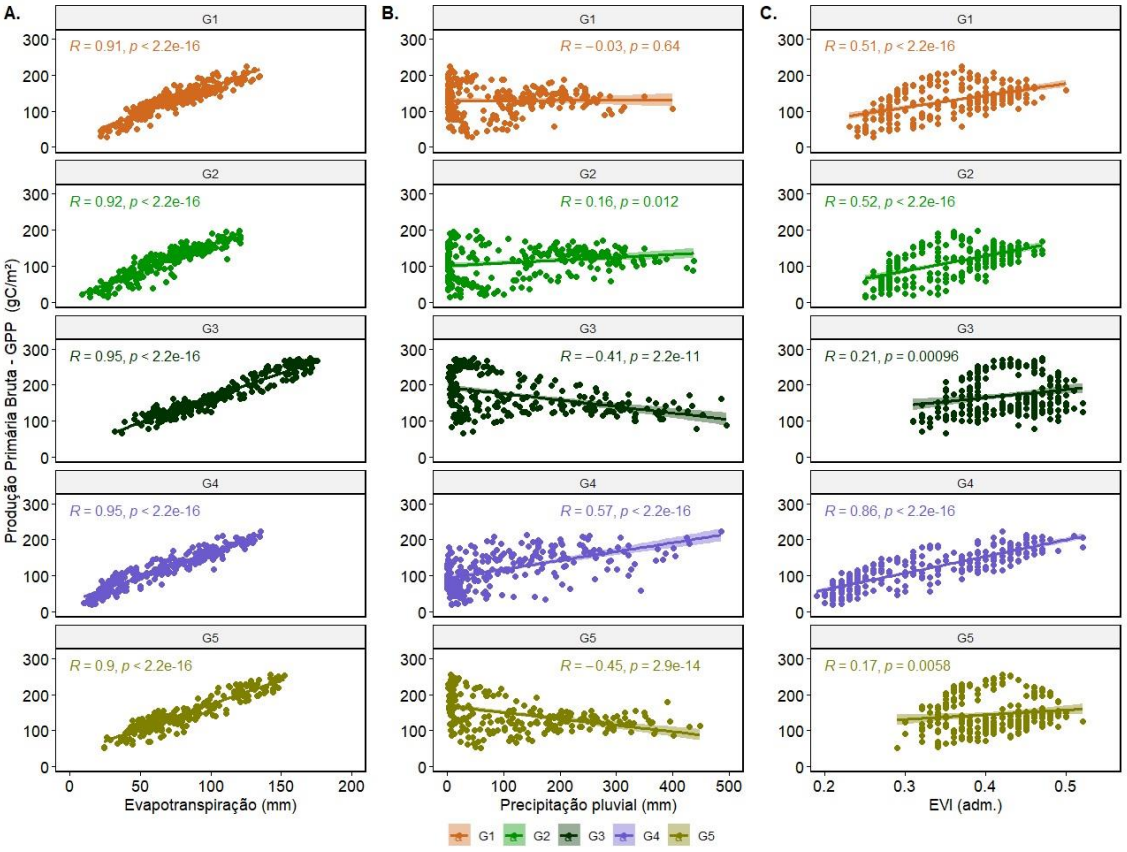
Aplicou-se a análise estatística de Correlação de Spearman sobre os indicadores ambientais. Essa medida determina a relação entre as variáveis através de uma função monotética, ou seja, o comportamento de causa e efeito entre as variáveis (quando uma aumenta/diminui, se a outra terá a mesma resposta). A partir da interpretação de Rumsey (2019) nota-se nas Figuras 11 e 12 abaixo, que houve correlação ascendente forte apenas ente a ET e o EVI no grupo 4 e moderada com a precipitação nos grupos 4 e 5, sendo que neste último, a correlação é descendente. Já entre as variáveis EVI e precipitação, a correlação foi ascendente forte nos grupos 1, 2 e 4 e ascendente moderada nos demais, o que é esperado devido a chuva ser um recurso potencializador para o aumento do índice de vegetação.

Figura 11 – Relação quantitativa entre as variáveis ET com (a) precipitação pluvial, (b) EVI e (c) EVI com a precipitação pluvial.



Ao aplicar a análise entre a variável GPP e ET, a correlação se mostrou ascendente forte em todos os grupos, ou seja, a medida que houve o aumento da GPP a mesma resposta foi vista na ET. Entre a GPP e a precipitação a correlação se apresentou ascendente moderada no grupo 4 e fraca nos demais. Já com relação ao EVI, a correlação foi ascendente forte no grupo 4 e ascendente moderada nos grupos 1 e 2. Sendo assim, nota-se que houve maior correlação entre a ET e o EVI, entre a GPP e a ET e também entre a EVI e a chuva.

Figura 12 - Diagrama de dispersão e curva de regressão entre as variáveis GPP com (a) ET, (b) precipitação pluvial e (c) EVI.



Diante dos resultados obtidos, considera-se a influência da variável meteorológica chuva na produtividade da vegetação e como esta, juntamente com a temperatura, de acordo com autores anteriormente citados, determinam a qualidade ambiental da região, já que há uma relação direta entre a qualidade vegetal e os indicadores índice de vegetação e evapotranspiração. O que demonstra, a necessidade de responsabilidade ambiental diante das modificações nas características de uso e ocupação ocorridas na região ao longo do tempo, uma vez que, mudanças nas condições climáticas globais foram comprovadas.

4. CONCLUSÕES

A partir do exposto, pode-se concluir que houve redução da área florestal e savânica, na maior parte do MATOPIBA, mesmo ainda havendo grande percentual de área de floresta. Em contrapartida, nota-se crescimento acentuado nas áreas utilizados para o agronegócio ao longo dos anos, tornando-se evidente uma mudança expressiva na série temporal, possivelmente tendo a forçante da produção de soja como impulsionador de forma mais evidenciada em meados dos anos 2000, na maior parte dos grupos, o que demonstra substituíção da cobertura vegetal natural por culturas agrícolas.

A partir da metodologia aplicada para análise dos indicadores ambientais, observou-se pouca variação na densidade dos dados de GPP, EVI e WUE na maior parte dos grupos, entretanto verificou-se valores muito baixos de GPP em 2016, o que pode ser justificado pelos baixos índices pluviométricos no período de 2015-2016. Identificou-se uma expressiva alteração positiva no comportamento da WUE em 2017, propiciado pelo aumento de chuvas entre 2017-2018. Pode-se notar que os níveis de ET são quase equivalentes à precipitação pluvial.

A partir da sazonalidade dos indicadores de qualidade ambiental, concluiu-se que a resposta do EVI e GPP estão associados a precipitação pluvial, com maiores intensidades no verão e a ET no outono. A menor densidade da GPP e ET foi observada na primavera e para o EVI e precipitação pluvial no inverno, demonstrando assim um atraso na resposta da GPP na baixa estação chuvosa.

Enfim, a partir da metodologia empregada, pode-se avaliar um panorama das condições fisioclimáticas do MATOPIBA no período de estudo, assim como as mudanças ocorridas na superfície e como elas influênciaram a saúde ambiental da região. Entretanto, ainda não há evidências sólidas para assegurar se o saldo pela intensa expansão da agricultura e consequente substituíção da vegetação nativa, será positivo ou negativo. Pesquisas voltadas à estimativas futuras se fazem necessárias.

5.REFERÊNCIAS

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. Ko¨ppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6. 2013.

Baker, T. R.; Phillips, O. L.; Malhi, Y.; Almeida, S.; Arroyo, L.; Di Fiore, A.; Killeen, T. J.; Laurance, S. G.; Laurance, W. F.; Lewis, S. L.; Lloyd, J.; Monteagudo, A.; Neill, D. A.; Patiño, S.; Pitman, N. C. A.; Silva, N.; Martínez, R. V. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. **Global Change Biology**, v.1, p.545-562, 2004. Disponível em http://dx.doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00751.x Acesso em: 28 novembro 2023.

Briggs, L. J.; Shantz, H.L. The water requirement of plants. Bureau of Plant Industry Bulletin. **US Department of Agriculture**, Washington, DC, pp 284–285. 1913.

Campos, J. O.; Chaves, H. M. L. Tendências e Variabilidades nas Séries Históricas de Precipitação Mensal e Anual no Bioma Cerrado no Período 1977 2010. **Revista Brasileira de Meteorologia,** v. 35, n. 1, 2020. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778635101> Acesso em: 16 dez. 2023.

Carvalho, L. G.; Rios, G. F. A.; Miranda, W. L.; Castro Neto, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3. 2011. Disponível em https://doi.org/10.5216/pat.v41i3.12760 Acesso em: 28 novembro 2023.

CArvalho, L. M. V.; Jones, C. Zona de convergência do Atlântico Sul. In: Cavalcanti, I. F. de A.; Ferreira, N. J.; Silva, M. G. A. L. J.; Silva Dias, M. A. F. da (Org.). Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Texto, 2009. p. 95-109.

Churkina, G.; Running, S. W. Controles climáticos contrastantes sobre a produtividade estimada dos biomas terrestres globais. **Ecossistemas,** v. 1, p. 206-215, 1998.

Costa, M. H.; Foley, J. A. Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO_2 concentrations and the climate of Amazonia. **Journal of Climate**, v.13, p.18-34, 2000. Disponível em https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013%3C0018:CEODAD%3E2.0.CO;2 Acesso em 25 março 2024.

Cunha, N. R. S.; Lima, J. E.; Gomes, M. F. M.; Braga, M. J. A intensidade da exploração agropecuária com o indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados. **Revista Brasileira de Economia e Sociologia Rural**. v.46, n.2, p.291-323, 2008.

Didan, K. MOD13A1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 500m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS-Land Processes Distributed Active Archive

Center. 2015. Disponível em <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13A1.006> Acesso em: 06 dezembro 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Sobre o Matopiba. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-matopiba/sobre-o-tema> Acesso em: 17 dezembro 2023.

Fernandes, G. S. T.; Lopes, P. M. O.; Melo, C. G. B.; Lima, R. L. F.; Santos, A.; Silva, D. A. O. Balanço de radiação em áreas de expansão agrícola no Sudoeste do Piauí. **Revista de Geociências do Norte**, v7, n1. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n1ID19704> Acesso em: 17 novembro 2023.

Funk, C.; Peterson, P.; Landsfeld, M.; Pedreros, D.; Verdin, J.; Shukla, S.; Husak, G.; Rowland, J.; Harrison, L.; Hoell, A. The Climate Hazards Infrared Precipitation With Record For Monitoring Extremes. **Scientific Data**. 2015.

Furquim, L. C, Nuñez, D. N. C, Souza, E. J, Santini, J. M. K, Cabral, J. S. R, Stone, L. F. Estimativa da evapotranspiração em sistemas integrados no Cerrado, utilizando o algoritmo SAFER. **Irriga**, v.25, n.3, p.617-628. 2020. Disponível em http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2020v25n3p61 Acesso em: 24 setembro 2023.

Gao, Q.; Schwartz, Mk; Zhu, W.; Wan, Y.; Qin, X.; Ma, X.; Liu, S.; Williamson, Ma; Peters, Cb; Li, Y. Mudanças na produtividade global das pastagens durante 1982 a 2011, atribuíveis a fatores climáticos. **Sensoriamento Remoto**, v. 8, n. 384, pág. 1-12, 2016.

Guo, L.; Shan, N.; Zhang, Y.; Sun, F.; Liu, W.; Shi, Z.; Zhang, Q. Separating the effects of climate change and human activity on water use efficiency over the Beijing-Tianjin Sand Source Region of China**. Science of the Total Environment**, v.690, p.584–595. 2019. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.067 Acesso em: 13 outubro 2024.

Hoover, D. L.; Abendroth, L. J.; Browning, D. M.; Saha, A.; Snyder, K.; Wagle, P.; Witthaus, L.; Baffaut, C.; Biederman, J. A.; Bosch, D. D.; Bracho, R.; Busch, D.; Clark, P.; Ellsworth, P.; Fay, P. A.; Flerchinger, G.; Kearney, S.; Levers, L.; Saliendra, N.; Schmer, M.; Schomberg, H.; Scott, R. Indicators of water use efficiency across diverse agroecosystems and spatiotemporal scales. **Science of the Total Environment,** v.864. 2023. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160992 > Acesso em: 26 dezembro 2023.

Howell, T. A. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. **Agronomy Journal**, v.93, pp281–289. 2001.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2023: Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, Disponível em doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647 Acesso em 12 maio 2024

IMAFLORA – **Produção de alimentos no Brasil:** geografia, cronologia e evolução. Brasil, 137p. 2021. Disponível em < https://www.imaflora.org/public/media/biblioteca/producao_de_alimentos_no_brasil_geografia_cronologia_e_evolucao.pdf> Acesso em: 05 maio 2024.

Lopes, M. A. Embrapa. In: Matopiba, a nova ousadia da agriculturabrasileira. 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/portal/busca-de-noticias/-/noticia/1705609/matopiba-a-nova-ousadia-daagricultura-brasileira>. Acesso em: 17 novembro 2023.

Magalhães, L.A.; Miranda, E.E. MATOPIBA: Quadro Natural. Nota técnica 5. EMBRAPA. Available at: Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE). 2014.

MAPA- Ministério da Agricultura e Pecuária. Projeções do agronegócio: Brasil 2022/23 a 2032/33-Projeções de longo prazo.2023. Disponível em < https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-brasileira-devera-chegar-a-390-milhoes-de-toneladas-nos-proximos-dez-anos/ProjeesdoAgronegcio20232033.pdf> Acesso em: 11 dezembro 2023.

MAPA—Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Projeções do Agronegócio: Brasil 2017/18 a 2027/28 projeções de longo prazo/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola – Brasília, MAPA/ACE. 112p, 2018.

MAPBIOMAS-Relatório Anual de Desmatamento 2022-São Paulo, Brasil, 125pp. 2023. Disponível em <https://alerta.mapbiomas.org> Acesso em: 20 fevereiro 2023.

Mingoti, R., Holler, W. A., Spadotto, C. A. Características predominantesde bioma, clima, relevo e solos na área dos estados do Maranhão, Tocantins,Piauí e Bahia.2014. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de- publicacoes/-/publicacao/990918/caracteristicas-predominantes-de-bioma-clima- relevo-e-solos-na-area-dos-estados-do-maranhao-tocantins-piaui-e-bahia> Acesso em: 27 outubro 2021.

Miranda, E.E.; Magalhães, L.A.; Carvalho, C.A. Nota técnica nº 1: Proposta de Delimitação Territorial do Matopiba. **Embrapa**. 2014. Available online: 60. Disponível em <https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT1_DelimitacaoMatopiba.pdf> Acesso

em: 15 março 2023.

Monteith, J. L. Evaporation and environment. In: Symposia of the Society for Experimental Biology, v.19, p. 205. 1965.

Nascimento, D. T. F.; Mastins, A. P.; Luiz, G. C.; Lopes, R. M. Climatologia do Cerrado: variabilidades, sustentabilidades e mudanças climáticas no contexto do Cerrado brasileiro. **C&A** (Ed.) Alfa Comunicações, 272p. 2021.

Nascimento, D. T. F.; Novais, G. T. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Élisée, Revista de Geografia da UEG**, v.9, n.2. 2020.

Neto, A. M.; Fernandes, G. S. T.; Lopes, J. R. A.; Lima, E. A.; Lopes, P. M. O.; Lopes, J. R. A.; Lima, E. A.; Lopes, P. M. O.; Rodrigues, L. S.; Gonçalves Junior, A. S. Chaves in land use and cover and their consequences on the spatial distribution of evapotranspiration and climatic elements in southwest Piauí, MATOPIBA. **Journal of South American Earth Sciences,** v.120. 2022.

Neto, A. M.; Fernandes, G. S. T.; Lima, E. A.; Lopes, P. M. O; Rodrigues, L. S.; Gonçalves Júnior, A. S.; Lopes, J. R. A.; Sousa e Silva, L. L.; Silva, R. O. Evapotranspiration in the context of land use and land cover changes in MATOPIBA, Brazil; A theoretical approach. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.16, n.01, 2023. Disponível em http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v16.1.p050-062 Acesso em: 13 maio 2024.

Neto, J. M.; Krüger, C. M.; Dziedzic, M. Análise de indicadores ambientais no reservatório do Passaúna**. Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.14 n.2. 2009. Disponível em https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000200008 Acesso em: 18 setembro 2023.

Nogueira, E. M.; Fearnside, P. M.; Nelson, B.W.; Barbosa, R. I.; Keizer, E. W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, v.1, p.1853-1867, 2008.

Oliveira, T. J. A.; Dörner, S. H.; Schneider, M. B. Desenvolvimento econômico no Matopiba: os arranjos produtivos locais da soja. **Economia Ensaios**. 2020. Disponível em <https://doi.org/10.14393/REE-v35n2a2020-57246> Acesso em: 11 dezembro 2023.

Osterroht, V. M. Manejo de SAF's. **Agroecologia Hoje**, v.15, p.12-13, 2002.

Polizel, S. P.; Vieira, R. M. S. P.; Pompeu, J.; Ferreira, Y. C.; Sousa-Neto, E. R.; Barbosa, A. A.; Ometto, J. P. H. B. Analysing the dynamics of land use in the context of current

conservation policies and land tenure in the Cerrado – MATOPIBA region (Brazil). **Land Use Policy.** 2021. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105713 Acesso em 23 setembro 2023.

Profeta, A. L.; Faria, S. D.; Imbuzeiro, H. M. A. Estimativa da evapotranspiração real em área de relevo acidentado utilizando o SEBAL. **Revista Brasileira de Cartografia,** v.70, n.4. 2018. Disponível em https://doi.org/10.14393/rbcv70n4-46511 Acesso em: 02 fevereiro 2024.

Reboita, M. S.; Gan, M. A.; Rocha, R. P.; Ambrizzi, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

Reis, L. C.; Silva, C. M. S.; Bezerra, B. G.; Spyrides, M. H. C. Caracterização da variabilidade da precipitação no MATOPIBA, região produtora de soja. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.04. 2020. Disponível em https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1425-1441 Acesso em: 13 maio 2024.

Ren, Y.; Zhang, F.; Kung, H.; Johnson, V. C.; Wang, J.; Zhang, Y.; Yu, H.; Yushanjiang, A. Using the vegetation-solar radiation (VSr) model to estimate the short-term gross primary production (GPP) of vegetation in Jinghe county, XinJiang, China. **Ecological Engineering**, v.107. 2017. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.07.029 Acesso em 03 março 2024.

Roos, A. A biodiversidade e a extinção das espécies. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental,** v.7, n.7, p.1494-1499. 2012. Disponível em https://periodicos.ufsm.br/reget/article/download/5651/3628. Acesso em: 27 abril 2024.

Rumsey, D. Statistics for Dummies. 2019. **Editora Alta Books**, Ed.2, 416p. Disponível em < https://www.dummies.com/article/academics-the-arts/math/statistics/how-to-interpret-a-correlation-coefficient-r-169792/> Acesso em: 25 julho 2023.

Running, S., Mu, Q., Zhao, M. MOD17A2H MODIS/Terra Gross Primary Productivity 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. 2015. Disponível em <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD17A2H.006> Acesso em: 06 dezembro 2023.

Running, S.**;** Zhao, M. User's Guide Daily GPP and Annual NPP (MOD17A2H/A3H) and Year-end Gap-Filled (MOD17A2HGF/A3HGF) Products NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm (For Collection 6). 2019.

Sabino, M.; Bouvié, M., Silva Junior, A.A., Machado, N.G., Biudes, M.S. Variação espaço-temporal de parâmetros biofísicos e da evapotranspiração em plantios de

eucalipto. **Ciência e Natura**, v.41, p.1-11. 2019. Disponível em https://doi.org/10.5902/2179460X35416 Acesso em: 03 março 2024.

Salazar, A.; Katzfey, J.; Thatcher, M.; Syktus, J.; Wong, K.; McAlpine, C. Deforestation changes land-atmosphere interactions across South American biomes. **Global and Planetary Change**, v.139, p.97-108, 2016. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.01.004 Acesso em: 03 março 2024.

Santiago, D. B. S.; Barbosa, H. A.; Correia-Filho, W. L. F.; Oliveira Júnior, J. F. Interactions of Environmental Variables and Water Use Efficiency in the Matopiba Region via Multivariate Analysis. **Sustainability,** v.14, n.8758. 2022. Disponível em https://doi.org/10.3390/su14148758 Acesso em 03 março 2024.

Santos, H. G.; Carvalho-Junior, W.; Dart, R. O.; Aglio, M. L. D.; Sousa, J. S.; Pares, J. G.; Fontana, A.; Martins, A. L. S.; Oliveira, A. P. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. **Embrapa Solos**, p. 67. 2011.

Silva, F. A. M. da; Assad, E. D.; Evangelista, B. A. Caracterização climática do bioma cerrado. In: SANO, S. M.; Almeida, S. P. de; Ribeiro, J. F. (Orgs.). Cerrado: ecologia e flora. Brasília: Embrapa, 2008.

Silva, J. N. B.; Galvíncio, J. D.; Miranda, R. Q.; Besera, M. S. Modelos da Produtividade Primária Bruta em área de floresta tropical em sazonalmente seca, usando dados reflectância da vegetação de caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v.14, n.06. 2021. Disponível em http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.6.p3775-3784 Acesso em: 03 março 2024.

Silva, W. A.; De Deus, L. A. B. Análise das mudanças de uso e cobertura da terra e planejamento regional no MATOBIBA. **Revista Tocantinense de Geografia**, v.12, pp.277. 2023. Disponível em http://dx.doi.org/10.20873/rtg.v12i27.15281 Acesso em: 12 de maio 2024.

Simões, V. J. L. P.; Leite, M. L. de M. V.; Izidro, J. L. P. S.; Araújo Júnior, G.N.; Teixeira, V. I.; Assimilação de carbono em plantas forrageiras. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.12, n.01, p.125-134, 2019.

Siqueira, O. J. W.; Salles, L. A. B.; Fernandes, J. M. Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: Lima, M. A.; Cabral, O. V. R.; Miguez, J. D. G. (Ed.). Mudanças climáticas globais e a agricultura brasileira. Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente, 2001.

Sousa, A. Coeficiente de Correlação de Pearson e Coeficiente de correlação de Spearman. O que medem e em que situações devem ser utilizados? **Correio dos Açores**. 2019.

Stape, J. L.; Binkley, D.; Ryan, M. G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.193, p.17-31, 2004.

Sun, Zhongyi et al. "Evaluating and Comparing Remote Sensing Terrestrial GPP Models for Their Response to Climate Variability and CO2 Trends." **Science of The Total Environment**, v.668, p.696–713. 2019. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.025 Acesso em: 07 março 2024.

Veloso, G. A.; Ferreira, M. E.; Silva, B. B.; Silva, L. A. P. Por uma maior eficiência das pastagens brasileiras: análise da Produtividade Primária Bruta com o modelo CASA-SEBAl e dados de satélite. **Caderno de Geografia**, v.32, n.71, 2022. Disponível em https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2022v32n71p1149 Acesso em: 13 abril 2024.

Zar, J. H. Spearman rank correlation. **Encyclopedia of biostatistics, Wiley Online Library**, v. 7, 2005.

Zeng, L.; Wardlow, B. D.; Hu, S.; Zhang, X.; Zhou, G.; Peng, G.; Xiang, D.; Wang, R.; Meng, R.; Wu, W. A Novel Strategy to Reconstruct NDVI Time-Series with High Temporal Resolution from MODIS Multi-Temporal Composite Products. **Remote Sensing.,** v. 12, n. 2397, 2021. Disponível em https://doi.org/10.3390/rs13071397 Acesso em: 13 maio 2024.

CAPÍTULO VI

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1.CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, foram realizadas avaliações no comportamento de uso e ocupação da superfície a partir da substituição da vegetação nativa de cerrado pelas culturas agropecuárias na região do MATOPIBA e variações espaço-temporais de indicadores ambientais, com o intuito de identificar o comportamento de causa e efeito dessas mudanças físicas e climáticas na biodiversidade da região.

Observa-se que houve uma substituição significativa na composição florística do bioma Cerrado ao longo do período de 1985 a 2019 (período do estudo) pelas culturas agrícolas, com destaque para a cultura de soja e açúcar, com o propósito de expansão econômica da região e ocupação de posição de destaque na balança comercial, seguidas da cultura de milho e algodão. Destaque para os últimos 20 anos, no qual houve um crescimento exponencial na área destinada a produção de soja nos estados que compõem o MATOPIBA, com o Maranhão apresentando um aumento de 7.803,3 km², Tocantins 9.184,9 km², Piauí 7.796,3 km² e Bahia 13.028,4 km², sendo este último o estado com maior crescimento em área produtiva. O que equivale a 37.812,9 km² de novas áreas destinadas a produção desse grão, representando um grande percentual de produção retido em apenas 4 estados.

Pode-se identificar, a partir da análise de agrupamento e testes paramétricos (homogeneidade, Mann-Kendall e Sen's Slope), que há tendência de redução de vegetação nativa em toda a série histórica analisada, indicando perda de cobertura vegetal de cerrado ao longos dos 35 anos de estudo, ocorrendo de forma mais gradativa à abrupta em determinados grupos de microrregiões, sendo que o ano de 2001 marca o processo de alteração de forma expressiva da composição florística.

Por meio dos indicadores ambientais, nota-se que a região de MATOPIBA apresentou baixa variação na densidade dos dados de GPP, EVI e WUE, apesar da expressiva substituição de sua vegetação primária, entretanto, níveis baixos de GPP e dos níveis de chuva foram identificados em meados de 2016. Por sua vez, houve alteração

positiva no comportamento da WUE em 2017, após o aumento dos níveis de chuva, que ocorreram nos anos subsequentes.

Mesmo os indicadores demonstrando baixa variação, a expansão e culturas agrícolas deve ser baseado em uma gestão e planejamento equilibrado e consciente.

ANEXOS

Artigo 1 – Referente ao Capítulo 3

ISSN: 2230-9926

Available online at http://www.journalijdr.com

IJDR

International Journal of Development Research
Vol. 11, Issue, 04, pp. 45857-45861, April, 2021
https://doi.org/10.37118/ijdr.21504.04.2021

RESEARCH ARTICLE OPEN ACCESS

CONFLITO ENTRE O AGRIBUSINESS E A CONSERVAÇÃO DO MEIO AMBIENTE

***Karlla Keren da Silva, Isabel Lausanne Fontgalland and Madson Silva**

Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais - PPGRN, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil.

ARTICLE INFO

Article History:
Received 18th January, 2021
Received in revised form
21st February, 2021
Accepted 04th March, 2021
Published online 13th April, 2021

Key Words:
Agribusiness, Natural resources, Environmental Economics, Cerrado.

****Corresponding author:***
Karlla K. da Silvaa

ABSTRACT

MATOPIBA, known as the new frontier of soy expansion, is composed almost entirely of the Cerrado Biome, with this biome significantly reducing its forest area, for the expansion of agriculture. This article aims to outline an overview of the environmental impact caused by soy production in the Cerrado of the MATOPIBA region, assisting in studies and public policies for the inspection and conservation of this biome. Based on data from forest area mapping, soy production and agricultural production, made available by MapBiomas, an analysis of the use and occupation behavior of the land surface of the MATOPIBA region can be performed, where it was identified that soy production in the Cerrado it has expanded on a large scale in the last 20 years, with an increase of 126,851.9 km². However, there was a decline in the area of forest of approximately 11.1%, with the MATOPIBA region contributing to a loss of forest area equivalent to 78% of the entire Cerrado Biome. It can be concluded from the data and facts presented that it is necessary caution in the growth of the country's agricultural frontier, MATOPIBA, faces loss of forest area and great impact on the biodiversity in the Cerrado.

Copyright © 2021, Karlla K. da Silvaa, Isabel L. Fontgallandb and Madson T. Silvab. *This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.*

Citation: ***Karlla K. da Silvaa, Isabel L. Fontgallandb and Madson T. Silvab,*** **2021.** "Conflito entre o agribusiness e a conservação do meio ambiente", *International Journal of Development Research*, 11, (04), 45857-45861.

INTRODUCTION

Um dos grandes paradigmas existentes na atualidade é o conflito entre o crescimento do agronegócio e a conservação do meio ambiente. Pautado na busca pelo crescimento econômico e na necessidade de alimentar a população humana, que segue aumentando desordenadamente, os interesses do agronegócio, são colocados em um viés contrário à necessidadeda proteção dos recursos naturais, tornando-se o primeiro grande parte das vezes, de maior relevância. Debates internacionais ocorrem com maior veemência sobre a necessidade do Brasil buscar modelos de produção agropecuário conciliando o crescimento econômico e a conservação ambiental. Segundo Perman et al. (2003) por muito tempo, o objetivo

Development- WCED criado pelas Nações Unidas em 1983), onde determinou-se que a relação direta entre desenvolvimento e meio ambiente é de ordem mister para todos os seres humanos e sua defesa uma empreitada de vários países (PERMAN et al., 2003).

Um dos fatores preocupantes internacionalmente, ocasionador do esgotamento dos recursos naturais é o crescimento populacional. Estima-se que a população mundial alcançará 9,7 bilhões de habitantes em 2050, segundo a ONU, necessitando de uma demanda crescente por alimentos, além do aumento do padrão de consumo deste, acrescendo também, devido à crise energética, a demanda por biocombustíveis (IPEA, 2012), sendo necessário no que lhe concerne mais áreas cultiváveis disponíveis. Entretanto, o estoque mundial de terras é limitado, levando a necessidade de maior produtividade por

Artigo 2 – Referente ao Capítulo 4

Revista Brasileira de Geografia Física v.17, n.1 (2024) 281-296.

Revista Brasileira de Geografia Física

ISSN:1984-2295

Homepage:https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe

Dinâmica espaço temporal do uso e cobertura do solo na região do MATOPIBA

Karlla Karem Silva de Lima[1], Madson Tavares Silva[2], Célia Campos Braga[3], Isabel Lausanne Fontgalland[4], Welinagila Grangeiro de Sousa[5].

[1]Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão dos Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, CEP: 58109-970; Campina Grande - (PB), Brasil, karllakarem22@gmail.com. [2]Professor Doutor, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, CEP: 58109-970; Campina Grande—(PB), Brasil, madson.tavares@professor.ufcg.edu.br [3]Professor (a) Doutor (a), Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, CEP: 58109-970; Campina Grande—(PB), Brasil, celia.braga@ufcg.edu.br [4]Professor (a) Doutor (a), Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, CEP: 58109-970; Campina Grande—(PB), Brasil, isabelfontgalland@gmail.com [5]Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, CEP: 58109-970; Campina Grande - (PB), Brasil, welinagila.grangeiro@estudante.ufcg.edu.br'

Artigo recebido em 16/05/2023 e aceito em 25/08/2023

RESUMO

O Cerrado, um dos biomas com mais alteração em sua vegetação nos últimos anos, abriga uma região de grande expansão agrícola, conhecida por MATOPIBA (acrônimo utilizado para designar os estados de Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), a nova fronteira agrícola. Ao longo das décadas pode-se observar uma alteração na paisagem florística dessa localidade, através da redução da vegetação nativa e aumento expressivo da vegetação agrícola. Essa interferência pode acarretar em danos ao ecossistema, muitas vezes, irreversíveis. A partir deste, esse trabalho objetiva compreender a dinâmica espaço temporal do uso e cobertura das terras nas microrregiões que compõem a região MATOPIBA, no período de 1985 a 2019. Com base nos dados de estrutura florestal, obtidos na plataforma do projeto MapBiomas (mapbiomas.org/estatísticas), realizou-se a distribuição dos 337 municípios que compõem a área de estudo em 5 grupos e posteriormente aplicou-se teste de homogeneidade de Pettitt e testes não paramétricos de Mann-Kendall e Sen's, para compreensão de uma possível dinâmica de tendência no período de 1985-2019. Diante dos métodos aplicados, identificou-se que os anos de 2001 e 2002 marcam uma quebra na série histórica, indicando tendência de perda de cobertura nativa e ainda, que Tocantins foi o estado de maior perda, coincidindo com o período de expansão da soja. Com base nisso, conclui-se que os métodos estatísticos aplicados foram eficazes na distribuição das microrregiões e determinação de tendências de redução de vegetação, proporcionando uma maior interpretação de uma série longa de dados.

Palavras-chave: Geoestatística. Bioma Cerrado. Sensoriamento Remoto. Flora.

Time space dynamics of use and land coverage in the MATOPIBA region

Abstract

Cerrado, one of the biomes with the most modified vegetation in recent years, is the scenario of great agricultural expansion, particularly in the region known as MATOPIBA (acronym of the states of Maranhão, Tocantins, Piauí and Bahia), a new agricultural frontier. Changes in the floristic landscape of this region have been observed over the decades, with reduction of native vegetation and a significant increase in agricultural crops. This interference can lead to negative and often irreversible effects on the ecosystem. Thus, the present work aims to understand the spatial and temporal