



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

MILENA LIMA

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA DA PRODUÇÃO DE SOJA,
MILHO E SORGO NO ESTADO DO TOCANTINS: UMA ABORDAGEM
QUALI-QUANTITATIVA.**

**PALMAS
2025**

MILENA LIMA

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA DA PRODUÇÃO DE SOJA,
MILHO E SORGO NO ESTADO DO TOCANTINS: UMA ABORDAGEM
QUALI-QUANTITATIVA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso Superior Bacharelado em
Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
(IFTO), Campus Palmas, como exigência para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Clauber Rosanova

PALMAS
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

L732a Lima, Milena
 AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA DA
 PRODUÇÃO DE SOJA, MILHO E SORGO NO ESTADO DO
 TOCANTINS: UMA ABORDAGEM QUALI-QUANTITATIVA / Milena
 Lima. – Palmas, TO, 2025.
 62 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2025.

Orientador: Dr. Clauber Rosanova

1. agricultura. 2. grãos. 3. Cerrado. I. Rosanova, Clauber. II. Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS - TO
COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA**

MILENA LIMA

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA DA PRODUÇÃO DE SOJA,
MILHO E SORGO NO ESTADO DO TOCANTINS: UMA ABORDAGEM
QUALI-QUANTITATIVA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel do Curso Superior de Engenharia Agrônômica do Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Dr. Clauber Rosanova

Aprovada em: 17/12/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Clauber Rosanova
IFTO – *Campus* Palmas – TO

Profa. Dra. Cheila Naves Barbiero
IFTO – *Campus* Palmas – TO

Prof. Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'Ana
IFTO – *Campus* Palmas – TO



Documento assinado eletronicamente por **Cheila Cristina Naves Barbiero, Coordenador**, em 17/12/2025, às 09:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



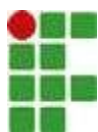
Documento assinado eletronicamente por **Edvaldo Vieira Pacheco Santana, Coordenador**, em 17/12/2025, às 10:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Clauber Rosanova, Servidor**, em 15/01/2026, às 10:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3010944** e o código CRC **9D98B64E**.



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS

- Plano Diretor Sul

— CEP 77021-

Campus Palmas 310 Sul, Av. LO 5, s/n, esquina com a Avenida NS 10
090 Palmas/TO - portal.iftto.edu.br — reitoria@iftto.edu.br

Referência: Processo nº 23236.025258/2025-17

SEI nº 3010944

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força que me sustentou em cada etapa desta jornada. Foi ele quem iluminou meus passos, renovou minha esperança nos dias difíceis e me mostrou que nenhuma luta é maior do que a fé que carrego.

Meu profundo agradecimento ao meu pai, que nunca soltou a minha mão e esteve ao meu lado do início ao fim. Ele acreditou no meu potencial quando eu mesma duvidei, enxergou força em mim quando eu só via cansaço, e permaneceu firme mesmo durante as minhas piores fases, acreditando que a luz no fim do túnel sempre chegaria. Sua presença, apoio e amor foram pilares essenciais para que eu chegasse até aqui.

À minha mãe, minha maior confidente, agradeço por ser meus ouvidos nos momentos em que eu mais precisava conversar, por cada conselho que moldou minhas escolhas e por cada sermão que me colocou de volta no caminho certo. Suas histórias de vida, tão cheias de sabedoria, sempre foram inspiração e aconchego para mim.

Agradeço de coração à minha família “Lima” e à família “Schu”, que sempre torceram pelo meu sucesso, celebraram minhas conquistas e me fortaleceram com carinho, união e apoio verdadeiro.

Meu sincero agradecimento ao meu padrasto Julimar Fortes Pinheiro por acreditar no meu potencial, me apoiar em todas as minhas escolhas, e por vibrar todas as minhas conquistas. Aos meus colegas e amigos, deixo meu sincero agradecimento por terem dividido essa caminhada tão intensa comigo. Em especial, agradeço a Mayda Barbosa, Juliana Luz, Brena Macêdo, Pedro Fonseca, Elivânia Coelho, Mateus Santos, e a todos da turma 5 de Agronomia, que fizeram parte de cada etapa dessa jornada acadêmica, compartilhando risadas, desafios, trabalhos intermináveis e momentos que levarei para a vida toda. Sem vocês, essa trajetória teria sido muito mais difícil.

Ao meu orientador, Clauber Rosanova, deixo minha profunda gratidão por não desistir de mim, nem mesmo quando eu mesma pensei que não conseguiria. Obrigada por me incentivar a enfrentar meus medos, por me fazer “botar a cara a tapa” e por acreditar que eu era capaz de muito mais do que imaginava.

Agradeço de coração ao Nilo Neto Pereira Lima, que caminhou comigo durante toda essa fase, dividindo o peso dessa jornada, os desafios de morar em Palmas, as dificuldades para conseguir carona para o interior e momentos inesquecíveis que ficaram para sempre em meu coração. Sua participação foi essencial nessa conquista.

À Cleciane Lopes Rodrigues, minha mãe de coração, que esteve comigo em toda essa caminhada, desde antes mesmo de eu entrar na faculdade até a conclusão deste curso. Viveu cada fase

ao meu lado, compartilhando lutas, dores, lágrimas, orações e as conquistas. Nos meus momentos mais difíceis, nunca deixou de acreditar em mim, de me apoiar e de sustentar esse sonho com fé e resiliência, meu agradecimento especial.

E deixo um agradecimento cheio de carinho ao meu namorado, Daniel Pereira Tavares, que esteve ao meu lado em todo o processo de construção deste trabalho. Nos momentos de insegurança e cansaço, foi meu apoio, minha calma e meu abrigo. Obrigada por me apoiar nas minhas crises, por ser meu porto seguro nos dias mais escuros e por acreditar em mim mesmo quando eu já não tinha forças. Seu suporte, amor e paciência foram fundamentais para que eu chegasse até o fim.

Por fim, encerro meus agradecimentos com um versículo que define bem esta vitória: *“Tudo posso naquele que me fortalece.”* – Filipenses 4:1

Resumo

A agricultura ocupa posição estratégica no desenvolvimento econômico do Tocantins, especialmente pela expansão das culturas de soja, milho e sorgo, que consolidaram o estado como parte essencial da dinâmica produtiva do MATOPIBA. Este trabalho analisou a evolução temporal da área plantada, produção e produtividade dessas culturas entre 2013 e 2023, buscando compreender suas tendências e os fatores que influenciam o desempenho agrícola regional. Para isso, foram utilizados dados secundários do IBGE (PAM) e da plataforma MapBiomass, aplicando a análise estatística-descritiva, cálculo da variação percentual anual e da taxa média anual de crescimento (CAGR), além da interpretação qualitativa das mudanças no uso e ocupação do solo. Os resultados indicaram crescimento contínuo da área plantada no período, com predominância da soja e avanço expressivo do milho, enquanto o sorgo apresentou maior variabilidade, refletindo sua sensibilidade a condições climáticas e de mercado. A produtividade mostrou desempenho superior para o milho, seguido por soja e sorgo, embora todas as culturas tenham registrado oscilações associadas ao regime hídrico e ao manejo adotado. A análise do uso do solo revelou intensificação das áreas agrícolas e substituição gradual de vegetação nativa por lavouras, evidenciando o avanço da fronteira agrícola no Cerrado tocantinense. Conclui-se que o Tocantins apresenta trajetória consistente de expansão produtiva, ainda que marcada por desafios ambientais e pela necessidade de práticas mais sustentáveis de gestão territorial.

Palavras-chave: agricultura; produtividade; Cerrado; grãos.

Abstract

Agriculture occupies a strategic position in the economic development of Tocantins, especially due to the expansion of soybean, corn, and sorghum crops, which have consolidated the state as an essential part of the productive dynamics of MATOPIBA. This study analyzed the temporal evolution of planted area, production, and productivity of these crops between 2013 and 2023, seeking to understand their trends and the factors that influence regional agricultural performance. To this end, secondary data from IBGE (PAM) and the MapBiomass platform were used, applying descriptive statistical analysis, calculating the annual percentage change and the compound annual growth rate (CAGR), in addition to qualitative interpretation of changes in land use and occupation. The results indicated continuous growth in planted area during the period, with soybeans predominating and significant growth in corn, while sorghum showed greater variability, reflecting its sensitivity to climatic and market conditions. Productivity showed superior performance for corn, followed by soybeans and sorghum, although all crops registered fluctuations associated with water regime and management practices. Land use analysis revealed an intensification of agricultural areas and a gradual replacement of native vegetation with crops, highlighting the advance of the agricultural frontier in the Cerrado region of Tocantins. It is concluded that Tocantins presents a consistent trajectory of productive expansion, albeit marked by environmental challenges and the need for more sustainable territorial management practices.

Keywords: agriculture; productivity; Cerrado; grains.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1. .Rendimento médio da soja (kg/ha) no Tocantins entre 2013 e 2023.....	16
Figura 2. Rendimento médio do milho (kg/ha) no Tocantins entre 2013 e 2023.	17
Figura 3. Rendimento médio do sorgo (kg/ha) no Tocantins entre 2013 e 2023.	18
Figura 4. Comparativo do rendimento médio de milho, soja e sorgo (kg/ha) no Tocantins entre 2013 e 2023.	19
Figura 5. Evolução da área plantada de soja, milho e sorgo no Tocantins entre 2013 e 2023.....	20
Figura 6. Série histórica dos preços médios recebidos pelo produtor de sorgo (R\$/60 kg) no Tocantins entre 2014 e 2025.....	21
Figura 7. Série histórica dos preços médios recebidos pelo produtor de soja (R\$/60 kg) no Tocantins entre 2014 e 2025.....	22
Figura 8. Série histórica dos preços médios recebidos pelo produtor de soja (R\$/60 kg) no Tocantins entre 2014 e 2025.	23
Figura 9. Desmatamento acumulado no Tocantins entre 2013 e 2023.	25
Figura 10. Evolução da área de uso agrícola no Tocantins (1985–2024).	26
Figura 11. Região intermediárias do estado do Tocantins.....	29
Figura 12. Precipitação total anual no Estado do Tocantins, 2013-2023, estação convencional de Araguaína-TO	34
Figura 13. Precipitação total anual no Estado do Tocantins, 2013-2023, estação convencional de Palmas-TO.	35
Figura 14. Precipitação total anual no Estado do Tocantins, 2013-2023, estação convencional de Araguaína-TO	36
Figura 15. Evolução temporal da área plantada total de soja, milho e sorgo no Tocantins (2013-2023).	38
Figura 16. Distribuição das áreas plantadas de soja nos municípios do Tocantins em 2013.	40
Figura 17. Distribuição das áreas plantadas de soja nos municípios do Tocantins em 2023.	41
Figura 18. Distribuição das áreas plantadas de milho nos municípios do Tocantins em 2013	42
Figura 19. Distribuição das áreas plantadas de milho nos municípios do Tocantins em 2023.	43
Figura 20. Distribuição das áreas plantadas de sorgo nos municípios do Tocantins em 2013	44
Figura 21. Distribuição das áreas plantadas de sorgo nos municípios do Tocantins em 2023.	45
Figura 22. Taxa de crescimento percentual da área plantada de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013–2023).	47
Figura 23. Taxa média anual de crescimento (CAGR) das áreas plantadas de milho, soja e sorgo no Tocantins	48
Figura 24. Taxa de crescimento percentual da quantidade produzida de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013–2023).....	51
Figura 25. Taxa média anual de crescimento (CAGR) da quantidade produzida de milho, soja e sorgo no Tocantins.	52
Figura 26. Rendimento médio da produção de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013–2023), em kg/ha.	54
Figura 27. Taxa de crescimento (%) ano a ano do rendimento médio.	55
Figura 28. Taxa média anual de crescimento (CAGR) do rendimento médio de milho, soja e sorgo no Tocantins.	57

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Área plantada ou destinada à colheita no Tocantins (hectares) 2013–2023.	37
Tabela 2. Estatística descritiva da área plantada de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013-2023).	46
Tabela 3. Variação percentual anual da área plantada de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013–2023).....	47
Tabela 4.Quantidade produzida de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013–2023) em toneladas.	49
Tabela 5.Estatística descritiva da quantidade produzida de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013-2023). ..	50
Tabela 6.Variação percentual anual da quantidade produzida de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013–2023).	52
Tabela 7. Rendimento médio da produção de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013–2023), quilogramas por ha.	53
Tabela 8. Estatística descritiva do rendimento médio de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013-2023).	54
Tabela 9. Variação percentual anual do rendimento médio de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013–2023).	56
Tabela 10.Análise SWOT da microrregião agrícola do Tocantins	58

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
3.1 Agricultura no Cerrado e expansão produtiva no MATOPIBA	13
3.2 Culturas de soja, milho e sorgo no Tocantins: importância, evolução e desafios.....	14
3.3 Dinâmica de preços das culturas de soja, milho e sorgo no Tocantins	20
3.4 Fatores climáticos, edáficos e dinâmicas ambientais relacionadas à produção agrícola no Tocantins.	23
3.5 Infraestrutura, logística e modernização agrícola no Tocantins: integração regional e competitividade.	27
4 METODOLOGIA	28
4.1 Área de estudo	28
4.2 Obtenção de dados	29
4.2.1 Análise da expansão das atividades agrícolas no Tocantins	30
4.2.2 Análise dos bancos de dados oficiais sobre a produção de grãos no estado.	30
4.2.3 Análise conjunta dos dados	31
4.2.4 Análise Estatística Descritiva	31
4.2.4.1 Medidas de tendência central	31
4.2.4.2 Medidas de dispersão.....	31
4.2.4.3 Análise da Taxa de Crescimento das Culturas	32
4.2.4.4 Variação percentual ano a ano	32
4.2.4.5 CAGR Taxa Média Anual de Crescimento	32
4.3 Integração dos resultados.....	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
5.1 Padrões de distribuição e desempenho agrícola no Tocantins	39
5.2 Distribuição espacial das áreas plantadas de soja, milho e sorgo no Tocantins.	39
5.3 Análise temporal da área plantada das culturas de milho, soja e sorgo (2013–2023).....	45
5.4 Análise temporal da quantidade produzida das culturas de milho, soja e sorgo (2013–2023).....	49
5.5 Análise temporal do rendimento médio das culturas de milho, soja e sorgo (2013–2023).	54
5.6 Fatores condicionantes: clima, solo e tecnologia	57
5.7 Culturas analisadas e seus papéis no sistema produtivo	58
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
7 REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

A agricultura desempenha um papel central no desenvolvimento socioeconômico do Tocantins, especialmente a partir das últimas décadas, quando o estado passou a integrar de forma mais intensa a dinâmica produtiva do MATOPIBA região que compreende áreas dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia sendo uma das principais fronteiras agrícolas do país. Todavia, a expansão da fronteira agrícola no Cerrado, foi marcada pela antropização da vegetação nativa e substituição de monoculturas principalmente voltadas para produção grãos que são destinados ao mercado nacional e internacional (SANO *et al.*, 2019; ALENCAR *et al.*, 2023).

Nesse contexto, Ferreira e Coelho (2023), descrevem que alguns dos fatores que acompanham essas modificações territoriais são a disponibilidade de terras, modernização tecnológica e o fortalecimento da infraestrutura logística, que são aspectos decisivos para o interesse nessas áreas produtivas. Com isso, apesar da região apresentar leis para o uso sustentável dessas áreas, a competitividade regional em decorrência a expansão agrícola visa explorar mais a potencialidade desse Bioma.

O Tocantins se destaca por reunir condições ambientais que favorecem o estabelecimento de sistemas agrícolas mecanizados, como solos profundos e bem drenados típicos dos Latossolos do Cerrado, amplamente reconhecidos como aptos ao cultivo quando manejados adequadamente (KLINK; MACHADO, 2005; VERGARA, 2021). Além disso, sua localização estratégica possibilita integração com rotas logísticas que conectam a produção agrícola a portos e mercados consumidores, contribuindo para o crescimento expressivo das culturas de soja, milho e sorgo, que hoje ocupam posição central na matriz produtiva do estado (DORNELES *et al.*, 2024; FARIAS, 2024).

Apesar desses avanços, a expansão agrícola no Tocantins ocorre de forma heterogênea de maneira gradual. Nesse sentido, essas diferenças ambientais, estruturais e tecnológicas influenciam o ritmo e a capacidade produtiva de cada microrregião, configurando um mosaico de realidades distintas dentro do estado. Regiões com maior densidade tecnológica e melhor infraestrutura apresentam crescimento mais acelerado, enquanto áreas com limitações logísticas ou edafoclimáticas avançam de forma mais lenta, como apontam estudos sobre a desigualdade interna no MATOPIBA (SANTOS *et al.*, 2022; VARÃO *et al.*, 2020).

Entre os fatores que moldam essa dinâmica, o clima se destaca pela influência direta na produtividade. O regime tropical sazonal, caracterizado por chuvas concentradas e longos períodos secos, afeta principalmente culturas sensíveis à irregularidade hídrica, como soja e

milho safrinha. Anos com distribuição irregular de precipitação tendem a reduzir significativamente o rendimento das lavouras, conforme demonstram análises recentes sobre vulnerabilidade climática no Cerrado (INMET, 2024; Strassburg *et al.*, 2017). Diante disso, o sorgo tem ganhado espaço como alternativa mais resistente em cenários de risco climático, reforçando sua importância na adaptação dos sistemas produtivos (SILVA; GOMES, 2021).

Considerando esses elementos, torna-se essencial compreender como fatores ambientais, tecnológicos e estruturais interagem para definir o desempenho agrícola do Tocantins, com foco nas principais culturas de grãos cultivadas no estado, em especial a soja, o milho e o sorgo. Essas culturas representam a base da dinâmica produtiva recente, concentram grande parte da área cultivada e sintetizam os desafios e potencialidades associados à expansão das lavouras em ambiente de Cerrado (DORNELES *et al.*, 2024; FARIAS, 2024; SILVA; GOMES, 2021). A análise integrada desses aspectos permite interpretar não apenas o crescimento da produção, mas também os riscos climáticos, as exigências de manejo e as implicações ambientais associadas à intensificação desses cultivos.

Diante disso, a presente pesquisa tem como objetivo central analisar a evolução produtiva e espacial das culturas de soja, milho e sorgo no estado do Tocantins entre 2013 e 2023, utilizando dados oficiais de produção, produtividade e uso do solo para compreender a dinâmica recente da agricultura no estado.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a evolução produtiva e espacial das culturas de soja, milho e sorgo no estado do Tocantins entre 2013 e 2023, utilizando dados oficiais de produção, produtividade e uso do solo para compreender a dinâmica recente da agricultura no estado

2.2 Objetivos específicos

1. Descrever a evolução da área plantada, produção e produtividade da soja, milho e sorgo no Tocantins entre 2013 e 2023.
2. Analisar a distribuição espacial dessas culturas no estado, comparando os anos de 2013 e 2023.
3. Relacionar os padrões produtivos observados às características territoriais e ambientais do Tocantins, com apoio em dados secundários e literatura científica.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Agricultura no Cerrado e expansão produtiva no MATOPIBA

O Cerrado brasileiro consolidou-se como a principal fronteira agrícola do país, resultado de décadas de pesquisa e inovação que tornaram possível o cultivo em larga escala em solos originalmente ácidos e pobres em nutrientes. O avanço científico conduzido pela Embrapa a partir dos anos 1970 transformou profundamente a paisagem produtiva do bioma, permitindo a correção de solos, a adaptação de cultivares e o desenvolvimento de sistemas de manejo que impulsionaram a produção de grãos (KLINK E MACHADO, 2005; SANO *et al.*, 2019). Esse processo foi determinante para a formação do atual cenário agropecuário, no qual o Cerrado é responsável por grande parte da produção nacional de soja e milho, sendo um dos pilares do agronegócio brasileiro. Paralelamente aos ganhos produtivos, entretanto, um dos aspectos observados foi a redução contínua da vegetação nativa, estimada em mais de 50% das áreas nativas de Cerrado, especialmente em regiões associadas ao avanço da fronteira agrícola, como o MATOPIBA (STRASSBURG *et al.*, 2017; ALENCAR *et al.*, 2023).

A região foi oficialmente reconhecida pelo Ministério da Agricultura em 2015, acompanhando o interesse crescente de investidores e grupos produtivos que identificaram no território elevado potencial para grãos de ciclo anual e sistemas mecanizados (SANTOS *et al.*, 2022; FERREIRA; COELHO, 2023). O Tocantins, em particular, ocupa posição estratégica dentro do MATOPIBA, respondendo por aproximadamente 37,95% da área total da região, o que reforça sua importância na dinâmica produtiva atual. A modernização agrícola e a incorporação de tecnologias avançadas vêm desempenhando papel decisivo na consolidação regional, fortalecendo a competitividade e favorecendo o desenvolvimento socioeconômico (Da Cruz, 2018; Dal Pozzo *et al.*, 2024).

A expansão da agricultura no Tocantins está diretamente relacionada às condições ambientais e estruturais do estado. Entre os fatores que favorecem seu desenvolvimento, destacam-se a disponibilidade hídrica provinda da Bacia Tocantins-Araguaia, a elevada luminosidade anual e a topografia predominantemente plana, que favorecem a mecanização agrícola (VERGARA, 2021; SOUZA, 2022). Além disso, o estado experimentou nas últimas décadas uma reorganização do uso da terra, com ampla conversão de áreas de Cerrado e pastagens em lavouras mecanizadas, especialmente nas regiões sul e sudeste. As análises temporais do MapBiomas mostram que a agricultura ganhou espaço de forma contínua entre 2000 e 2023, evidenciando a rápida expansão das culturas de soja, milho e sorgo (MAPBIOMAS, 2024; VARÃO *et al.*, 2020).

A produção do Tocantins também está associada ao fortalecimento de sua infraestrutura logística. A implantação da Ferrovia Norte-Sul e sua integração aos portos do Arco Norte transformaram significativamente o escoamento da produção regional, reduzindo custos e ampliando o alcance dos mercados internacionais (FERREIRA; COELHO, 2023; YOUNG E CASTRO, 2023). Somado a isso, o estado concentra mais de 120 unidades de armazenamento, representando a maior capacidade estocadora da região Norte, o que garante menor perda pós-colheita e maior controle sobre os fluxos de comercialização (SOUZA, 2022; IBGE, 2025). Esses fatores, integrados à modernização tecnológica e ao manejo adaptado às condições edafoclimáticas, têm contribuído para o fortalecimento da atividade agrícola tocaninense.

A expansão agrícola no Tocantins, entretanto, não se limita à ampliação territorial. Ela também reflete a adoção crescente de tecnologias avançadas que caracterizam a Agricultura 4.0, marcada pelo uso de dados, monitoramento digital e tomadas de decisão mais precisas. Sensoriamento remoto, sistemas de posicionamento global, softwares de gestão agrícola e ferramentas de inteligência artificial são cada vez mais incorporados às práticas produtivas, permitindo ajustes finos no manejo, redução de desperdícios e maior eficiência do uso de insumos (ZANUTO, 2024; PINTO; PINTO, 2016). A agricultura digital tem desempenhado função crucial para a competitividade do estado, ao mesmo tempo em que contribui para práticas mais sustentáveis e adaptações frente às mudanças climáticas, cada vez mais perceptíveis nas variações sazonais e na irregularidade das chuvas (INMET, 2024; ALENCAR *et al.*, 2023).

3.2 Culturas de soja, milho e sorgo no Tocantins: importância, evolução e desafios

A soja ao longo das últimas décadas se tornou a cultura mais relevante da economia tocaninense (ALVES; DA CRUZ; OLIVEIRA, 2024). Seu avanço está ligado à disponibilidade de terras aptas, ao aprofundamento tecnológico e à expansão da fronteira agrícola nas regiões sul e sudeste do estado. Pesquisas indicam que a produtividade da soja aumentou de forma consistente devido à adoção de cultivares adaptadas ao Cerrado, manejo adequado de fertilidade e modernização das práticas de campo (DORNELES *et al.*, 2024; FARIAS, 2024). Além disso, a crescente digitalização da agricultura permitiu uma análise mais precisa das condições de solo e clima, elevando a eficiência produtiva. No entanto, a cultura enfrenta desafios significativos relacionados à variabilidade climática, à dependência de fertilizantes importados e aos impactos ambientais provenientes da expansão agrícola territorial e substituição das fitofisionomias nativas (STRASSBURG *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2022).

No cenário nacional, o Tocantins ocupa posição intermediária entre os principais estados produtores de grãos. Na cultura da soja, o estado figura entre os 10 maiores produtores do Brasil, respondendo por cerca de 2,5% da produção nacional, segundo a Pesquisa Produção Agrícola Municipal do IBGE (IBGE, 2024). Embora ainda esteja abaixo de polos consolidados, como Mato Grosso, Goiás e Paraná, o Tocantins apresenta uma das maiores taxas de expansão relativa do MATOPIBA, impulsionada pela disponibilidade de terras mecanizáveis e pela incorporação gradual de tecnologias voltadas ao Cerrado (MAPA, 2024; EMBRAPA, 2023). Em termos de produtividade, o estado mantém médias que variam entre 2.800 e 3.300 kg/ha, valores ligeiramente inferiores à média nacional, mas superiores aos observados em outras áreas do Norte e Nordeste, especialmente em anos de maior regularidade hídrica.

Na produção de milho, o Tocantins vem se consolidando entre os 15 principais produtores do país, com destaque para a expansão da segunda safra, que se beneficia da colheita antecipada da soja e da janela agrícola mais favorável. A maior parte da produção é destinada ao abastecimento de cadeias de proteína animal no próprio estado e em regiões próximas, como Maranhão e Pará (CONAB, 2024). A produtividade média oscila entre 4.000 e 4.600 kg/ha, resultado influenciado pela variabilidade climática do regime de sequeiro, mas com tendência de crescimento associada ao uso crescente de híbridos adaptados ao Cerrado e ao manejo nutricional mais eficiente (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2023).

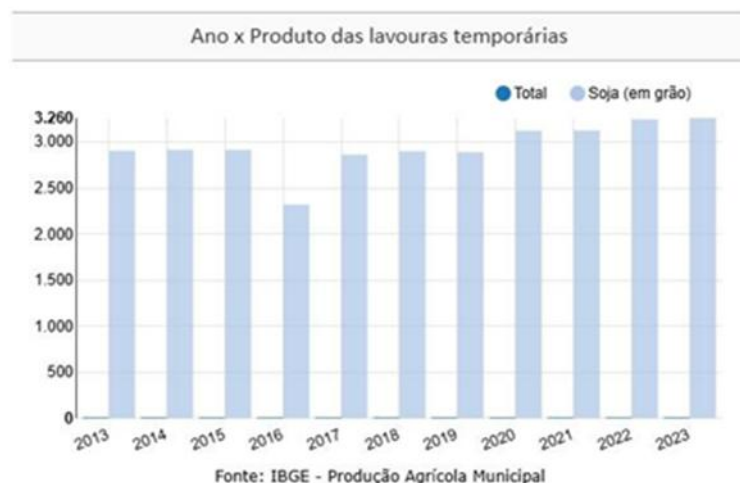
O sorgo, embora ocupe área menor no Tocantins, tem ganhado importância estratégica. O estado já desponta entre os maiores produtores do Norte e do MATOPIBA, impulsionado por sua tolerância ao estresse hídrico e pelo menor custo de produção em comparação ao milho (CONAB, 2024). A maior parte do sorgo produzido destina-se ao mercado de rações, atendendo granjas, confinamentos e unidades produtoras de proteína animal, além de complementar a oferta de grãos em anos de irregularidade climática (SILVA; GOMES, 2021).

Esses indicadores mostram que, apesar de não ocupar posições de liderança em volume absoluto, o Tocantins apresenta crescimento expressivo, estabilidade produtiva e importância regional crescente, especialmente dentro do MATOPIBA. A expansão territorial das lavouras, a incorporação tecnológica gradual e a diversificação das culturas consolidam o Tocantins como um polo emergente da agricultura brasileira (VERGARA, 2021; MAPBIOMAS, 2024).

A evolução do rendimento médio da soja no Tocantins ao longo da última década pode ser observada na Figura 1, que apresenta dados oficiais do IBGE entre 2013 e 2023. Essa série histórica permite compreender de que forma fatores climáticos e condições de manejo influenciaram o desempenho produtivo da cultura no estado.

Figura 1. .Rendimento médio da soja (kg/ha) no Tocantins entre 2013 e 2023.

- Tabela 1612 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendime...
 - Unidade da Federação = Tocantins
 - Variável = Rendimento médio da produção



Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal (2024)

A partir dos dados observados, o rendimento da soja apresenta oscilações ao longo da série histórica, com reduções mais expressivas em 2016 e 2021, anos marcados por veranicos intensos e irregularidade na distribuição das chuvas. Esse comportamento reforça a alta sensibilidade da cultura ao estresse hídrico e evidencia a necessidade de manejo mais preciso e práticas adaptativas para minimizar os impactos climáticos nas regiões produtoras do Tocantins.

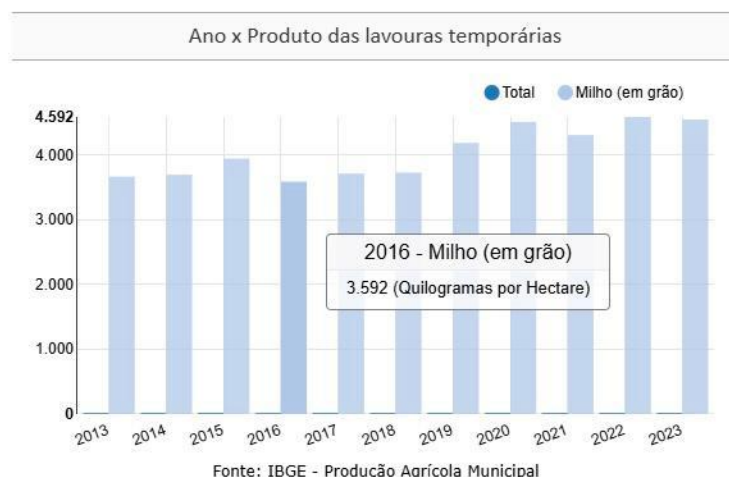
O milho apresenta papel complementar e ao mesmo tempo estratégico para o estado. A maior parte da produção é destinada à segunda safra, aproveitando a janela agrícola aberta pela colheita da soja precoce. Esse sistema tem garantido maior eficiência no uso da terra, reforçando a diversificação produtiva regional e atendendo à crescente demanda das cadeias de proteína animal. As regiões sul e sudeste do Tocantins possuem melhor distribuição de chuvas e, quando combinadas ao uso de tecnologias de precisão, tendem a apresentar alta produtividade. Apesar disso, o milho é sensível às oscilações climáticas e à irregularidade do período chuvoso, fatores que podem comprometer o desempenho da safra e reforçam a necessidade de estratégias adaptativas (DAL POZZO *et al.*, 2024; CONAB, 2024).

Dessa maneira, a tendência de rendimento do milho no Tocantins ao longo da última década pode ser observada na Figura 2, que apresenta dados do IBGE entre 2013 e 2023. A

série histórica evidencia como a irregularidade climática e a dependência da janela de cultivo da safrinha influenciam diretamente a produtividade da cultura no estado.

Figura 2. Rendimento médio do milho (kg/ha) no Tocantins entre 2013 e 2023.

- Tabela 1612 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendime...
 - Unidade da Federação = Tocantins
 - Variável = Rendimento médio da produção



Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal (2024).

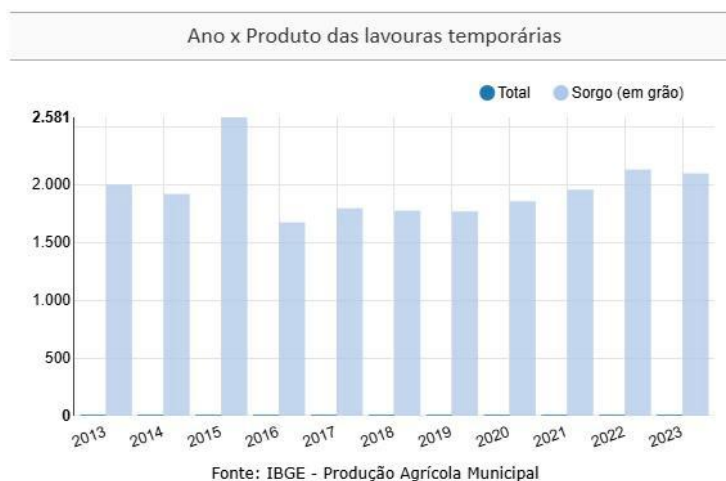
O rendimento do milho apresentou oscilações mais pronunciadas em comparação à soja, refletindo sua maior vulnerabilidade às quebras de safra decorrentes de veranicos ou atrasos no retorno das chuvas. Mesmo com avanços no uso de híbridos adaptados e no manejo nutricional, a produtividade anual do milho permanece altamente condicionada ao comportamento climático, reforçando seu caráter de cultura de maior risco no contexto tocantinense.

O sorgo, embora ocupe área menor em comparação às outras culturas, tem ganhado espaço como alternativa ao milho nas regiões de maior risco climático. Sua tolerância ao déficit hídrico, custo de produção reduzido e versatilidade de uso o tornam uma cultura estratégica para a estabilidade produtiva do estado. Em sistemas de segunda safra, particularmente quando ocorre atraso das chuvas ou encurtamento da estação úmida, o sorgo apresenta maior resiliência e menor risco produtivo. No Tocantins, sua adoção tem crescido justamente por complementar os sistemas produtivos e mitigar impactos decorrentes da variabilidade climática, ampliando a segurança econômica dos produtores (SILVA E GOMES, 2021; DORNELES *et al.*, 2024). A Figura 4 apresenta a evolução do rendimento médio do sorgo no Tocantins entre 2013 e 2023,

evidenciando como a tolerância da cultura ao déficit hídrico contribui para uma produtividade mais estável ao longo do tempo.

Figura 3. Rendimento médio do sorgo (kg/ha) no Tocantins entre 2013 e 2023.

- Tabela 1612 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendime...
 - Unidade da Federação = Tocantins
 - Variável = Rendimento médio da produção



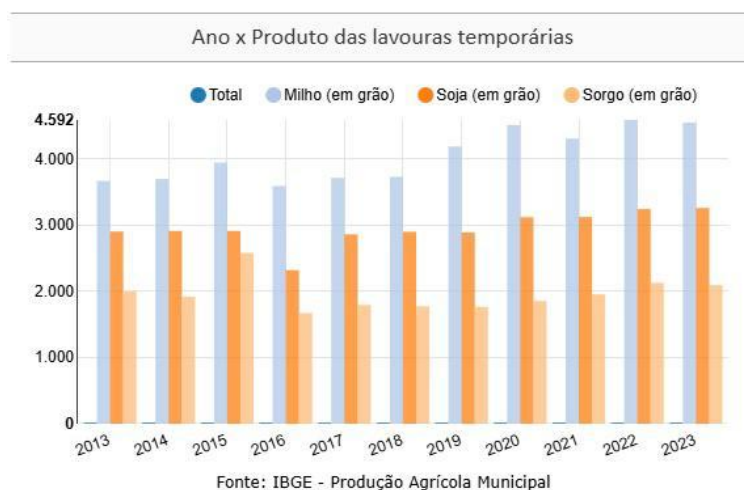
Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal (2024).

Embora o sorgo apresente rendimento inferior ao da soja e do milho, sua produtividade mantém menor variação ao longo da série histórica. Essa estabilidade confirma o perfil da cultura como alternativa estratégica para ambientes mais secos e para produtores que enfrentam maior risco climático, reforçando seu papel na diversificação produtiva do Tocantins.

A análise conjunta das três culturas permite visualizar de forma comparativa os padrões de produtividade no Tocantins. A Figura 4 sintetiza o comportamento do rendimento médio da soja, do milho e do sorgo entre 2013 e 2023, facilitando a interpretação das diferenças estruturais entre elas.

Figura 4. Comparativo do rendimento médio de milho, soja e sorgo (kg/ha) no Tocantins entre 2013 e 2023.

- Tabela 1612 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendime...
 - Unidade da Federação = Tocantins
 - Variável = Rendimento médio da produção



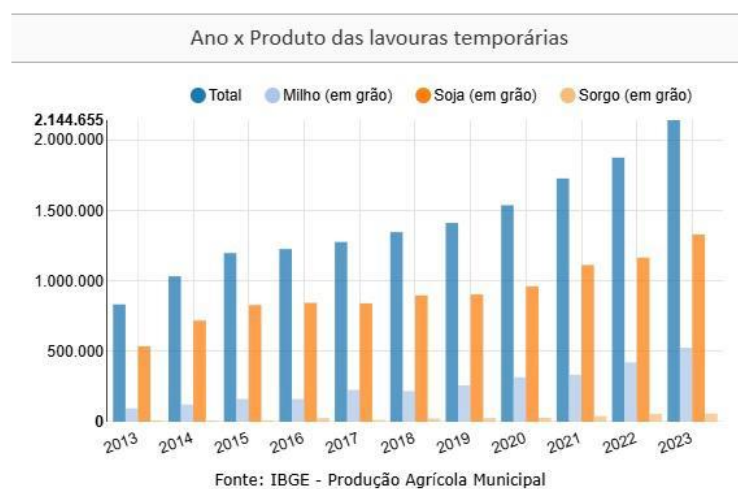
Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal (2024).

Os dados evidenciam que o milho apresenta o maior rendimento potencial dentre as três culturas, com maior variabilidade ao longo dos anos sendo a principal produção do estado. A soja mantém produtividade intermediária e comportamento mais estável, enquanto o sorgo, apesar do menor rendimento absoluto, destaca-se pela regularidade da produtividade mesmo em condições adversas.

Todavia, é necessário analisar como que essas monoculturas interferem nas fisionomias da região, a Figura 5 apresenta a evolução do desmatamento acumulado no Tocantins entre 2013 e 2023, evidenciando o ritmo da antropização de áreas naturais em função da expansão agrícola no estado

Figura 5. Evolução da área plantada de soja, milho e sorgo no Tocantins entre 2013 e 2023.

- Unidade da Federação = Tocantins
- Variável = Área plantada



Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal (2024).

A evolução da área plantada ao longo da última década evidencia o avanço contínuo das três culturas no Tocantins, com destaque para a soja, que permanece como a principal ocupante do território agrícola estadual. O milho mostra crescimento consistente, especialmente após 2019, acompanhando a intensificação das práticas de segunda safra. O sorgo, embora ocupe menor área relativa, apresenta expansão mais expressiva em anos marcados por maior risco climático, reforçando sua função estratégica como alternativa em regiões sujeitas à irregularidade hídrica. Esse comportamento conjunto ajuda a contextualizar a dinâmica produtiva das culturas e fundamenta a análise comparativa de produtividade.

A integração dessas três culturas reflete a complexa dinâmica agrícola tocantinense, marcada por fatores ambientais, tecnológicos e estruturais que interagem entre si. A compreensão do comportamento produtivo de soja, milho e sorgo exige, portanto, uma análise que considere não apenas a área plantada e a produtividade, mas também o contexto territorial, a modernização da agricultura e os desafios ambientais que permeiam o desenvolvimento agrícola regional (VERGARA, 2021; MAPBIOMAS, 2024). Ao reunir essas perspectivas, torna-se possível compreender as transformações no uso da terra, a evolução da produção e os determinantes que moldam o desempenho agrícola no Tocantins.

3.3 Dinâmica de preços das culturas de soja, milho e sorgo no Tocantins

Além dos aspectos agronômicos, a dinâmica de preços exerce influência decisiva sobre as estratégias de cultivo adotadas pelos produtores tocantinenses. Em um contexto marcado pela variabilidade climática, custos logísticos elevados e crescente integração ao mercado nacional e internacional, compreender o comportamento das cotações ao longo do tempo permite interpretar com maior precisão a expansão das principais culturas do estado.

A formação de preços da soja reflete predominantemente fatores do mercado global, como demanda internacional, câmbio e estoques mundiais. Já o milho e o sorgo são fortemente afetados pela dinâmica da demanda interna, especialmente das cadeias de proteína animal e do setor de ração, além das condições de oferta nacional e regional (CONAB, 2024). Assim, oscilações de mercado influenciam diretamente decisões de plantio, adoção de tecnologias e expansão ou retração da área cultivada.

Nesse contexto, a análise das séries históricas de preços recebidos pelos produtores do Tocantins entre 2014 e 2025 fornece uma leitura complementar à evolução produtiva, demonstrando como os ciclos de valorização e queda impactam a sustentabilidade econômica das culturas.

Figura 6. Série histórica dos preços médios recebidos pelo produtor de sorgo (R\$/60 kg) no Tocantins entre 2014 e 2025.



Fonte: CONAB – Preços Médios Recebidos pelo Produtor (2025).

O sorgo apresenta tendência de valorização mais recente, com forte elevação entre 2020 e 2022. Esse comportamento está associado ao aumento da demanda para formulação de rações em períodos de quebra de oferta de milho, além da expansão de sistemas de produção animal

em diferentes regiões do país. A valorização reforçou a atratividade do sorgo como cultura alternativa em áreas de maior risco climático no Tocantins, dado seu menor custo de produção e maior tolerância ao estresse hídrico (SILVA; GOMES, 2021; CONAB, 2024).

Figura 7. Série histórica dos preços médios recebidos pelo produtor de soja (R\$/60 kg) no Tocantins entre 2014 e 2025.



Fonte: CONAB – Preços Médios Recebidos pelo Produtor (2025).

A soja apresenta maior estabilidade relativa, mas com picos expressivos entre 2020 e 2022. Esse período foi marcado por forte demanda chinesa, condições climáticas adversas em importantes regiões produtoras mundiais e variações cambiais que favoreceram a exportação brasileira. A conjuntura contribuiu para a expansão da área plantada no Tocantins, reforçando sua consolidação como uma das principais commodities agrícolas do estado (FERREIRA & COELHO, 2023; DAL POZZO *et al.*, 2024).

Figura 8. Série histórica dos preços médios recebidos pelo produtor de soja (R\$/60 kg) no Tocantins entre 2014 e 2025.



Fonte: CONAB – Preços Médios Recebidos pelo Produtor (2025).

O milho apresenta comportamento mais volátil ao longo da série histórica, refletindo tanto a oscilação da oferta nacional quanto a dependência da janela de plantio da segunda safra. A forte valorização observada em 2021 e 2022 está relacionada à combinação entre estiagens prolongadas em regiões produtoras brasileiras, aumento da demanda para exportação e crescimento do setor pecuário. Em contrapartida, a desvalorização posterior evidencia a vulnerabilidade da cultura a ciclos climáticos e de mercado, impactando diretamente a rentabilidade dos produtores tocantinenses (SANTOS *et al.*, 2022; CONAB, 2024).

Em conjunto, as séries históricas de preços revelam que a rentabilidade de soja, milho e sorgo no Tocantins é moldada por condições de mercado, disponibilidade regional, custos logísticos e fatores climáticos. Essas oscilações afetam desde a escolha das culturas até a adoção de tecnologias e o planejamento de safra, compondo um elemento essencial para compreender o comportamento produtivo no estado. Dessa forma, a análise econômica complementa a perspectiva agrônômica e contribui para uma visão integrada do desenvolvimento agrícola tocantinense.

3.4 Fatores climáticos, edáficos e dinâmicas ambientais relacionadas à produção agrícola no Tocantins.

A relação entre clima, solo e produtividade agrícola no Tocantins tem sido alvo de diversas pesquisas que destacam o papel das condições edafoclimáticas na determinação do desempenho das culturas anuais. O estado encontra-se em uma região de transição climática do Brasil Central, com predominância de clima tropical, caracterizado por duas estações bem definidas: um período chuvoso que se estende de outubro a abril e um período seco entre maio e setembro. A distribuição irregular das chuvas dentro dessa sazonalidade tem impacto direto no estabelecimento das lavouras de soja, milho e sorgo, especialmente durante as fases iniciais de germinação e desenvolvimento vegetativo. Essa dependência climática faz com que os anos de precipitação mal distribuída se traduzam em perdas significativas de produtividade, tornando evidente a necessidade de sistemas de manejo mais resilientes (INMET, 2024; ALENCAR *et al.*, 2023).

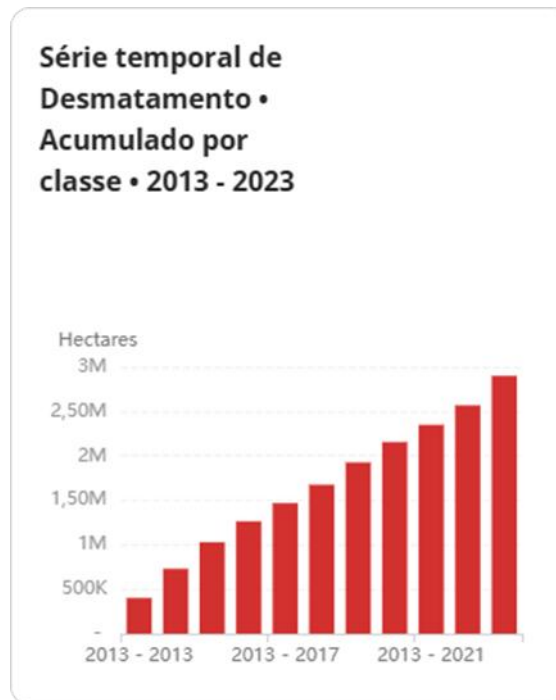
Os solos predominantes no Tocantins são majoritariamente Latossolos Vermelhos e Amarelos, profundos, bem drenados e com alto potencial agrícola, desde que manejados adequadamente. Estudos mostram que esses solos possuem estrutura física favorável à mecanização e ao desenvolvimento radicular, características essenciais para culturas de ciclo anual. No entanto, necessitam correção de acidez por meio de calagem e adubações específicas, devido à baixa saturação por bases, típica dos solos do Cerrado. A adoção de técnicas de manejo de solo, como o plantio direto, tem contribuído para a melhoria da matéria orgânica, aumento da infiltração e redução da erosão, aspectos fundamentais para a sustentabilidade produtiva a longo prazo (VERGARA, 2021; SANO *et al.*, 2019).

Além da influência direta do clima e do solo, há um componente ambiental cada vez mais discutido na literatura, as mudanças climáticas e seus efeitos sobre a estabilidade produtiva. Projeções indicam que a região do MATOPIBA poderá experimentar elevação da temperatura média e maior frequência de veranicos nas próximas décadas, o que pode comprometer o calendário agrícola e aumentar o risco produtivo, principalmente para soja e milho (STRASSBURG *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2022). Nesse cenário, o sorgo tende a ganhar importância pela maior tolerância hídrica, reforçando seu papel como cultura estratégica. Pesquisas recentes apontam que estratégias de adaptação, como o ajuste das janelas de plantio, uso de cultivares mais resistentes à seca e adoção de irrigação suplementar, serão fundamentais para mitigar impactos e manter a produtividade regional (DAL POZZO *et al.*, 2024; INMET, 2024).

Outro elemento essencial da dinâmica ambiental do Tocantins é a conversão de áreas naturais. Desde os anos 2000, análises de sensoriamento remoto evidenciam a substituição contínua de vegetação nativa por lavouras e pastagens, principalmente em áreas com maior

aptidão agrícola. Dados do MapBiomas mostram que o avanço agrícola nas regiões sul e sudeste ocorreu sobre áreas de Cerrado stricto sensu e cerrado ralo, ambientes que já vêm sofrendo fragmentação e pressão ecológica significativa. Esse processo levanta discussões sobre a necessidade de políticas de uso do solo mais equilibradas, que conciliem produção e conservação, especialmente considerando que o Cerrado é responsável por alimentar importantes sistemas hidrográficos do país (MAPBIOMAS, 2024; VARÃO *et al.*, 2020).

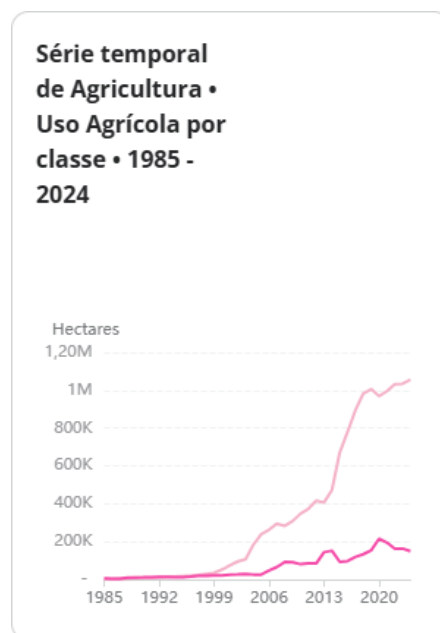
Figura 9. Desmatamento acumulado no Tocantins entre 2013 e 2023.



Fonte: MapBiomas – Coleção 9 (2024).

Os dados demonstram o crescimento contínuo do desmatamento ao longo da última década, ultrapassando 2,7 milhões de hectares em 2023. Esse padrão acompanha períodos de maior avanço da fronteira agrícola no estado, especialmente nas regiões sul e sudeste, e confirma a forte associação entre expansão das culturas de grãos e conversão de vegetação nativa no Cerrado tocantinense (ALENCAR *et al.*, 2023; SANO *et al.*, 2019). Para compreender a dimensão histórica desse processo, a Figura 6 apresenta a evolução da área destinada à agricultura no Tocantins desde 1985.

Figura 10. Evolução da área de uso agrícola no Tocantins (1985–2024).



Fonte. MapBiomias – Coleção 9 (2024).

A série histórica apresenta a expansão moderada até o início dos anos 2000, seguida por aceleração significativa, especialmente após 2010. Esse salto coincide com a intensificação do MATOPIBA e a entrada de grandes grupos agrícolas interessados em solos mecanizáveis e amplas áreas disponíveis. O Tocantins passou de menos de 300 mil hectares cultivados para mais de 1,1 milhão em 2024, consolidando-se como importante área de expansão agrícola no Cerrado (SOUZA, 2022; IBGE, 2024). A Figura 10 detalha o comportamento anual do desmatamento no estado, permitindo identificar anos críticos e flutuações relacionadas à expansão agropecuária.

A literatura ambiental também destaca o papel do manejo sustentável como estratégia para manter a capacidade produtiva do estado. Práticas como integração lavoura-pecuária, manejo conservacionista do solo, rotação de culturas e agricultura de precisão têm sido apontadas como alternativas viáveis para reduzir impactos e promover sistemas mais resilientes. Estudos mostram que, quando bem implementadas, essas práticas contribuem para maior eficiência no uso de nutrientes, redução da pressão sobre áreas nativas e aumento da tolerância a oscilações climáticas. A crescente adoção dessas práticas no Tocantins reflete um movimento nacional de intensificação sustentável que busca equilibrar desempenho produtivo, viabilidade econômica e responsabilidade ambiental (PINTO E PINTO, 2016; ZANUTO, 2024).

No conjunto, os fatores edafoclimáticos, as pressões ambientais e as estratégias de adaptação configuram uma base essencial para entender o desempenho das lavouras no Tocantins e sua inserção no cenário agrícola nacional. A compreensão dessas variáveis ambientais torna-se fundamental para análises quali-quantitativas que buscam explicar as variações de produtividade e as tendências de longo prazo nas culturas de soja, milho e sorgo.

3.5 Infraestrutura, logística e modernização agrícola no Tocantins: integração regional e competitividade.

O desenvolvimento agrícola do Tocantins está profundamente ligado a transformações na infraestrutura logística regional, que têm proporcionado maior competitividade e fortalecimento da economia agrícola. A implantação da Ferrovia Norte-Sul é considerada um marco para o escoamento da produção do estado, pois oferece uma alternativa eficiente ao transporte rodoviário e reduz significativamente os custos logísticos associados à exportação de grãos. Estudos demonstram que a integração do Tocantins aos portos do Arco Norte, como Itaqui (MA), Barcarena e Santarém (PA), abriu novas rotas comerciais mais curtas e competitivas, consolidando o estado como um importante corredor de exportação do Brasil Central.

Essa estrutura logística moderna permite que a produção agrícola tocantinense alcance mercados internacionais com maior rapidez e menor custo, aspecto fundamental para commodities sujeitas à volatilidade do mercado global (FERREIRA; COELHO, 2023; YOUNG; CASTRO, 2023).

Outro ponto crítico para a dinâmica agrícola do Tocantins é a insuficiência da capacidade de armazenagem, uma situação que se repete em grande parte do MATOPIBA. Embora o estado tenha ampliado o número de unidades registradas no Sistema Nacional de Armazenagem (SNA), sua estrutura ainda é inferior ao ritmo de expansão da área cultivada, o que gera um déficit significativo entre produção e capacidade instalada (CONAB, 2024; MAPA, 2023).

Essa limitação faz com que grande parte dos produtores dependa de armazéns privados ou de unidades localizadas fora das propriedades, aumentando custos logísticos, reduzindo a margem de lucro e limitando a flexibilidade comercial. Além disso, a concentração de estruturas de médio porte em poucos municípios estratégicos, principalmente no Sul e Sudeste do estado o que reforça a desigualdade regional no acesso ao armazenamento (EMBRAPA TERRITORIAL, 2023).

A ausência de capacidade suficiente para estocar a produção logo após a colheita expõe agricultores às oscilações de preço e dificulta estratégias de comercialização mais favoráveis. Assim, apesar dos avanços na produção de grãos, a armazenagem ainda se configura como um dos principais gargalos estruturais para o fortalecimento da competitividade agrícola do Tocantins.

Além da infraestrutura física, a modernização agrícola no Tocantins está diretamente relacionada ao avanço tecnológico. A Agricultura 4.0, marcada pela digitalização do campo, vem transformando processos produtivos ao permitir monitoramento contínuo das lavouras, decisões baseadas em dados e intervenções mais precisas. A adoção de sensoriamento remoto, monitoramento climático em tempo real, sistemas de georreferenciamento e plataformas de gestão operacional tem ampliado a eficiência do manejo, reduzido custos de produção e otimizado o uso de insumos como fertilizantes e defensivos. Essa modernização acompanha uma tendência nacional de intensificação agrícola baseada em dados, que tem sido crucial para mitigar riscos e ampliar a competitividade em regiões sujeitas a alta variabilidade climática (ZANUTO, 2024; PINTO E PINTO, 2016).

A integração de infraestrutura e tecnologia fortalece uma rede produtiva dinâmica que influencia diretamente a expansão da produção agrícola tocantinense. Com desafios logísticos importantes, marcada pela dependência do transporte rodoviário e pela limitação da capacidade de armazenagem, a agricultura tocantinense avança em um cenário no qual a infraestrutura ainda não acompanha o ritmo de crescimento da produção. Apesar dessas restrições estruturais, a rápida adoção de tecnologias voltadas para o Cerrado tem impulsionado ganhos de produtividade e permitido a consolidação gradual do estado como um polo emergente de produção de grãos em escala nacional (CONAB, 2024; EMBRAPA TERRITORIAL, 2023)

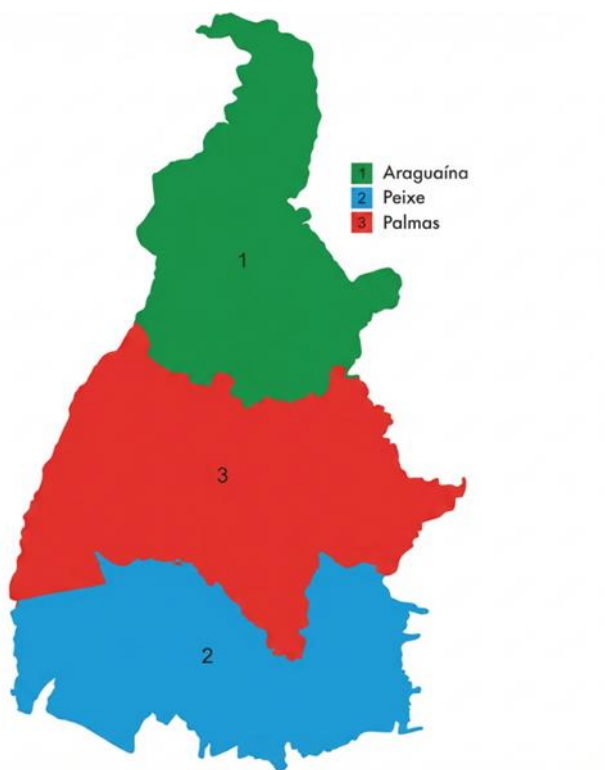
4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

O estudo foi realizado através da análise dos dados derivado das regiões intermediárias do estado do Tocantins (FIGURA 1). O estado está localizado na região norte do Brasil, com extensão territorial de 277.423,627 km² com diferentes fitofisionomias com áreas de cerradão, matas de galerias, campos e rios como Tocantins, Javaé, Araguaia, Paranã e outros (IBGE, 2025). Devido a diversidade de ambientes podem ser encontrados diferentes povos com

culturas variadas ligadas às características ecológicas de seus territórios.

Figura 11. Região intermediárias do estado do Tocantins



Fonte: Varão *et.al* 2020.

A coleta de dados do INMET, foi dividida em 3 macrorregiões, como mostra na figura 11, região sul sendo representada por uma estação convencional de Araguaína-TO, a região central sendo representada por uma estação convencional da capital Palmas, e a região sul sendo representada pela estação convencional da cidade do Peixe-TO.

4.2 Obtenção de dados

O estudo quali-quantitativo foi exploratório na busca de analisar o desenvolvimento da produção de grãos das culturas de soja, milho e sorgo no estado do Tocantins nas últimas décadas. Foram divididos em três etapas, a primeira consistiu na coleta de dados de órgãos oficiais e governamentais sobre a produção, área plantada, rendimento, precipitação anual, abertura de novas áreas legais, e da expansão das atividades agropecuárias, a segunda etapa organizou-se esses dados de acordo com cada segmento, e a terceira etapa aplicou-se esses dados as análises estatísticas e correlacionou aos fatores determinantes.

4.2.1 Análise da expansão das atividades agrícolas no Tocantins

Inicialmente, foi realizada uma análise da expansão das atividades agrícolas no estado do Tocantins, utilizando como base a plataforma digital MapBiomass, que disponibiliza uma linha temporal das transformações no uso e ocupação da terra. Para este estudo, foram considerados os dados do período de 2013 a 2023, com o objetivo de observar a dinâmica recente das alterações territoriais associadas à atividade agropecuária. Os dados obtidos foram analisados em conjunto com as informações produtivas das culturas de soja, milho e sorgo, possibilitando relacionar a expansão da produção de grãos com as mudanças no uso do solo no estado.

4.2.2 Análise dos bancos de dados oficiais sobre a produção de grãos no estado.

Os dados quantitativos foram coletados em bases, para garantir que as análises sejam consistentes e confiáveis, sendo elas, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) e do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA), e a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), que fornecem informações sobre área plantada, produção, produtividade e o acompanhamento das safras. Também foram utilizadas informações complementares sobre chuvas e temperaturas médias disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

As variáveis analisadas incluíram a produção total, a área plantada e colhida e a produtividade média, organizadas por regiões intermediárias e por tipo de cultura (soja, milho e sorgo). A partir desses dados, foram realizados cálculos indicadores que ajudaram a entender melhor a dinâmica da agricultura dos grãos no estado, como a taxa média de crescimento anual (CAGR) e a variação percentual de um ano para outro, permitindo identificar a expansão, estabilidade ou retração na produção.

As análises foram executadas em planilhas e softwares como Excel, onde também foram produzidos gráficos e mapas comparativos que mostram como o Tocantins se comportou ao longo do período estudado. Mais do que apresentar números, essa etapa buscou compreender a trajetória agrícola tocantinense, como ela cresceu, quais fatores contribuíram para isso e de que forma as culturas de soja, milho e sorgo se consolidaram no cenário produtivo do estado.

4.2.3 Análise conjunta dos dados

Os dados obtidos nas etapas anteriores foram analisados de forma integrada, combinando procedimentos de estatística descritiva, avaliação temporal e interpretação comparativa entre regiões intermediárias. O objetivo dessa etapa foi identificar padrões de produção, variações ao longo do tempo e diferenças estruturais entre as regiões do estado.

4.2.4 Análise Estatística Descritiva

Inicialmente, foram calculadas medidas estatísticas fundamentais para caracterizar o comportamento das séries históricas de área plantada, produção e produtividade das culturas de soja, milho e sorgo no Tocantins. Foram utilizadas as seguintes métricas:

4.2.4.1 Medidas de tendência central

- **Média:** resultado da soma dos valores da série dividida pelo número total de anos analisados.

A média permite identificar o comportamento geral da cultura ao longo do tempo e comparar o nível médio de produção entre regiões.

4.2.4.2 Medidas de dispersão

- **Valor mínimo e valor máximo:** indicam os limites inferior e superior da série temporal.
- **Amplitude:** diferença entre os valores máximo e mínimo, indicando o grau de variação total da cultura no período.
- **Desvio padrão (DP):** quantifica o grau de dispersão dos dados em relação à média, permitindo avaliar a estabilidade produtiva ao longo do tempo.
- **Coeficiente de Variação (CV %):** calculado pela fórmula:

$$CV = \left(\frac{\text{Desvio Padrão}}{\text{Média}} \right) \times 100$$

O CV foi utilizado para interpretar o nível de oscilação anual das culturas, adotando-se a classificação:

- **CV < 10%** → baixa oscilação (alta estabilidade)
- **10% ≤ CV ≤ 20%** → oscilação moderada

- **CV > 20%** → alta oscilação

Essa abordagem permitiu identificar culturas ou regiões com maior instabilidade produtiva, ajudando a relacionar variações com fatores climáticos ou estruturais.

4.2.4. 3 *Análise da Taxa de Crescimento das Culturas*

Para avaliar a evolução temporal das culturas no período analisado, foram aplicadas duas métricas complementares:

4.2.4.4 *Variação percentual ano a ano*

A variação anual foi utilizada para medir a intensidade do crescimento ou redução entre anos consecutivos, calculada pela fórmula:

$$Variação(\%) = \left(\frac{Valor_{ano} - Valor_{ano-1}}{Valor_{ano-1}} \right) \times 100$$

Essa métrica permite identificar anos de forte expansão, retração ou estabilidade, ampliando a compreensão sobre impactos climáticos, econômicos e estruturais em cada cultura (Bussab; Morettin, 2017).

4.2.4.5 *CAGR Taxa Média Anual de Crescimento*

A taxa média anual de crescimento CAGR (*Compound Annual Growth Rate*) foi aplicada para medir o crescimento médio das séries entre o primeiro e o último ano disponível (2013 a 2023) (Bruni, 2010; Gitman; Zutter, 2015).

$$CAGR = \left(\frac{Valor_{final}}{Valor_{inicial}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Onde:

- Valor inicial: valor da variável no ano de 2013;
- Valor final: valor no ano de 2023;
- n: número de anos do período analisado.

O CAGR permite avaliar se o crescimento foi consistente ao longo do período, evitando distorções causadas por oscilações anuais.

4.3 Integração dos resultados

Os resultados descritivos, as variações anuais e as taxas de crescimento foram integradas à análise espacial (MapBiomas) e climatológica (INMET), permitindo:

- Identificar regiões mais dinâmicas na expansão agrícola;
- Reconhecer áreas com maior estabilidade ou instabilidade produtiva;
- Avaliar a relação entre crescimento agrícola, uso do solo e condições ambientais;

Essa abordagem integrada permitiu compreender, de forma mais robusta, como a produção de soja, milho e sorgo evoluiu ao longo do tempo e como esses comportamentos variam entre as regiões intermediárias do Tocantins. Ao combinar estatísticas descritivas, taxas de crescimento, análises temporais e informações espaciais, foi possível identificar padrões de expansão, oscilações produtivas e possíveis relações com fatores ambientais e estruturais. Esse conjunto de procedimentos forneceu uma interpretação consistente das dinâmicas agrícolas do Tocantins, permitindo identificar tendências gerais de expansão, estabilidade ou oscilação na área plantada, produção e produtividade das culturas analisadas. As análises estatísticas e temporais possibilitaram reconhecer períodos de maior crescimento, anos de retração e padrões que influenciam diretamente o desempenho das culturas no estado como um todo, contribuindo para uma compreensão integrada da evolução recente da agricultura tocaninense.

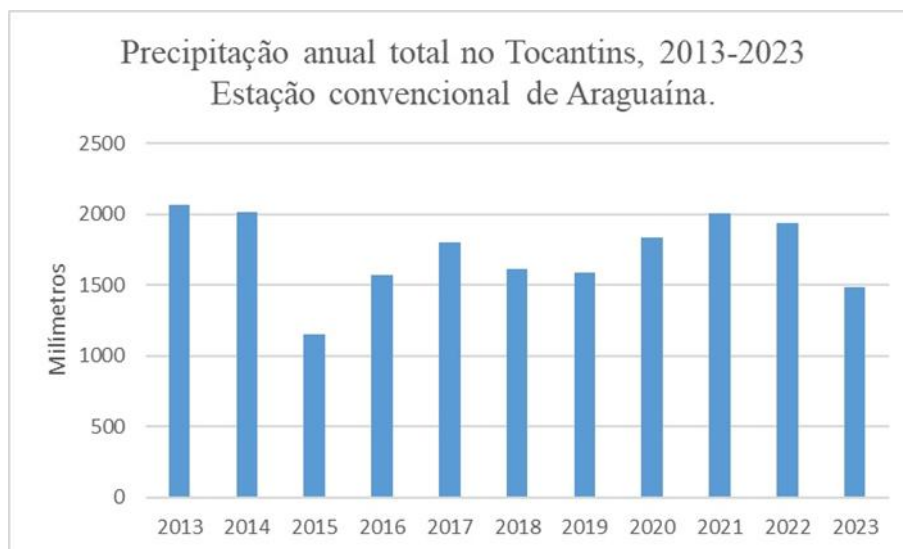
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados provenientes da análise do desenvolvimento da produção de grãos das culturas de soja, milho e sorgo no estado do Tocantins, no período de 2013 a 2023, evidenciaram uma expressiva expansão dessas culturas nas regiões intermediárias do estado. A análise também considerou as condições climáticas, que se mostraram determinantes para o crescimento contínuo da produção de soja, milho e sorgo no Tocantins ao longo do período avaliado.

Neste contexto, convém compreender a dinâmica climática pois é fundamental para interpretar o desempenho agrícola no estado do Tocantins, uma vez que a produção de grãos apresenta elevada dependência do regime pluviométrico. Nesse contexto, Avelar e De Moraes (1986), descrevem que o clima é um elemento central para fenologia dos grãos e regiões que

apresentam condições climáticas favoráveis se tornam alvo para instalação de empreendimentos voltados para essa cultura. Com isso, a Figura 12 apresenta a variação da precipitação anual média registrada na estação meteorológica de Araguaína, localizada na região norte do estado, ao longo do período de 2013 a 2023.

Figura 12. Precipitação total anual no Estado do Tocantins, 2013-2023, estação convencional de Araguaína-TO



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

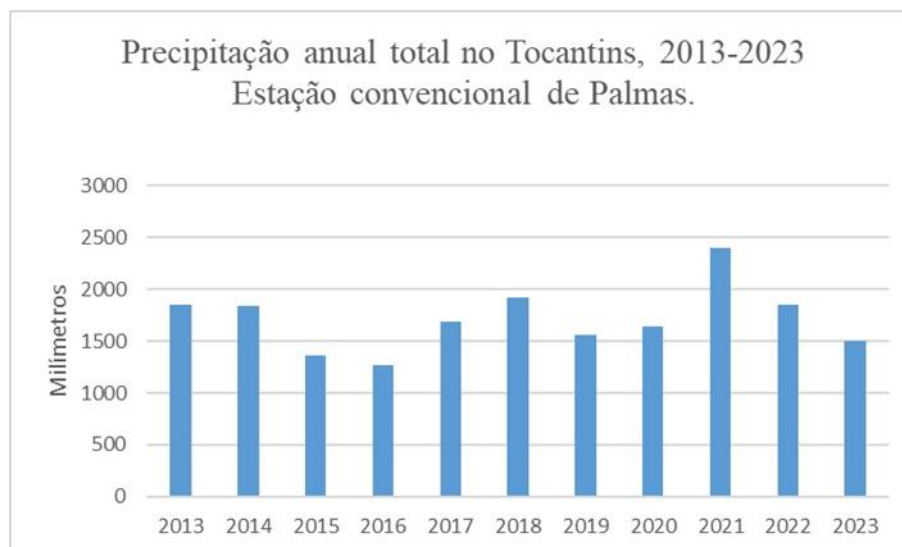
Os dados evidenciam que a precipitação anual em Palmas, como relata na figura 13, também apresentou elevada variabilidade ao longo do período analisado, com anos de maior concentração de chuvas seguidos por reduções significativas nos totais pluviométricos. Embora os valores médios se mantenham compatíveis com o clima tropical sazonal do Cerrado, a irregularidade na distribuição das chuvas entre os anos destaca a vulnerabilidade climática da região central do estado.

Essa dinâmica influencia diretamente o desempenho agrícola, uma vez que a irregularidade das chuvas pode comprometer o calendário de plantio e aumentar os riscos produtivos, especialmente para sistemas agrícolas dependentes exclusivamente da chuva. Assim como observado em Araguaína, a variabilidade pluviométrica em Palmas reforça a necessidade de estratégias adaptativas, como o uso de tecnologias de manejo, cultivares mais resistentes e, quando possível, sistemas de irrigação.

Além das estações localizadas no norte e na região central do estado, a análise do regime pluviométrico também considerou os dados da estação meteorológica convencional de Peixe, situada na região sul do Tocantins, área estratégica para a expansão da agricultura de grãos. A Figura 14 apresenta a precipitação total anual registrada nesse município entre os anos de 2013

e 2023, permitindo avaliar o comportamento climático em uma das principais zonas produtoras do estado.

Figura 13. Precipitação total anual no Estado do Tocantins, 2013-2023, estação convencional de Palmas-TO.



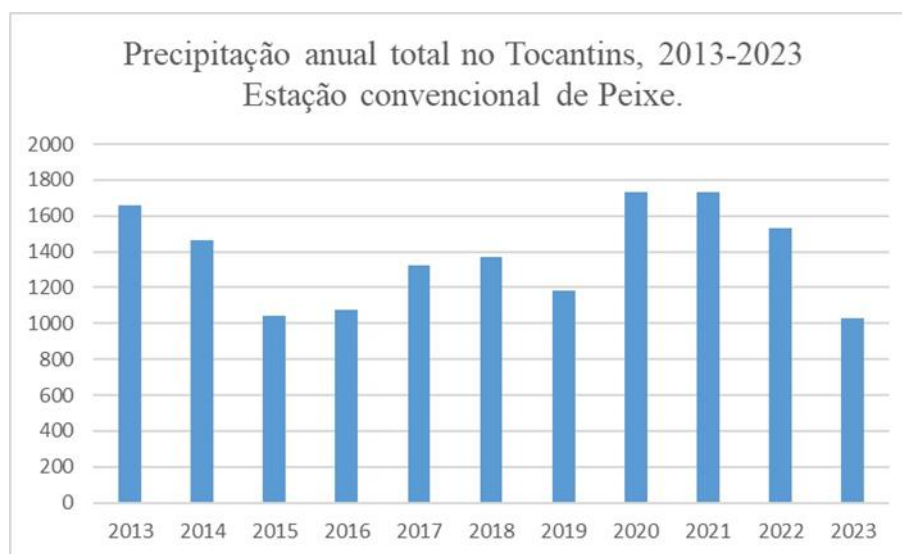
Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

Os dados evidenciam que a precipitação anual em Palmas também apresentou elevada variabilidade ao longo do período analisado, com anos de maior concentração de chuvas seguidos por reduções significativas nos totais pluviométricos. Embora os valores médios se mantenham compatíveis com o clima tropical sazonal do Cerrado, a irregularidade na distribuição das chuvas entre os anos destaca a vulnerabilidade climática da região central do estado.

Essa dinâmica influencia diretamente o desempenho agrícola, uma vez que a irregularidade das chuvas pode comprometer o calendário de plantio e aumentar os riscos produtivos, especialmente para sistemas agrícolas dependentes exclusivamente da chuva. Assim como observado em Araguaína, a variabilidade pluviométrica em Palmas reforça a necessidade de estratégias adaptativas, como o uso de tecnologias de manejo, cultivares mais resistentes e, quando possível, sistemas de irrigação.

Além das estações localizadas no norte e na região central do estado, a análise do regime pluviométrico também considerou os dados da estação meteorológica convencional de Peixe, situada na região sul do Tocantins, área estratégica para a expansão da agricultura de grãos. A Figura 13 apresenta a precipitação total anual registrada nesse município entre os anos de 2013 e 2023, permitindo avaliar o comportamento climático em uma das principais zonas produtoras do estado.

Figura 14. Precipitação total anual no Estado do Tocantins, 2013-2023, estação convencional de Araguaína-TO



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

Os dados de precipitação registrados na estação de Peixe evidenciam uma variabilidade interanual significativa ao longo do período analisado. Observam-se anos com volumes pluviométricos mais elevados, especialmente entre 2020 e 2021, contrastando com períodos de redução acentuada das chuvas, como em 2015, 2016 e 2023. Esse comportamento confirma a característica sazonal e irregular do clima do Cerrado tocantinense, mesmo em regiões consideradas prioritárias para a produção agrícola.

A variabilidade observada na região sul do estado possui implicações diretas para o desempenho das lavouras de soja, milho e sorgo, uma vez que oscilações no volume anual de chuvas podem afetar o calendário agrícola, a disponibilidade hídrica no solo e o rendimento das culturas. Apesar de a região apresentar infraestrutura mais consolidada e maior adoção tecnológica, a irregularidade pluviométrica permanece como um fator de risco, reforçando a importância de estratégias de manejo adaptativo, como escalonamento de plantio e uso de cultivares mais tolerantes ao estresse hídrico.

Quando comparados aos dados das estações de Araguaína e Palmas, os registros de Peixe indicam que, embora haja diferenças regionais nos totais anuais, a instabilidade climática é um elemento comum em todo o estado do Tocantins, configurando um condicionante estrutural da dinâmica agrícola regional.

A dinâmica agrícola observada no Tocantins revela um processo contínuo de transformação, marcado pela expansão territorial das lavouras, pela adoção gradual de tecnologias e pela forte dependência de condições climáticas características do Cerrado. Esse movimento acompanha tendências já identificadas em estudos regionais, especialmente aqueles que tratam da interiorização da fronteira agrícola e da reconfiguração produtiva do MATOPIBA, onde o Tocantins ocupa posição estratégica (Alencar et al., 2023; Sano et al., 2019).

A partir dos anos 2000, o estado passou a integrar de forma mais expressiva o cenário nacional de produção de grãos, impulsionado pela ampliação da infraestrutura logística, pelo uso de práticas corretivas de solo e pela instalação de grandes grupos agrícolas atraídos tanto pela disponibilidade de terras quanto pelo potencial logístico proporcionado pelos corredores de escoamento (Ferreira e Coelho, 2023; Dal Pozzo et al., 2024). Para compreender a dinâmica agrícola do Tocantins ao longo da última década, inicialmente analisou-se a evolução da área plantada total e das três culturas estudadas. A Tabela 1 apresenta os valores absolutos de área destinada ao cultivo entre 2013 e 2023, evidenciando um crescimento expressivo no período.

Tabela 1. Área plantada ou destinada à colheita no Tocantins (hectares) 2013–2023.

Área plantada ou destinada à colheita (Hectares)				
Ano	Total	Milho (em grão)	Soja (em grão)	Sorgo (em grão)
2013	839562	95565	536545	7800
2014	1038966	122313	719356	8916
2015	1203703	162078	830031	10914
2016	1232549	161258	845745	26038
2017	1282545	226619	842160	12962
2018	1361447	217873	898582	22708
2019	1427218	259121	905281	26661
2020	1544996	316908	962399	29145
2021	1736410	334551	1113801	38853

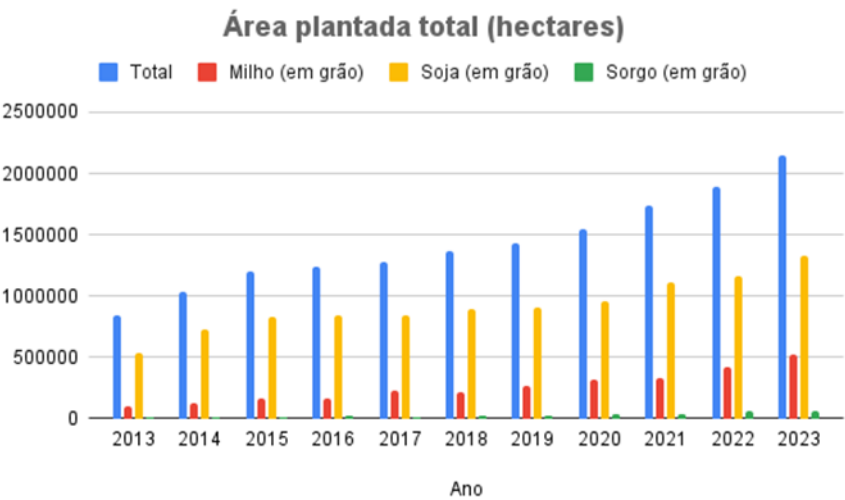
2022	1885158	422261	1167122	55490
2023	2152343	527055	1331484	57419

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE/SIDRA (2024).

Ao relacionar a Tabela acima com a Figura 15, observa-se uma tendência de crescimento da área cultivada total e das áreas destinadas a cada cultura. A comparação dos dados evidencia a expansão das áreas plantadas ao longo do período analisado, com predominância da soja entre os anos avaliados. Em consonância, Bezerra (2024), revela que a cultura de soja no estado do Tocantins se sobressai entre os estados da região norte e essa evolução se mantém constante.

A evolução da área plantada no Tocantins entre 2013 e 2023 revela um crescimento contínuo, indicando a consolidação das culturas de soja, milho e sorgo no estado. A área total mais que dobrou ao longo do período, refletindo a expansão da fronteira agrícola e a incorporação de novas áreas ao sistema produtivo. Esse avanço acompanha o movimento observado no MATOPIBA, impulsionado por melhorias logísticas, maior adoção de tecnologias e condições edafoclimáticas favoráveis.

Figura 15. Evolução temporal da área plantada total de soja, milho e sorgo no Tocantins (2013-2023).



Fonte: Dados da pesquisa (IBGE – PAM).

A soja concentra a maior parte da expansão, mantendo-se como principal cultura em termos de área e ritmo de crescimento. O milho também apresenta aumento progressivo,

embora em menor magnitude, enquanto o sorgo, apesar da participação reduzida, mostra tendência de crescimento gradual, especialmente em regiões com maior variabilidade climática. De forma geral, o aumento da área cultivada demonstra o fortalecimento da atividade agrícola no estado e prepara o cenário para compreender, nas próximas análises, como esses cultivos evoluíram em produção, produtividade e distribuição regional.

5.1 Padrões de distribuição e desempenho agrícola no Tocantins

Ao analisar a distribuição espacial da produção agrícola no estado, observa-se que o avanço das lavouras não ocorreu de forma homogênea. Regiões como o Sul e o Sudeste despontam como áreas de maior consolidação produtiva, em razão da presença de solos mais profundos, maior facilidade de mecanização, maior proximidade com rodovias estratégicas e uma estrutura de armazenamento mais desenvolvida. Estudos sobre logística e competitividade agrícola no Cerrado confirmam que essa combinação de fatores costuma favorecer a formação de polos produtivos com maior estabilidade e crescimento (YOUNG E CASTRO, 2023; SOUZA, 2022).

Em contraste, regiões como o Norte e o Jalapão apresentam crescimento mais moderado. Essa diferença está relacionada à menor densidade tecnológica, à limitação de infraestrutura e às características ambientais que tornam a mecanização mais complexa. Assim, o desempenho agrícola tocantinense reflete um mosaico de condições, onde cada microrregião evolui conforme sua capacidade de integrar fatores naturais, estruturais e tecnológicos, uma conclusão também destacada em estudos que analisam a heterogeneidade interna do MATOPIBA (SANTOS *et al.*, 2022; VARÃO *et al.*, 2020).

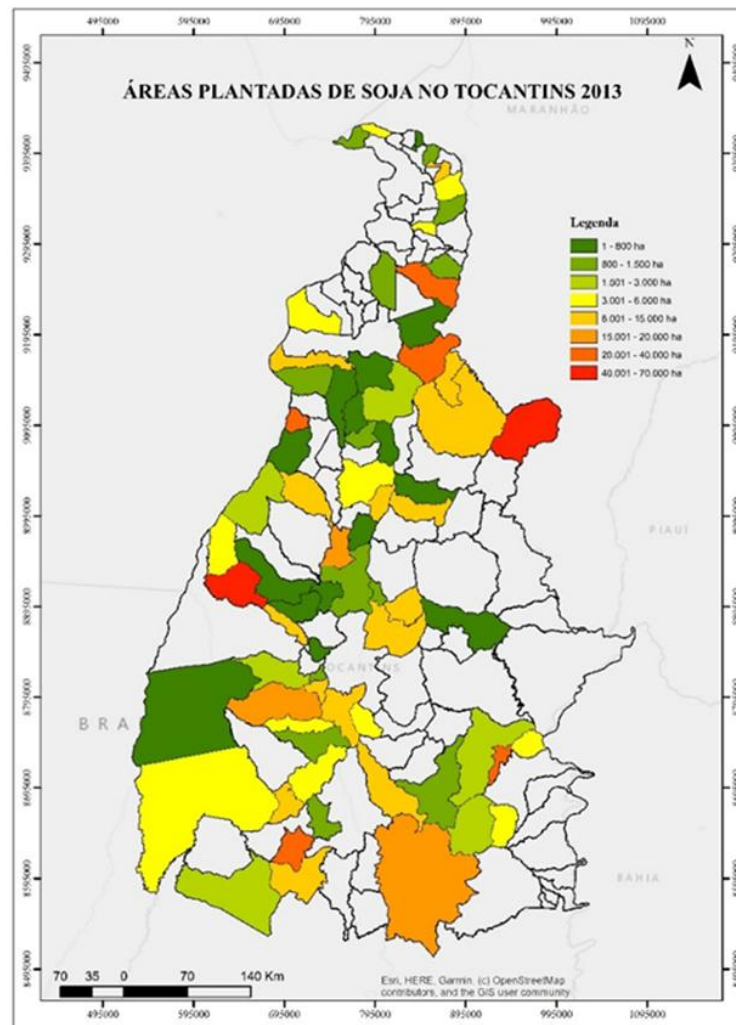
5.2 Distribuição espacial das áreas plantadas de soja, milho e sorgo no Tocantins.

A expansão territorial das culturas de soja, milho e sorgo no Tocantins não ocorreu de forma homogênea. A análise espacial dos municípios permite visualizar os padrões de ocupação agrícola ao longo da última década, evidenciando a intensificação produtiva em regiões específicas e a consolidação de polos agrícolas no estado.

Em 2013, a soja ainda apresentava uma distribuição mais concentrada, especialmente

na região centro-sul do estado. Essa configuração se relacionava ao processo inicial de expansão do MATOPIBA, que atraía investimentos principalmente para municípios com maior infraestrutura e disponibilidade de terras planas. A seguir, apresenta-se o mapa da distribuição da soja no Tocantins em 2013.

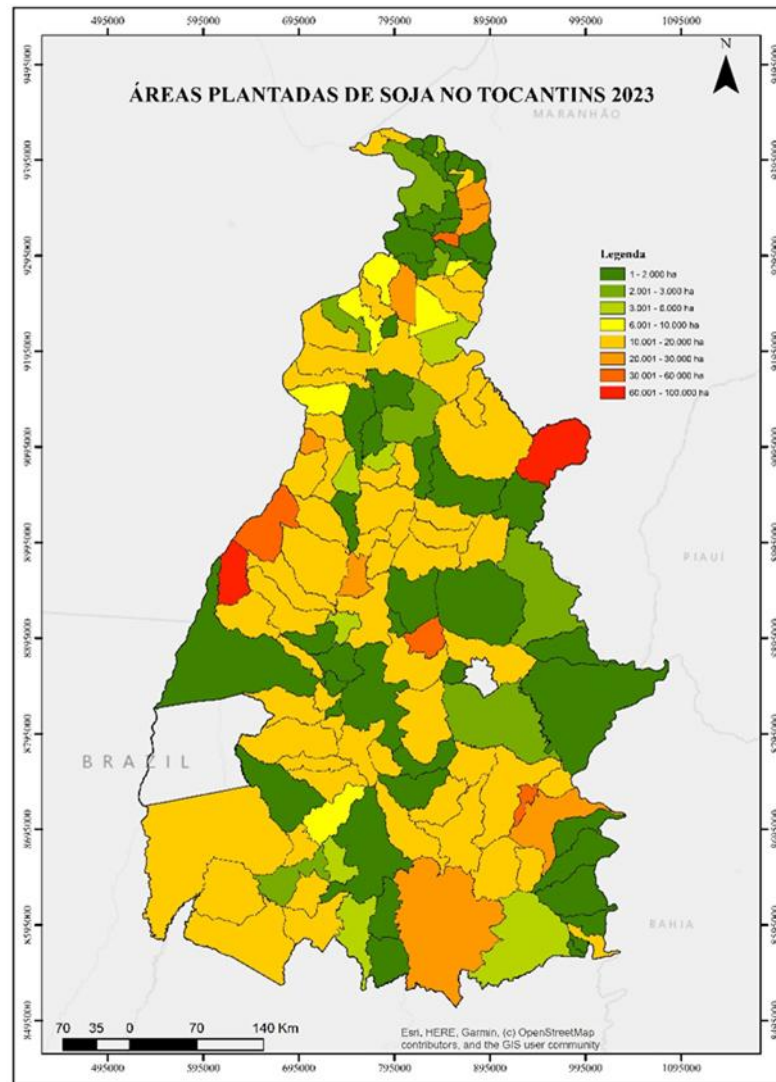
Figura 16. Distribuição das áreas plantadas de soja nos municípios do Tocantins em 2013.



Elaborado pela autora com dados do IBGE/SIDRA (2024).

Observa-se que, em 2013, a produção se concentrava em municípios das regiões sul e sudeste, onde havia melhor infraestrutura logística e maior ocupação agrícola consolidada. Em 2023, a expansão da cultura da soja tornou-se mais expressiva e abrangente, avançando em direção ao norte e ao oeste do estado, ampliando a fronteira agrícola tocantinense.

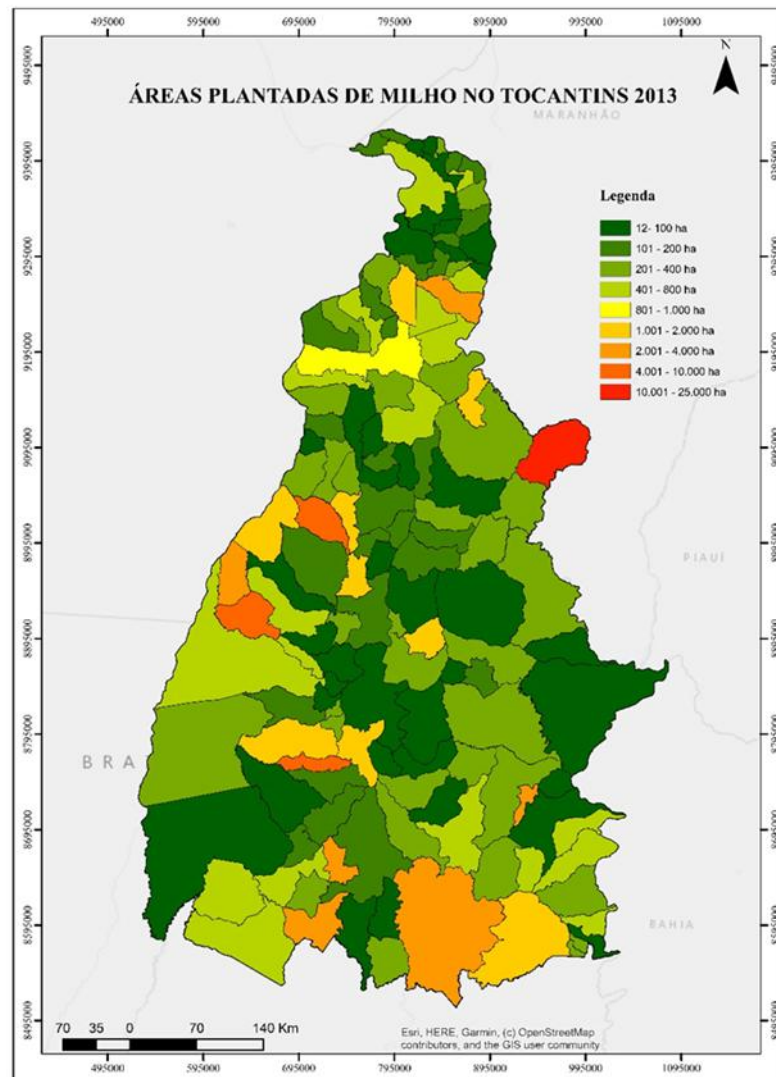
Figura 17. Distribuição das áreas plantadas de soja nos municípios do Tocantins em 2023.



Fonte: Elaborado pela autora com dados do IBGE/SIDRA (2024).

Nota-se um aumento significativo da quantidade de municípios com áreas entre 10 mil e 60 mil hectares, consolidando o Tocantins como um dos principais produtores da região Norte. A distribuição do milho apresenta padrão semelhante ao da soja, mas com maior dispersão territorial, refletindo o papel estratégico da cultura para a diversificação produtiva e abastecimento das cadeias de proteína animal.

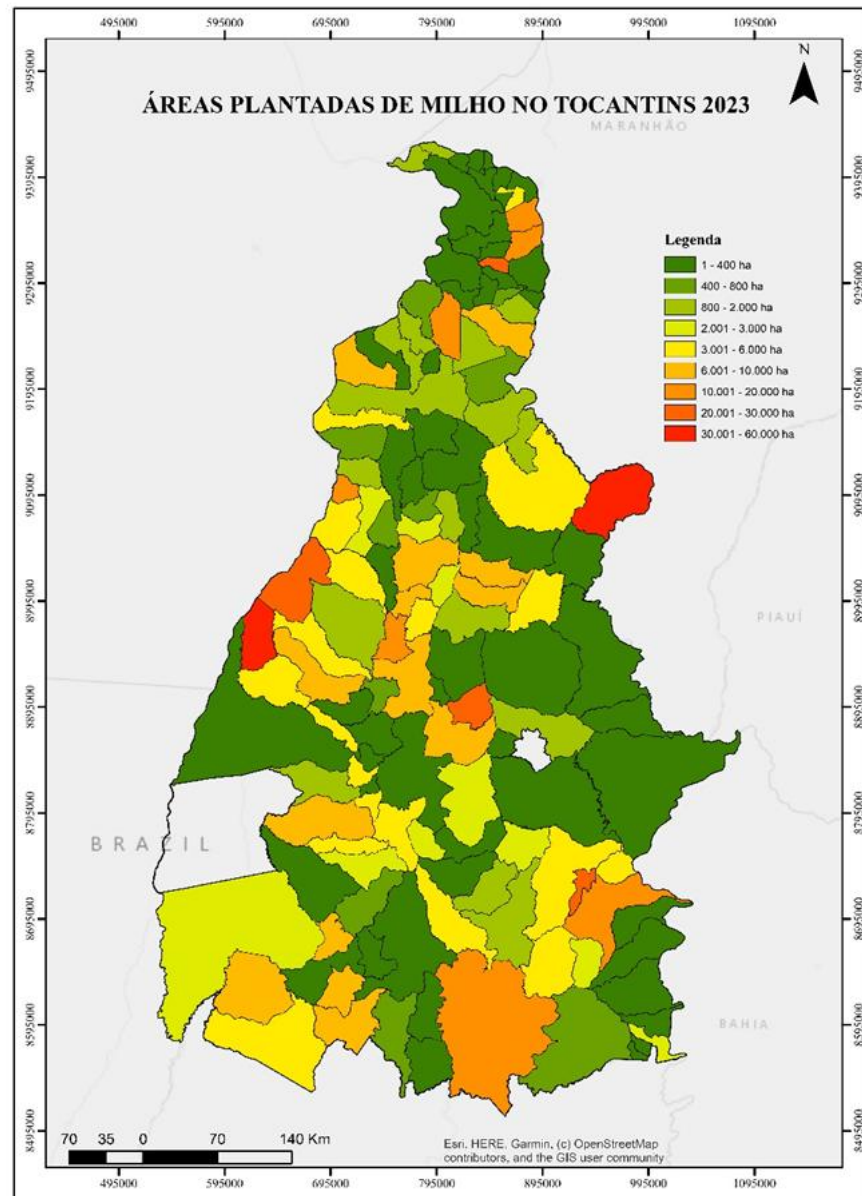
Figura 18. Distribuição das áreas plantadas de milho nos municípios do Tocantins em 2013



Fonte: Elaborado pela autora com dados do IBGE/SIDRA (2024).

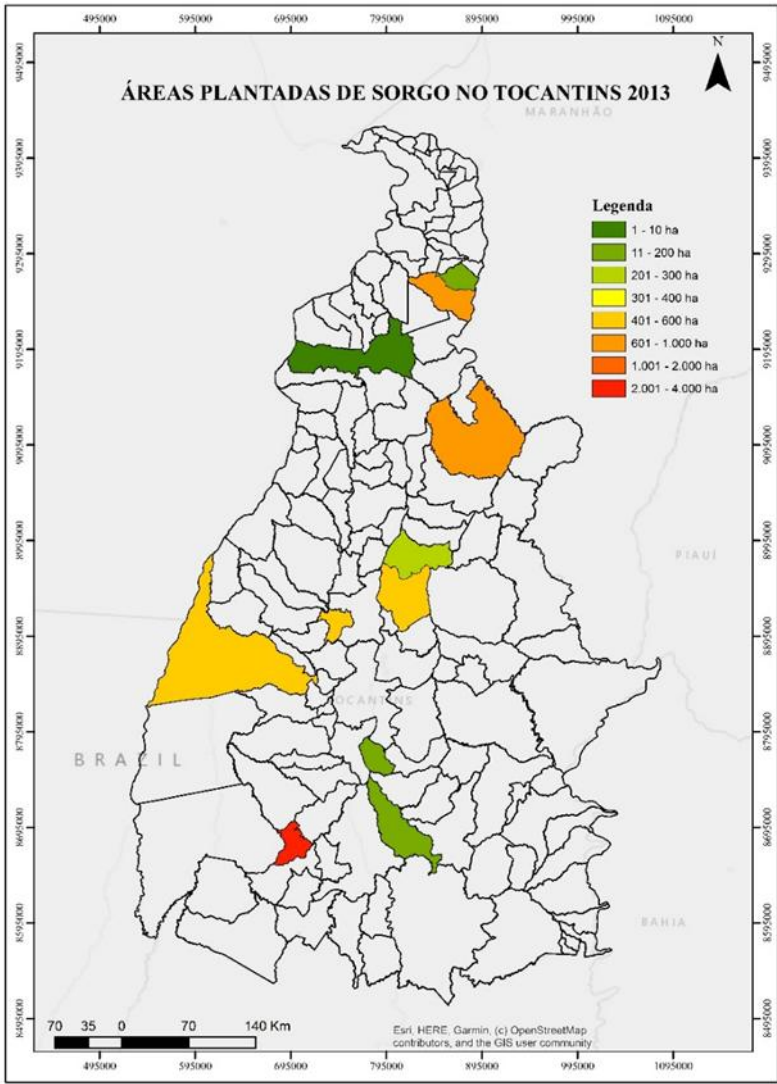
Em 2013, a produção era relativamente concentrada no Sudeste, com poucos municípios acima de 2 mil hectares. Já em 2023, observa-se um avanço territorial mais robusto, especialmente na região central.

Figura 19. Distribuição das áreas plantadas de milho nos municípios do Tocantins em 2023.



Fonte: Elaborado pela autora com dados do IBGE/SIDRA (2024).

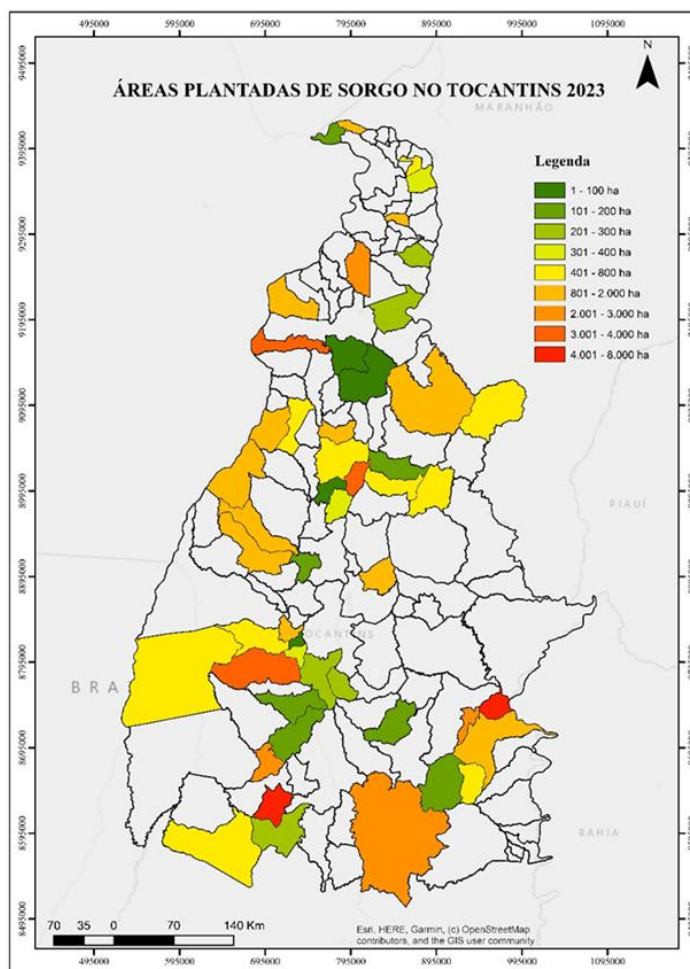
Figura 20. Distribuição das áreas plantadas de sorgo nos municípios do Tocantins em 2013



Fonte: Elaborado pela autora com dados do IBGE/SIDRA (2024).

Em 2023, a expansão do sorgo é notável, principalmente no sudeste, centro e sul, acompanhando a intensificação da produção de grãos e a busca por alternativas mais resistentes às variações climáticas.

Figura 21. Distribuição das áreas plantadas de sorgo nos municípios do Tocantins em 2023.



Fonte: Elaborado pela autora com dados do IBGE/SIDRA (2024).

A análise conjunta dos mapas demonstra que a expansão agrícola tocantinense ao longo da última década está profundamente associada à melhoria da infraestrutura, à incorporação de tecnologias e ao avanço da fronteira agrícola do MATOPIBA. Além disso, revela-se uma intensificação da ocupação territorial das três culturas, com destaque para a soja e, mais recentemente, para o sorgo como alternativa adaptativa ao clima regional.

5.3 Análise temporal da área plantada das culturas de milho, soja e sorgo (2013–2023).

A evolução da área plantada no Tocantins ao longo da última década revela tendências distintas entre as culturas analisadas. A Tabela 2 apresenta a análise estatística descritiva para

área plantada de milho, soja e sorgo entre 2013 e 2023, permitindo identificar padrões de variação, estabilidade e amplitude entre as séries temporais.

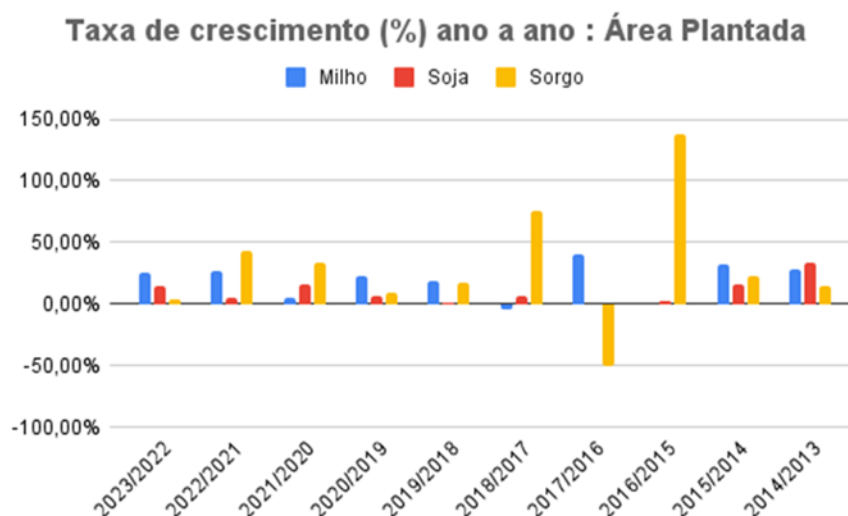
Tabela 2. Estatística descritiva da área plantada de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013-2023).

Análise Estatística Descritiva				
Soma:	Total	Milho (em grão)	Soja (em grão)	Sorgo (em grão)
	15704897	2845602	10152506	296906
Média:	1427717,909	258691,0909	922955,0909	26991,45455
Mínimo (mín):	839562	95565	536545	7800
Máximo (máx):	2152343	527055	1331484	57419
Amplitude:	1312781	431490	794939	49619
Desvio padrão:	381336,3576	132155,045	218469,0442	17472,9706
C.V(%):	26,70%	51,08%	23,67%	64,73%

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE/SIDRA (2024).

A análise evidencia que a soja apresenta a maior média de área cultivada no período, refletindo sua posição consolidada como principal cultura agrícola do estado. Além disso, o coeficiente de variação relativamente baixo indica maior estabilidade ao longo dos anos. Para o milho, observa-se variação moderada, enquanto o sorgo demonstra elevada oscilação, com CV superior a 60%, o que indica forte instabilidade temporal e sensibilidade a fatores climáticos e de mercado. Para complementar essa interpretação, a Figura 22 apresenta a taxa de crescimento percentual ano a ano das três culturas. Essa abordagem evidencia momentos de expansão expressiva, retração e estabilidade, ressaltando os períodos de maior variação.

Figura 22. Taxa de crescimento percentual da área plantada de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013–2023).



Fonte: Dados da pesquisa (IBGE – PAM).

A cultura do sorgo destaca-se por apresentar oscilações abruptas, como o crescimento de mais de 130% entre 2015 e 2016, seguido de queda acentuada no ano subsequente. Essa dinâmica é coerente com o uso do sorgo como cultura alternativa em anos de maior risco climático, sobretudo quando o milho safrinha apresenta baixa viabilidade. Já o milho apresenta crescimento consistente nos últimos anos, especialmente a partir de 2019, refletindo avanços tecnológicos e expansão da segunda safra. A soja, apesar de pequenas variações, mantém trajetória de expansão contínua e estável, indicando consolidação produtiva. A Tabela 3, apresentada a seguir, resume as variações percentuais anuais, permitindo visualizar de forma direta os anos de maior avanço ou retração entre as culturas.

Tabela 3. Variação percentual anual da área plantada de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013–2023).

Variação percentual – Área plantada			
Anos	Milho	Soja	Sorgo
2023/2022	24,81%	14,08%	3,48%
2022/2021	26,21%	4,79%	42,82%
2021/2020	5,56%	15,73%	33,30%
2020/2019	22,30%	6,30%	9,32%
2019/2018	18,93%	0,74%	17,41%
2018/2017	-3,86%	6,70%	75,19%
2017/2016	40,53%	-0,42%	-50,22%
2016/2015	-0,50%	1,89%	138,57%

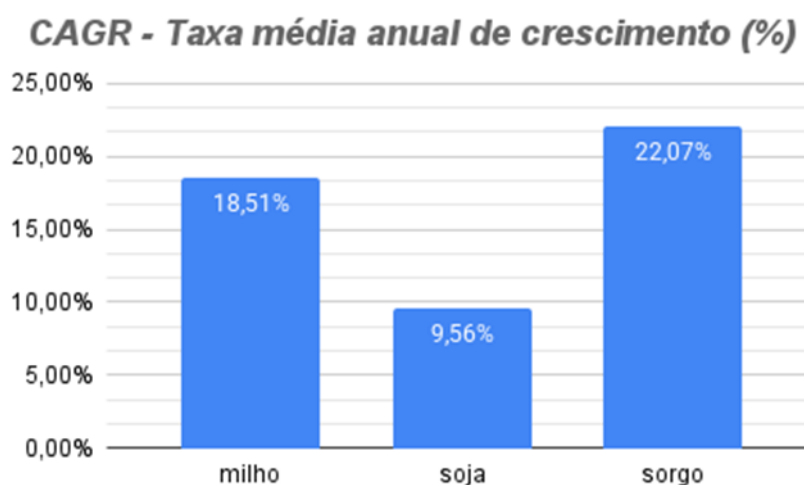
2015/2014	32,51%	15,38%	22,41%
2014/2013	27,99%	34,07%	14,31%

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE/SIDRA (2024).

A partir desses resultados, observa-se que o Tocantins apresenta um padrão de expansão contínua da agricultura de grãos, embora com comportamentos distintos entre as culturas. A soja se destaca pela estabilidade e crescimento progressivo; o milho tem expansão moderada e crescente, impulsionada pela adoção de sistemas de produção integrados; e o sorgo demonstra caráter estratégico e variável, sendo mais utilizado em anos de maior risco climático ou limitação hídrica.

A análise das taxas anuais de crescimento evidencia que as três culturas apresentaram oscilações importantes ao longo da série histórica. O milho registrou alguns dos maiores avanços relativos, com destaque para 2017/2016, quando cresceu mais de 40%. A soja mostrou variações mais moderadas, porém predominantemente positivas, indicando expansão contínua e estável. O sorgo foi a cultura com maior instabilidade, alternando anos de retração intensa (como -50,22% em 2017/2016) com fortes expansões (138,57% em 2016/2015), o que demonstra sua maior sensibilidade às condições climáticas e ao mercado.

Figura 23. Taxa média anual de crescimento (CAGR) das áreas plantadas de milho, soja e sorgo no Tocantins



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE/SIDRA (2024).

O cálculo da taxa média anual de crescimento (CAGR), como mostra na figura 20, evidencia tendências consistentes de expansão para as três culturas. O sorgo apresentou o maior

ritmo médio de crescimento (22,07% ao ano), reflexo de sua rápida expansão em anos específicos. O milho registrou CAGR de 18,51%, confirmando seu avanço expressivo na última década. A soja, embora seja a cultura mais consolidada, exibiu crescimento médio anual de 9,56%, evidenciando expansão contínua, porém mais gradual em comparação às demais Tabela 4.

Tabela 4.Quantidade produzida de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013–2023) em toneladas.

Quantidade produzida (Toneladas)			
Ano	Milho (em grão)	Soja (em grão)	Sorgo (em grão)
2013	350669	1557939	15575
2014	452126	2094100	17002
2015	639736	2418367	28170
2016	531685	1922508	42526
2017	841957	2410207	23248
2018	812816	2606036	40289
2019	1085843	2615178	47113
2020	1430951	3004239	54075
2021	1441960	3477152	75972
2022	1936933	3785386	118116
2023	2398750	4340578	120341

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE/SIDRA (2024).

5.4 Análise temporal da quantidade produzida das culturas de milho, soja e sorgo (2013–2023).

A análise temporal da quantidade produzida das culturas de milho, soja e sorgo entre os anos de 2013 e 2023 possibilita compreender a dinâmica produtiva no estado do Tocantins. Esse período reflete mudanças associadas à expansão da fronteira agrícola, à incorporação de tecnologias produtivas e às variações climáticas, fatores que influenciam diretamente o desempenho dessas culturas. Nesse contexto, a Tabela 5 apresenta a quantidade produzida de milho, soja e sorgo ao longo do período analisado, permitindo a identificação de tendências, oscilações e a produção dessas culturas.

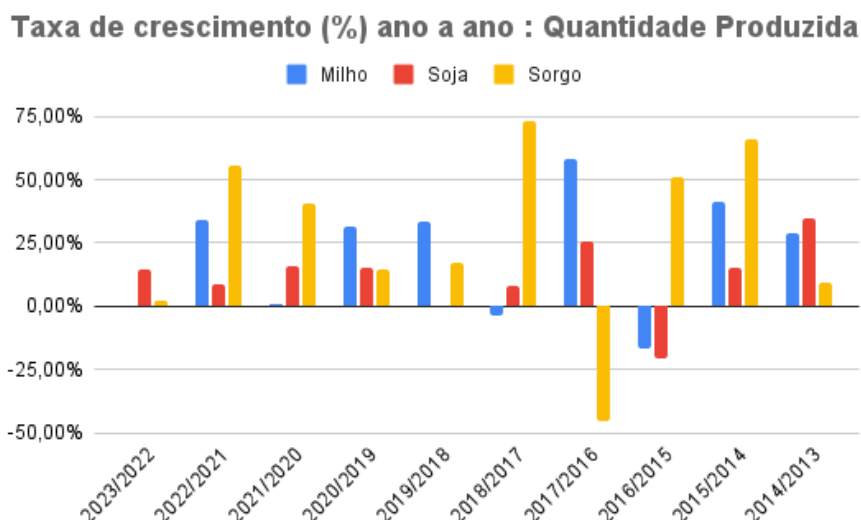
Tabela 5. Estatística descritiva da quantidade produzida de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013-2023).

Análise estatística descritiva			
	Milho (em grão)	Soja (em grão)	Sorgo (em grão)
Soma:	11923426	30231690	582427
Média:	1083947,818	2748335,455	52947,90909
Mínimo (mín):	350669	1557939	15575
Máximo (máx):	2398750	4340578	120341
Amplitude:	2048081	2782639	104766
Desvio padrão:	653923,7749	836398,1796	37158,9428
C.V(%):	60,32%	30,43%	70,18%

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE/SIDRA (2024).

A quantidade produzida de milho no período analisado foi de 11.923.426 toneladas, com alta variação entre o período ($CV = 60,32\%$). O valor mínimo ocorreu em 2013, e o máximo ocorreu em 2023. A quantidade produzida de soja no período analisado foi de 30.231.690 toneladas, com alta variação entre o período ($CV = 30,43\%$). O valor mínimo ocorreu em 2013, e o máximo ocorreu em 2023. A quantidade produzida de sorgo no período analisado foi de 582.427 toneladas, com alta variação entre o período ($CV = 70,18\%$). O valor mínimo ocorreu em 2013, e o máximo ocorreu em 2023 (Figura 21)

Figura 24. Taxa de crescimento percentual da quantidade produzida de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013–2023).



Fonte: Dados da pesquisa (IBGE – PAM).

A figura 21, evidencia oscilações positivas e negativas ao longo do período, no que reflete a variabilidade climática, associada a eventos de seca, veranicos prolongados e anos favoráveis, além da expansão de área, tecnologia e mercado favorável. De modo geral, o milho apresentou maior instabilidade, com variações mais abruptas, a soja teve comportamento estável, com crescimento moderado, e o sorgo apresentou picos de crescimento mais acentuados principalmente nos anos com menor índice pluviométrico, como em 2016, que teve um forte impacto do fenômeno El Niño, devido a sua resistência hídrica, consequentemente houve redução significativa da produção de soja e milho.

Os dados da tabela 6 mostram que a produção de milho, soja e sorgo foram fortemente condicionadas pela variabilidade climática, no qual o ano de 2016, afetado pelo fenômeno El Niño, provocaram quedas acentuadas no milho (-16,89%), e na soja (-20,50%), enquanto o sorgo (50,96%) teve destaque positivo por sua maior tolerância à seca. Todavia, no ano seguinte, milho e soja tiveram alta recuperação produtiva devido a estabilidade climática, com 58,36% de crescimento na produção do milho, e 25,37% de crescimento na produção da soja, e o sorgo diminuiu a produção (-45,33%) devido a quantidade de áreas plantadas também diminuir, como mostra na tabela 3, tendo uma queda de -50,22%, consequentemente como o sorgo segue sendo uma cultura complementar, em 2017 ele não teve tanto ênfase, para assim recuperar os danos na queda de produção do milho e da soja.

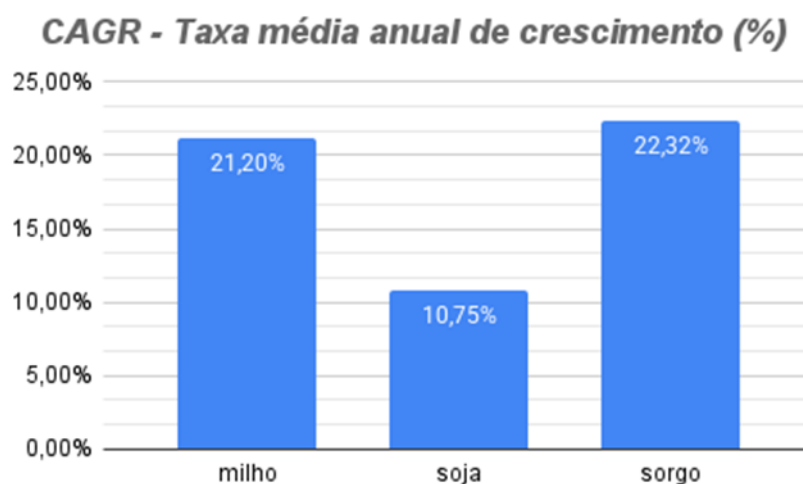
Tabela 6. Variação percentual anual da quantidade produzida de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013–2023).

Variação percentual – Quantidade produzida			
Anos	Milho	Soja	Sorgo
2023/2022	23,84%	14,67%	1,88%
2022/2021	34,33%	8,86%	55,47%
2021/2020	0,77%	15,74%	40,49%
2020/2019	31,78%	14,88%	14,78%
2019/2018	33,59%	0,35%	16,94%
2018/2017	-3,46%	8,12%	73,30%
2017/2016	58,36%	25,37%	-45,33%
2016/2015	-16,89%	-20,50%	50,96%
2015/2014	41,49%	15,48%	65,69%
2014/2013	28,93%	34,41%	9,16%

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE/SIDRA (2024).

O cálculo da taxa média anual de crescimento (CAGR), como mostra na figura 25, evidencia tendências consistentes da produção para as três culturas. O sorgo apresentou o maior ritmo médio de crescimento (22,32% ao ano), reflexo da resistência hídrica em anos específicos. O milho registrou CAGR de 21,20%, confirmando seu avanço expressivo na última década, consolidando-se como segunda safra também. A soja, embora seja a cultura mais consolidada, exibiu crescimento médio anual de 10,75%, evidenciando expansão contínua, porém mais gradual em comparação às demais culturas.

Figura 25. Taxa média anual de crescimento (CAGR) da quantidade produzida de milho, soja e sorgo no Tocantins.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE/SIDRA (2024).

A tabela 7 evidencia os dados de rendimento médio (kg/ha) das três culturas nos anos analisados. De 2013 para 2023 o milho cresceu 24,04%, sendo o líder de produtividade, com alta consolidação como segunda safra. A soja cresceu 9,12%, com o aumento da expansão de áreas agrícolas, e o sorgo cresceu 4,96%, sendo utilizado como alternativa há anos mais secos.

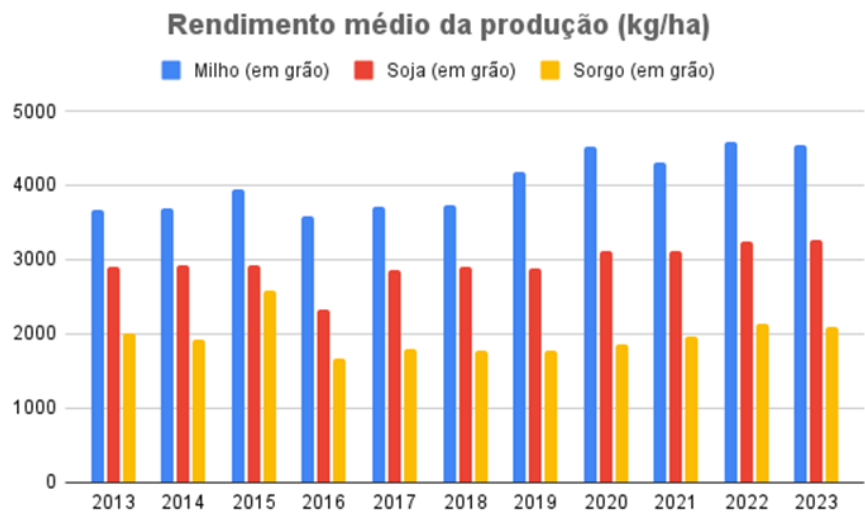
Tabela 7. Rendimento médio da produção de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013–2023), quilogramas por ha.

Rendimento médio (kg/ha)			
Ano	Milho (em grão)	Soja (em grão)	Sorgo (em grão)
2013	3669	2904	1997
2014	3699	2915	1918
2015	3947	2914	2581
2016	3592	2321	1672
2017	3716	2862	1794
2018	3731	2900	1774
2019	4190	2890	1767
2020	4515	3122	1855
2021	4311	3125	1955
2022	4592	3245	2129
2023	4551	3260	2096

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE/SIDRA (2024).

A análise do rendimento médio revela que o milho apresenta, ao longo de toda a série histórica, os maiores valores de produtividade no estado, superando consistentemente soja e sorgo. Entre 2013 e 2023, observa-se um incremento gradual, com destaque para o período entre 2018 e 2022, quando o rendimento supera 4.000 kg/há (Figura 26). A soja apresenta estabilidade maior, com oscilações moderadas entre 2.500 e 3.200 kg/ha, indicando menor sensibilidade a variações interanuais. O sorgo, embora com menor rendimento absoluto, mantém padrão mais regular ao longo da série, característica típica de culturas mais tolerantes ao estresse hídrico.

Figura 26. Rendimento médio da produção de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013–2023), em kg/ha.



Fonte: Dados da pesquisa (IBGE – PAM).

5.5 Análise temporal do rendimento médio das culturas de milho, soja e sorgo (2013-2023).

A análise temporal do rendimento médio das culturas de milho, soja e sorgo entre os anos de 2013 e 2023 permitiu avaliar a eficiência produtiva dessas culturas no estado do Tocantins. Nesse sentido, a Tabela 8 apresenta a evolução do rendimento médio das culturas analisadas, possibilitando a identificação de tendências e oscilações ao longo dos anos considerados.

Tabela 8. Estatística descritiva do rendimento médio de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013-2023).

Análise estatística descritiva			
	Milho (em grão)	Soja (em grão)	Sorgo (em grão)
Soma:	44513	32458	21538
Média:	4046,636364	2950,727273	1958
Mínimo (mín):	3592	2321	1672

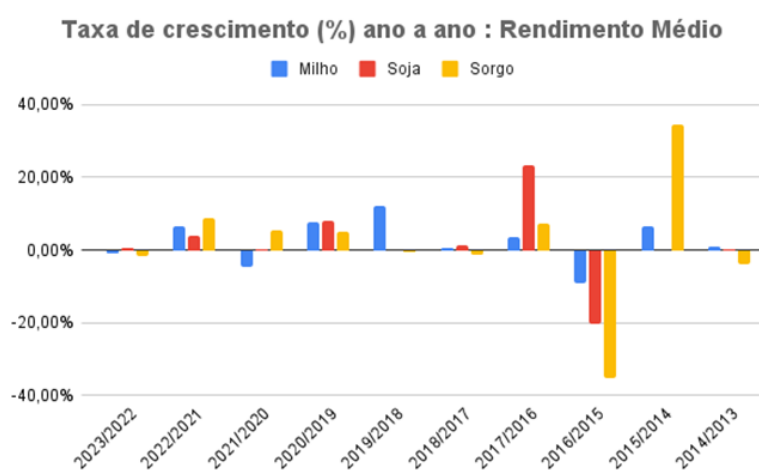
Máximo (máx):	4592	3260	2581
Amplitude:	1000	939	909
Desvio padrão:	393,7814807	256,4079136	250,8350055
C.V(%):	9,73%	8,69%	12,81%

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE/SIDRA (2024).

O rendimento médio de milho no período analisado foi de 4.046,63 kg/ha, com pouca oscilação entre o período (CV = 9,73%). O valor mínimo ocorreu em 2016, e o máximo ocorreu em 2022. O rendimento médio de soja no período analisado foi de 2.950,72 kg/ha, com pouca oscilação entre o período (CV = 8,69%). O valor mínimo ocorreu em 2016, e o máximo ocorreu em 2023. O rendimento médio de sorgo no período analisado foi de 1.958 kg/ha, com oscilação moderada entre o período (CV = 12,81%). O valor mínimo ocorreu em 2016, e o máximo ocorreu em 2015, como sintetiza na tabela 9.

O coeficiente de variação (CV) demonstra que as três culturas apresentam baixa oscilação relativa ($CV < 13\%$), indicando boa estabilidade produtiva ao longo do período, mesmo com variações climáticas anuais. A figura 27 evidencia a porcentagem da taxa de crescimento e rendimento médio nos últimos anos.

Figura 27. Taxa de crescimento (%) ano a ano do rendimento médio.



Fonte: Dados da pesquisa (IBGE – PAM).

As taxas anuais de crescimento mostram forte variabilidade, especialmente para o milho e o sorgo, que apresentam anos de elevada expansão seguidos por retrações acentuadas, reflexo direto de condições climáticas adversas e da instabilidade hídrica típica do Cerrado. No caso da soja, as oscilações são menores, corroborando seu comportamento mais estável. Os anos de 2016 e 2017 se destacam pelas maiores quedas observadas, enquanto 2015 e 2019 registram recuperações mais expressivas. A tabela 9 a seguir apresenta essas variações do rendimento de milho, sorgo e soja.

A tabela 9 evidencia que o milho apresenta as oscilações mais abruptas, com variações que vão de -8,99% a +12,30%. A soja mantém variações mais suaves, raramente ultrapassando $\pm 10\%$. O sorgo se destaca pela maior volatilidade em função de sua sensibilidade às mudanças no regime hídrico, com anos de forte crescimento (ex.: +34,57% em 2015/2014) e quedas consideráveis (-35,22% em 2016/2015).

Tabela 9. Variação percentual anual do rendimento médio de milho, soja e sorgo no Tocantins (2013–2023).

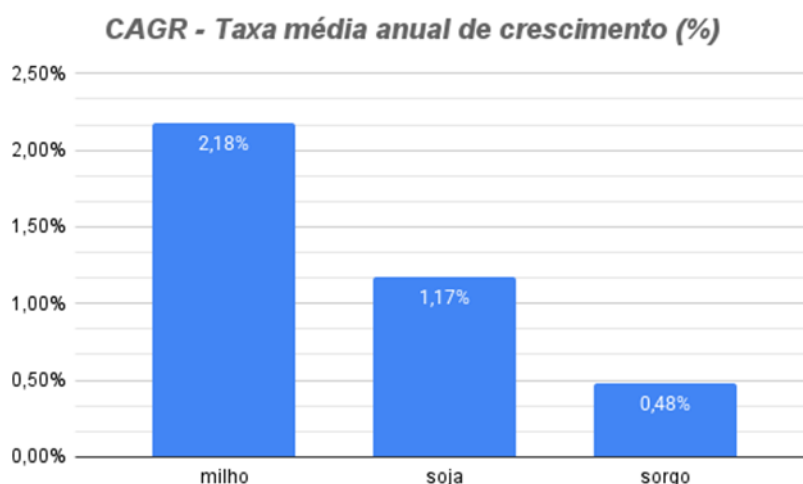
Variação percentual – Rendimento médio			
Anos	Milho	Soja	Sorgo
2023/2022	-0,89%	0,46%	-1,55%
2022/2021	6,52%	3,84%	8,90%
2021/2020	-4,52%	0,09%	5,39%
2020/2019	7,76%	8,03%	4,98%
2019/2018	12,30%	-0,34%	-0,39%
2018/2017	0,40%	1,33%	-1,11%
2017/2016	3,45%	23,30%	7,30%
2016/2015	-8,99%	-20,35%	-35,22%
2015/2014	6,70%	-0,03%	34,57%
2014/2013	0,82%	0,38%	-3,96%

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE/SIDRA (2024).

O cálculo da taxa média anual de crescimento (CAGR), como mostra na figura 28, evidencia tendências consistentes da produção para as três culturas. O milho apresentou o maior ritmo médio de crescimento (2,18% ao ano), reflexo do avanço tecnológico, forte evolução genética, expansão do cultivo para segunda safra, entre outros. A soja registrou CAGR de 1,17% evidenciando expansão contínua, porém mais gradual em comparação ao milho porque a soja já possuía nível tecnológico elevado no início do período, tendo ganhos mais relacionados à estabilidade e adaptações ao cerrado do que a aumento expressivos de rendimento. O sorgo teve

a menor taxa de crescimento médio de rendimento, devido não ser cultivado com foco em alto rendimento, mas como segurança produtiva, tendo seu uso estratégico em áreas de maior risco climático.

Figura 28. Taxa média anual de crescimento (CAGR) do rendimento médio de milho, soja e sorgo no Tocantins.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do IBGE/SIDRA (2024).

5.6 Fatores condicionantes: clima, solo e tecnologia

Nos resultados obtidos, as condições climáticas emergem como um dos fatores mais determinantes da produtividade no Tocantins. O regime tropical sazonal, marcado por uma estação chuvosa concentrada e períodos prolongados de seca, influencia diretamente o rendimento das culturas. Em anos de boa distribuição hídrica, a produtividade tende a se manter elevada, especialmente para a soja e o milho. No entanto, quando a estação úmida apresenta irregularidades ou veranicos, fenômeno recorrente no Cerrado, perdas significativas são registradas, especialmente no milho safrinha, mais sensível ao estresse hídrico (INMET, 2024; Strassburg et al., 2017). Nesse contexto, o sorgo se destaca como cultura mais resiliente, justificando sua expansão crescente em áreas de maior risco climático, conforme apontado por Silva e Gomes (2021).

Para sintetizar esses aspectos, foi elaborada uma análise SWOT (Figura 10), considerando as principais forças, fraquezas, oportunidades e ameaças que caracterizam as microrregiões agrícolas do estado.

Tabela 10. Análise SWOT da microrregião agrícola do Tocantins

Categoria	Elementos identificados
Forças (Strengths)	Solos profundos, boa drenagem, topografia favorável, presença crescente de mecanização.
Fraquezas (Weaknesses)	Variabilidade climática, sensibilidade a veranicos, baixa adoção tecnológica em alguns municípios.
Oportunidades (Opportunities)	Crescimento acelerado das áreas agrícolas, potencial para expansão do sorgo, integração com o MATOPIBA.
Ameaças (Threats)	Condições edafoclimáticas limitantes, vulnerabilidade hídrica, risco de degradação ambiental.

A análise SWOT permite integrar e visualizar de forma clara os elementos identificados ao longo da investigação. As forças estão associadas às condições naturais favoráveis, como solos profundos e mecanizáveis, que facilitam o avanço das lavouras. As fraquezas reforçam a dependência hídrica característica da região, que afeta diretamente culturas mais sensíveis à irregularidade das chuvas, como a soja e o milho safrinha (INMET, 2024; Strassburg et al., 2017). As oportunidades estão relacionadas ao crescimento produtivo impulsionado por investimentos no MATOPIBA e à adoção crescente do sorgo como cultura estratégica em ambientes de maior risco. Já as ameaças refletem limitações ambientais e estruturais que podem comprometer o desempenho futuro caso práticas de manejo sustentável não sejam adotadas (Sano et al., 2019; Pinto e Pinto, 2016).

Além disso, a composição dos solos tocantinenses desperta atenção. A predominância de Latossolos, típicos do Cerrado, evidencia a necessidade de práticas contínuas de correção de fertilidade. Quando essas práticas são adotadas de forma eficiente, os solos apresentam excelente potencial produtivo devido à profundidade, boa drenagem e capacidade de mecanização, como apontado por Klink e Machado (2005) e Vergara (2021). A tecnologia, por sua vez, atua como elemento-chave para minimizar riscos e ampliar a eficiência produtiva. A incorporação de ferramentas digitais, sensoriamento remoto e agricultura de precisão tem se intensificado no estado, reforçando aquilo que estudos recentes descrevem como a fase 4.0 do agronegócio brasileiro (Zanuto, 2024; Pinto e Pinto, 2016).

5.7 Culturas analisadas e seus papéis no sistema produtivo

A avaliação conjunta das culturas de soja, milho e sorgo revela o papel complementar que exercem no sistema agrícola do Tocantins. A soja permanece como principal cultura do estado, responsável por impulsionar grande parte da dinâmica econômica regional devido à sua alta produtividade e forte demanda internacional (Dorneles et al., 2024; Farias, 2024). Entretanto, sua sensibilidade ao estresse hídrico exige maior precisão no manejo e utilização de tecnologias que reduzam os impactos da irregularidade das chuvas.

O milho, sobretudo na segunda safra, assume posição estratégica ao permitir o aproveitamento intensivo da área agrícola. No entanto, seu desempenho está diretamente ligado à janela de plantio aberta pela colheita da soja, o que acentua o risco climático e explica sua variabilidade maior em anos de atraso das chuvas (CONAB, 2024; Dal Pozzo et al., 2024). O sorgo, por outro lado, se consolida como cultura de segurança, apresentando desempenho mais estável em ambientes adversos e custos competitivos, reforçando sua importância em sistemas agrícolas que buscam maior resiliência climática (Silva e Gomes, 2021).

Ao integrar todos esses elementos, torna-se evidente que o desempenho agrícola do Tocantins é resultado de uma combinação complexa entre clima, solo, tecnologia, infraestrutura e manejo. O estado apresenta avanços expressivos, mas convive com desafios significativos, especialmente relacionados à variabilidade climática e à necessidade de conciliar expansão produtiva com sustentabilidade ambiental. Assim, os resultados evidenciam tanto o potencial do Tocantins como fronteira agrícola moderna quanto os pontos de atenção que devem orientar estratégias futuras de manejo, planejamento territorial e inovação agrícola (Strassburg et al., 2017; Santos et al., 2022).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agricultura tem assumido crescente relevância no estado do Tocantins, impulsionada pela expansão territorial das lavouras e pela consolidação das culturas de soja, milho e sorgo como pilares da dinâmica produtiva regional. A análise integrada realizada neste estudo permitiu compreender, de forma ampla e articulada, como fatores ambientais, estruturais e tecnológicos moldaram o desempenho dessas culturas ao longo da última década.

Os resultados evidenciaram que a expansão da produção não ocorreu de maneira homogênea entre as regiões intermediárias do estado. Enquanto áreas do Sul, Sudeste e Centro concentraram maior crescimento, associando produtividade elevada a infraestrutura consolidada, mecanização e maior adoção de tecnologias digitais, outras regiões avançaram de forma mais lenta devido a limitações logísticas, menor densidade tecnológica e maior

vulnerabilidade climática. A análise temporal demonstrou aumento expressivo da área plantada e da produção de soja, enquanto o milho mostrou maior oscilação em função da irregularidade das chuvas. O sorgo, por sua vez, destacou-se como alternativa robusta, especialmente em ambientes de maior risco hídrico, reforçando sua importância em sistemas produtivos adaptados ao Cerrado.

A integração dos dados de MapBiomas, IBGE, CONAB e INMET possibilitou identificar relações claras entre expansão agrícola, mudanças no uso do solo e variabilidade climática. Essas relações revelam que, embora o Tocantins apresente condições favoráveis ao cultivo de grãos, seu desempenho continua dependente de manejo adequado, investimentos regionais e estratégias de adaptação frente à instabilidade climática, que tende a se intensificar nos próximos anos.

Assim, conclui-se que o desenvolvimento agrícola do Tocantins resulta da interação complexa entre fatores ambientais, tecnológicos e estruturais, apresentando tanto potencialidades significativas quanto desafios persistentes. A compreensão dessas dinâmicas oferece subsídios importantes para o planejamento territorial, a formulação de políticas públicas e o fortalecimento de práticas produtivas mais eficientes e sustentáveis. Em conjunto, esses elementos reforçam a necessidade de continuidade de pesquisas que aprofundem a análise regional e contribuam para o aprimoramento do setor agrícola no estado.

7 REFERÊNCIAS

ALENCAR, A. et al. Risco de desmatamento no Cerrado: dinâmica recente e desafios. MapBiomas/IPAM, 2023.

ALVES, Isabela Sousa; DA CRUZ, Kadmiel Asafhe Mourão; OLIVEIRA, Nilton Marques. O AGRONEGÓCIO NO ESTADO DO TOCANTINS. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v. 16, n. 1, p. 167-178, 2024.

ANDRADE, A. F. Desenvolvimento agrícola e tecnologias digitais no Cerrado brasileiro. *Revista Tecnologia & Campo*, v. 9, n. 1, p. 12–28, 2020.

AVELAR, Bernardo Carvalho; DE MORAIS, Augusto Ramalho. Influência das épocas de plantio na cultura do sorgo granífero em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 1055-1065, 1986.

BEZERRA, Rivian Letícia Aires; REINA, Evandro. Levantamento da evolução da produção de soja no estado do Tocantins no período de 2015 a 2023. **Revista Científica do Tocantins**, v. 4, n. 2, 2024.

BÜHRER, J. Cadeias produtivas de grãos no Brasil: desafios e perspectivas. *Revista Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 2, p. 99–112, 2016.

CASTILLO, Ricardo. Dinâmicas recentes do setor sucroenergético no Brasil: competitividade regional e expansão para o bioma Cerrado. **Revista GEOgraphia**, v. 37, n. 35, p. 95-119, 2015.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos – Safra 2023/2024. Brasília: CONAB, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 set. 2024.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Indicadores da Cultura do Sorgo – Séries Históricas. Brasília: CONAB, 2024b. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 12 set. 2024.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Preços Médios Recebidos pelo Produtor (2014–2025). Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 15 out. 2024.

DA CRUZ, L. F. Caracterização agrícola e potencial produtivo do estado do Tocantins. Palmas: UNITINS, 2018.

DAL POZZO, R. et al. Agricultural expansion and climate risk in MATOPIBA. *Journal of Agricultural Studies*, v. 12, n. 3, p. 101–122, 2024.

DORNELES, A. S. et al. Produtividade da soja e do milho no Cerrado brasileiro: avanços e limitações. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 54, e72742, 2024.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tecnologias para produção de soja no Cerrado. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 25 out. 2024.

EMBRAPA MILHO E SORGO. Zoneamento e desempenho de híbridos para o Cerrado. Sete Lagoas, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 09 set. 2024.

EMBRAPA TERRITORIAL. Capacidade de armazenagem no MATOPIBA. Campinas, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 29 out. 2024.

FARIAS, G. M. Desempenho produtivo da soja no Cerrado: fatores determinantes. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 19, 2024.

FERREIRA, D. F. Estatística Experimental. 3. ed. Lavras: UFLA, 2018.

FERREIRA, M. F.; COELHO, A. L. Infraestrutura logística e competitividade agrícola no MATOPIBA. *Revista Transportes*, v. 31, n. 2, p. 55–70, 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal – PAM 2024. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 18 nov. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema Nacional de Armazenagem – SNA. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 jan. 2025.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Dados climáticos históricos do Tocantins. Brasília: INMET, 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br>. Acesso em: 05 out. 2024.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, p. 147–155, 2005.

LUCENA, A. F. Agricultura como base para o desenvolvimento econômico. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 29, n. 3, p. 45–58, 1998.

MACÊDO, R. Classificação e categorização do uso e cobertura da terra no MapBiomias. *Revista Geotecnologias Aplicadas*, v. 7, n. 1, p. 88–102, 2024.

MAPBIOMAS. Coleção 8 – Uso e Cobertura da Terra. São Paulo: MapBiomias, 2024. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 20 out. 2024.

MAPBIOMAS. Coleção 9 – Série Histórica 1985–2024. São Paulo, 2025. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 10 jan. 2025.

MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária. Panorama da produção agrícola no MATOPIBA. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>. Acesso em: 12 nov. 2024.

PORCIONATO, L.; DE CASTRO, C.; PEREIRA, R. MATOPIBA: avanço da fronteira agrícola no Cerrado brasileiro. *Revista de Estudos Territoriais*, v. 14, n. 2, p. 125–142, 2018.

SANO, E. E. et al. The Cerrado: land-use and conservation status. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 191, n. 8, p. 1–16, 2019.

SANTANA, G. S.; SOUZA, J. R. Análise de Variância aplicada às ciências agrárias. *Revista Estatística Aplicada*, v. 10, n. 2, p. 55–71, 2021.

SANTOS, A. P. et al. MATOPIBA: dinâmicas produtivas e impactos socioambientais. *Revista de Estudos Regionais*, v. 25, n. 2, p. 298–321, 2022.

SILVA, J. R.; GOMES, F. C. Desempenho agrônômico do sorgo granífero em ambientes de Cerrado. *Revista Caatinga*, v. 34, n. 2, p. 322–330, 2021.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution*, v. 1, p. 1–3, 2017.

VARÃO, C. S. et al. Dinâmica do uso do solo no MATOPIBA: análise temporal entre 2000 e 2020. *Journal of Land Use Science*, v. 15, n. 4, p. 412–430, 2020.

VERGARA, W. R. Aptidão agrícola e potencial produtivo do Tocantins. *Geografia em Questão*, v. 14, n. 3, p. 125–147, 2021.

ZANUTO, M. R. Agricultura 4.0 no Cerrado: avanços, limitações e perspectivas. *Revista Tecnologia & Campo*, v. 10, n. 1, p. 44–59, 2024.

ZAR, J. *Biostatistical Analysis*. 4. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999.