



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CÂMPUS PALMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO
REGIONAL

WILLIAM BRASIL RODRIGUES SOBRINHO

**A CONTRIBUIÇÃO DO AGRONEGÓCIO PARA O CRESCIMENTO
ECONÔMICO E MENSURAÇÃO DE SEU DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO: UM ESTUDO DE CASO NO TOCANTINS**

Palmas/TO
2022

WILLIAM BRASIL RODRIGUES SOBRINHO

**A CONTRIBUIÇÃO DO AGRONEGÓCIO PARA O CRESCIMENTO
ECONÔMICO E MENSURAÇÃO DE SEU DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO: UM ESTUDO DE CASO NO TOCANTINS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional da Universidade Federal do Tocantins. Foi avaliada para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento Regional, e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Dr. Joaquim José Guilherme de Aragão
Coorientadora: Dra. Lilian dos Santos Fontes
Pereira Bracarense

Palmas/TO
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

R696c Rodrigues Sobrinho, William Brasil .
A Contribuição do Agronegócio para o Crescimento Econômico e
Mensuração de seu Desenvolvimento Tecnológico: Um Estudo de Caso no
Tocantins . / William Brasil Rodrigues Sobrinho. – Palmas, TO, 2022.
149 f.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em
Desenvolvimento Regional, 2022.

Orientador: Joaquim José Guilherme de Aragão
Coorientadora : Lilian dos Santos Fontes Pereira Bracarense

1. Tecnologia. 2. Agronegócio. 3. Crescimento econômico. 4. Agricultura
digital. I. Título

CDD 338.9

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

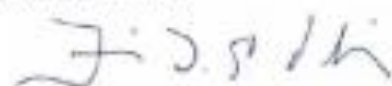
WILLIAM BRASIL RODRIGUES SOBRINHO

**“A INFLUÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DO AGRONEGÓCIO
NO CRESCIMENTO ECONÔMICO: UM
ESTUDO DE CASO NO TOCANTINS”**


Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento Regional da Universidade Federal do
Tocantins para obtenção do título de Doutor.
Orientador: Prof. Dr. Joaquim José Guilherme de Aragão
Co-orientadora: Prof. Dra. Lilian dos Santos Fontes
Pereira Bracarense

Aprovada em 8/3/2023

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Joaquim José Guilherme de Aragão
(Orientador) – UNB

Documento assinado digitalmente
 ADRIANO NASCIMENTO DA PAIXÃO
Data: 10/04/2023 12:12:20 -0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Adriano Nascimento da Paixão – UFT



Prof. Dr. Manoel Xavier Pedroza Filho – UFT



Profa. Dra. Yaeko Yamashita – UNB

Documento assinado digitalmente
 CRISTIANO FARIAS ALMEIDA
Data: 10/04/2023 16:10:25 -0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Cristiano Farias Almeida - UFG

DEDICATÓRIA

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Antes de todos, agradeço a minha esposa Amanda Moraes por ter segurado as pontas, de todas as formas possíveis, com a nossa recém-nascida enquanto eu estudava. Não foi o melhor momento para iniciar um doutoramento, mas conseguimos! Se eu cheguei até aqui foi por você e não teria conseguido sem o seu suporte.

Ao meu pai Francisco Alves Sobrinho e mãe Ana Maria da L. Rodrigues Sobrinho que sempre me incentivaram ao estudo.

Ao meu irmão Andrew di Franco que sempre me apoiou.

Agradeço a todos os professores do PPGDR pelos ensinamentos, ao orientador o prof. Dr. Joaquim Aragão e, em especial, a profa. Dra. Lilian Bracarense, que sem sombras de dúvidas foi crucial para a conclusão do doutorado.

Agradecimento especial aos membros da banca que fizeram excelentes comentários e contribuições para a construção da tese.

A professora Dra. Patrícia Bortolon, obrigado pelo incentivo à pesquisa.

Ao professor Dr. José Elias F. de Almeida, obrigado pelos ótimos projetos realizados em conjunto lá em 2014 que contribuem até hoje para o meu trabalho.

Aos professores Dr. Nilton M. de Oliveira e Rodolfo A. da Luz grato pelos projetos concluídos na disciplina de Geoprocessamento e Análise Regional.

Aos meus amigos e colegas do mestrado da UFES, alguns já doutores, que mesmo distante apoiaram e incentivaram a finalização do doutorado.

Valeu Dr. Ricardo dos Santos Dias pela parceria desde o mestrado.

Agradeço aos colegas de trabalho que entenderam o momento conturbado de elaboração e defesa da tese.

Agradeço também ao Dr. Autenir Carvalho Rezende e Dra. Gislane Ferreira Barbosa pelos projetos em andamento.

Agradeço também ao Dr. Jânio Carlos Nascimento Silva pelas valiosas dicas na obtenção e tratamento dos metadados.

A todos os colegas do doutorado. Sucesso a todos!

— *Desonesto é aquele que diz adeus quando a estrada escurece* — disse Gimli.

— *Talvez* — disse Elrond —, *mas não jure que caminhará no escuro aquele que não viu o cair da noite.*

— *Ainda assim, o juramento feito pode fortalecer o coração que treme* — disse Gimli.

— *Ou destruí-lo* — disse Elrond. — *Não olhem muito à frente! Mas partam agora com coragem nos corações! Adeus, e que a bênção dos elfos e dos homens e de todos os Povos Livres os acompanhe. Que as estrelas brilhem em seus rostos!*

Escrito por J. R. R. Tolkien em a Sociedade do Anel, a primeira parte de O Senhor dos Anéis.

RESUMO

O presente trabalho desenvolveu e aplicou um modelo de indicadores de avanço tecnológico para demonstrar como a inovação no agronegócio pode contribuir para o aumento da produtividade e crescimento econômico de uma região. Tendo como base a literatura relacionada, foi desenvolvido um índice tecnológico para o agronegócio, bem como a aplicação de um modelo econométrico para identificar a relevância do agronegócio para o crescimento de uma região. Inicialmente procedeu-se ao levantamento bibliográfico e de dados a respeito do panorama do desenvolvimento do agronegócio no estado do Tocantins, para posterior aplicação dos modelos e elaboração do índice tecnológico do agronegócio. O trabalho contribuiu para a literatura ao apresentar a evolução do agronegócio e impacto do setor em uma região inserida no Matopiba e, ainda estabeleceu um *status quo* do cenário do agronegócio no estado do Tocantins. Entre os principais resultados do estudo é possível indicar que, de modo geral, o agronegócio contribuiu positivamente para o crescimento econômico do estado do Tocantins. Em relação ao desenvolvimento tecnológico do agronegócio no estado, foi observada uma evolução em relação ao período de 2006 a 2017. Houve melhorias em termos de algumas tecnologias, a exemplo do preparo do solo e a disponibilidade de internet. Por outro lado, tecnologias consideradas relevantes para o desenvolvimento tecnológico do setor não tiveram uma evolução equiparada, a exemplo da utilização de sistemas de irrigação, a disponibilidade de armazéns e corretivos de solo. Embora o estado tenha avançado em termos de infraestrutura que possibilitem um desenvolvimento do agronegócio, ainda há gargalos que devem ser sanados. Com base nos resultados alcançados espera-se que os formuladores de políticas e demais interessados no setor, iniciem debates e soluções com vistas a criar os mecanismos adequados para que o processo de ruptura do atual paradigma de produção ocorra no estado.

Palavras-Chave: tecnologia, agronegócio, crescimento econômico, agricultura digital

ABSTRACT

This thesis developed and applied a model of technological advance indicators to demonstrate how innovation in agribusiness can contribute to increase productivity and economic growth in a region. Based on the related literature, a technological index for agribusiness was developed, as well as the application of an econometric model to identify the relevance of agribusiness for the growth of a region. Initially, a bibliographic and data survey was carried out regarding the outlook of the development of agribusiness in the state of Tocantins, for later application of the models and elaboration of the technological index of agribusiness. This thesis contributed to the literature by presenting the evolution of agribusiness and the impact of the sector in a region inserted in Matopiba, and also established a view of the agribusiness scenario in the state of Tocantins. Among the main results of the study, it is possible to indicate that, in general, agribusiness contributed positively to the economic growth of the state of Tocantins. Regarding the technological development of agribusiness in the state, an evolution was observed in relation to the period from 2006 to 2017. There were improvements in terms of some technologies, such as soil preparation and internet availability. On the other hand, technologies considered relevant for the technological development of the sector did not have an equivalent evolution, such as the use of irrigation systems, the availability of warehouses and soil amendments. Although the state has advanced in terms of infrastructure that allows for the development of agribusiness, there are still bottlenecks that must be resolved. Based on the results achieved, it is expected that policy makers and other stakeholders in the sector will initiate debates and solutions with a view to creating the appropriate mechanisms for the process of breaking the current production paradigm to occur in the state.

Keywords: technology, agribusiness, economic growth, digital agriculture

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Constructos da Estrutura Conceitual.....	19
Figura 2 – Artigos publicados em periódicos científicos sobre a Indústria 4.0 (2012-2019).....	31
Figura 3 – Transferência de recursos da agricultura, e suas etapas de desenvolvimento.....	39
Figura 4 – Produção da Soja no Estado do Tocantins (1989-2018).....	79
Figura 5 – Efetivo dos rebanhos, por tipo (cabeça) – Tocantins (1989-2018).....	80
Figura 6 – Produção dos Principais produtos agrícolas do Tocantins (Milho, Cana-de-açúcar e Soja).....	81
Figura 7 – Produção dos Principais produtos agrícolas do Tocantins (Arroz, Mandioca e Outros)	81
Figura 8 – Evolução da Produção da Agricultura do Tocantins (2002-2019).....	82
Figura 9 – Área Plantada nos Municípios do Tocantins (2000-2019) – em mil ha.....	84
Figura 10 – Produção Agrícola nos Municípios do Tocantins (2000-2019) – em mil ton.....	86
Figura 11 – Evolução da composição das Exportações do Tocantins (2000-2020).....	89
Figura 12 – Exportações em mil (US\$) das principais cidades do Tocantins (2000-2020)	90
Figura 13 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Dispõem de Internet	97
Figura 14 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que possuem Armazéns	99
Figura 15 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Utilizam Sistema de Irrigação ..	100
Figura 16 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Utilizam Corretivos Agrícolas..	103
Figura 17 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Utilizam Defensivos Agrícolas.	104
Figura 18 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Realizam o Preparo do Solo	106
Figura 19 - Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Utilizam Sementes de Alto Rendimento	108
Figura 20 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Receberam Orientação Técnica	110
Figura 21 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Obtiveram Financiamento	112
Figura 22 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Realizaram Investimento	112
Figura 23 – Distribuição do Índice Tecnológico do Agronegócio (2006)	124
Figura 24 – Distribuição do Índice Tecnológico do Agronegócio (2017)	125

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sistemas Produtivos e Respective Focos Setoriais do Projeto Indústria 2027	35
Quadro 2 - Potenciais impactos positivos e negativos da digitalização agrícola	43
Quadro 3 - Componentes principais da Agricultura 1.0 e 2.0 x Agricultura 3.0.....	46
Quadro 4 - Componentes produtivos relacionados à Agricultura 1.0 e 2.0 x Agricultura 3.0	47
Quadro 5 - Componentes principais da Agricultura 3.0 x Agricultura 4.0	47
Quadro 6 - Variáveis inseridas no modelo	59
Quadro 7 - Facilitadores da Adoção Tecnológica do Agronegócio	62
Quadro 8 - Variáveis selecionadas para comporem o índice tecnológico do agronegócio	63
Quadro 9 - Agrupamento das Variáveis do Índice	69
Quadro 10 - Variáveis que compõem o índice e suas descrições	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantitativo (ha) de Áreas Potenciais para Exploração Agrícola.....	83
Tabela 2 - Evolução do Crescimento da Área Plantada (ha) no Tocantins (2000-2019).....	85
Tabela 3 - Evolução do Crescimento da Produção dos Produtos Agrícolas no Tocantins (2000-2019).....	87
Tabela 4 - Crescimento do PIB e PIB per capita no Tocantins em % (2003-2018).....	87
Tabela 5 - Exportação por tipo de produto (Valores em mil US\$)	88
Tabela 6 - Estatística Descritiva considerando os valores absolutos das variáveis.....	92
Tabela 7 - Correlação entre as Variáveis.....	92
Tabela 8 - Relação do Agronegócio com o Crescimento Econômico (2003-2018).....	93
Tabela 9 - Estabelecimentos por grupos de área totais	95
Tabela 10 - % Estabelecimentos que possuem disponibilidade de Internet.....	96
Tabela 11 - % Estabelecimento com Acesso à Internet	96
Tabela 12 - % Estabelecimentos que possuem armazéns.....	98
Tabela 13 - Estabelecimentos Agropecuários com o uso de Irrigação - Painel A.....	101
Tabela 14 - Estabelecimentos Agropecuários com o uso de Irrigação - Painel B.....	101
Tabela 15 - % Estabelecimentos com sistema de irrigação.....	102
Tabela 16 - % Estabelecimentos que fazem o uso de corretivos para o solo	102
Tabela 17 - % Estabelecimentos que fazem o uso de defensivos agrícolas	105
Tabela 18 - % Estabelecimentos que realizam o preparo do solo	105
Tabela 19 - % Estabelecimentos que utilizam sementes de alto rendimento	107
Tabela 20 - % Estabelecimentos que receberam orientação técnica	109
Tabela 21 - Origem da orientação técnica recebida	109
Tabela 22 - % Estabelecimentos que receberam orientação técnica	111
Tabela 23 - % Estabelecimentos que realizaram financiamento	111
Tabela 24 - Agentes financeiros responsáveis pelo financiamento.....	113
Tabela 25 - % Estabelecimentos que realizaram investimento	113
Tabela 26 - Estatística Descritiva.....	114
Tabela 27 - Teste de Normalidade Kolmogorov-Smirnova	115
Tabela 28 - Matriz de Correlações das Variáveis - Análise Fatorial.....	116
Tabela 29 - Autovalores e percentual de variância total explicada	117
Tabela 30 - Distribuição dos Pesos	117
Tabela 31 - Matriz de Fatores	118
Tabela 32 - Média das variáveis presentes no ITA para os anos de 2006 e 2017	119
Tabela 33 - Correlação entre as variáveis do Índice (2017).....	120
Tabela 34 - Índice Tecnológico do Agronegócio para o estado do Tocantins (2006).....	122
Tabela 35 - Índice Tecnológico do Agronegócio para o estado do Tocantins (2017).....	122
Tabela 36 - Índice Tecnológico do Agronegócio por Município (2006 e 2017).....	147

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Problematização e Hipótese	15
1.2. Objetivos	16
1.3. Justificativa	17
1.4. A Pesquisa.....	18
1.5. Organização do Trabalho	19
2. CRESCIMENTO ECONÔMICO, DESENVOLVIMENTO E TECNOLOGIAS NO AGRONEGÓCIO	21
2.1 Crescimento e Desenvolvimento Econômico.....	21
2.2 Crescimento e o papel da tecnologia.....	24
2.3 Influência do Agronegócio no Crescimento.....	37
2.4 Tecnologia Agrícola e Crescimento.....	41
2.5 Indicadores	52
3. METODOLOGIA	55
3.1. Modelagem da relevância do agronegócio para o crescimento na região de análise	55
3.2. Construção do Índice Tecnológico do Agronegócio (ITA).....	61
4. AGRONEGÓCIO NO TOCANTINS	76
4.1. Aspectos Básicos do Agronegócio no Estado do Tocantins	76
4.2. Relação entre o agronegócio e o crescimento econômico no estado do Tocantins.....	91
4.3. Índice Tecnológico do Agronegócio No Estado Do Tocantins.....	94
4.4. Discussão dos Resultados.....	125
5. CONCLUSÕES.....	129
REFERÊNCIAS	133
APÊNDICES.....	147

1. INTRODUÇÃO

O setor agrícola desempenha um papel crucial no abastecimento de alimentos e matérias-primas para diversas indústrias. Nos últimos anos, tem se observado um aumento significativo no uso de tecnologias digitais no setor, visando aumento de produtividade e melhoria da eficiência das operações agrícolas (ALVES; CONTINI; HAINZELIN, 2005).

A tecnologia passou a ser aplicada em diversas áreas do agronegócio, desde o gerenciamento de insumos e recursos naturais até o monitoramento da produção e a análise de dados. A adoção de modernas tecnologias permite aos produtores rurais obterem informações mais precisas e em tempo real sobre as condições climáticas, qualidade do solo, uso de recursos hídricos e outros fatores importantes para a produção agrícola.

Essas informações permitem que os produtores tomem decisões mais assertivas, ajustando suas práticas de manejo de forma mais eficiente e aumentando a produtividade de suas culturas. Além disso, a tecnologia também permite a implementação de práticas mais sustentáveis e conscientes, contribuindo para a preservação ambiental (GIANEZINI *et al.*, 2014).

No contexto histórico, a agricultura desempenha um papel relevante no crescimento econômico, particularmente nos países em desenvolvimento. Melhorias na produtividade agrícola levam ao aumento da produção de alimentos, emprego e renda rural, o que pode impulsionar o crescimento econômico. Atualmente a agricultura moderna é impulsionada pelo uso da tecnologia (RUZZANTE; LABARTA; BILTON, 2021).

A utilização de tecnologias digitais e de informação tem sido vista como uma forma eficiente de aumentar a produtividade e melhorar a eficiência no setor agrícola. Como resultado, a tecnologia no agronegócio tem se mostrado uma importante alavanca para o crescimento econômico (ACEMOGLU, 2007). Por outro lado, o impacto da agricultura no crescimento econômico é complexo e depende de vários fatores, como o nível de tecnologia usada na agricultura, acesso ao mercado, infraestrutura e políticas que apoiam o desenvolvimento agrícola (BASSANINI; SCARPETTA, 2001).

Os avanços nos métodos de industrialização e informação nos últimos anos foram tão grandes que possibilitaram uma disruptura no processo de fabricação, o que fez com que muitos autores concordassem que a sociedade se encontra a beira de uma nova revolução industrial, denominada de 4º revolução industrial (XU; XU; LI, 2018). Esta nova revolução possibilita a interconectividade entre diversas tecnologias, resultando em uma fabricação inteligente com a

utilização da Internet das Coisas (IoT) e Sistemas Ciber-Físicos (CPS), de forma cada vez mais digital (MUHURI; SHUKLA; ABRAHAM, 2019; XU; XU; LI, 2018).

As novas tecnologias estão alterando substancialmente o negócio das empresas/indústrias de diversos setores, especialmente o agronegócio (BELAUD *et al.*, 2019; LEZOCHÉ *et al.*, 2020). Essa nova forma de produção digitalizada conduzirá a alterações estruturais em todos os elos da cadeia global, em especial a sua produção e também o consumo, o que invariavelmente afetará o crescimento econômico dos países. Aparentemente nem todos os países estão preparados para revolução industrial, inclusive os países do grupo G20 (BMW, 2017).

Países que possuem grande parte de sua produção baseada em *commodities* também terão de se adaptar a essas novas mudanças (LEZOCHÉ *et al.*, 2020). De acordo com dados da Cepea/Esalq/USP (2022) o agronegócio correspondeu a 27,6% do PIB do Brasil em 2021, o que demonstra relevância do referido setor para a economia brasileira. Diante disso o agronegócio, atualmente, é considerado uma das principais atividades econômicas do Brasil.

1.1. Problematização e Hipótese

O agronegócio brasileiro possui diversos pontos fortes em sua cadeia produtiva, entre esses destacam-se a: i) qualificação dos recursos humanos; ii) boa capacidade de gestão na produção e comercialização; iii) oferta ambiental favorável; iv) bom nível de desenvolvimento tecnológico, v) maquinário agrícola com alta capacidade produtiva e vi) baixo custo de produção (SOSSA; DUARTE, 2019). O Brasil possui uma extensa área de reserva que pode ser incorporada ao processo produtivo (SCOLARI, 2006). Em termos de tecnologia o agronegócio é avançado da “porteira para dentro”, contudo os gargalos logísticos, especialmente em termos de escoamento da produção, que acarretam o setor da “porteira para fora” reduzem a competitividade do setor em relação a outros países. Neste contexto, a inovação se torna uma das principais estratégias em termos de competitividade para a sobrevivência e crescimento, de muitas empresas (Porter, 1999).

No Brasil, o agronegócio tem relevância para vários estados, inclusive para o Tocantins. Este, faz divisa com os estados do Maranhão, Pará, Goiás, Piauí, Bahia, Pará e do Mato Grosso. Com uma área de 277.620,9 km² registra-se que, 60% da superfície do Estado são de solos agricultáveis e, mais de 25% apresentam condições de produção, se for utilizada a tecnologia adequada (OLIVEIRA, 2015).

No Tocantins, por exemplo, o valor agregado da agropecuária correspondeu a 12,7% no ano de 2016 (uma média de 12,9% para os anos de 2012 a 2016). O setor possui grande peso para economia no que tange a pauta de exportações do estado. No ano de 2017 as exportações de soja e carnes corresponderam a 92,3%, em 2018 o montante foi elevado para 94,7%. Em relação ao mercado de trabalho, o setor agropecuário também possui destaque, juntamente com o setor de serviços, comércio e construção civil (SEFAZ, 2019).

Diante disso, para fins de realização do presente estudo define-se como problema de pesquisa o seguinte: Como mensurar o avanço tecnológico no agronegócio, com vistas a diagnosticar o estado de maturidade tecnológica e sua contribuição para o crescimento? Propõe-se para isso a realização de um estudo aplicado do estado do Tocantins, tendo em vista a relevância do setor para a economia.

A pesquisa parte da hipótese de que a criação de um conjunto de indicadores de avanço tecnológico poderá ajudar a diagnosticar o nível de maturidade tecnológica do agronegócio, com vistas a indicar prioridades para o aumento da produtividade e crescimento econômico de uma região. A contribuição do trabalho reside no desenvolvimento de uma ferramenta de monitoramento que contribua para a identificação de prioridades de investimentos no desenvolvimento tecnológico do agronegócio, visando o aumento de produtividade e crescimento econômico de uma região.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

- Desenvolver indicadores de avanço tecnológico para demonstrar o aumento da inovação no agronegócio com vistas a contribuir para o aumento da produtividade e para o crescimento econômico de uma região.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Demonstrar por meio de modelo econométrico o impacto do agronegócio e sua contribuição para o crescimento econômico de uma região.
- Desenvolver um indicador de maturidade tecnológica da agricultura que indique as necessidades de avanço na produção agrícola regional.

- Discutir a evolução tecnológica do agronegócio no Tocantins e identificar prioridades com vistas a impulsionar o crescimento econômico da região.

1.3. Justificativa

Entender se a agricultura realmente tem impacto no crescimento econômico é relevante para os formuladores de políticas públicas e gestores, em especial no tocante a alocação de recursos públicos. Há um esforço recente de diversos pesquisadores no que tange a um melhor entendimento sobre a relevância do agronegócio para o crescimento econômico dos países, inclusive existindo divergência entre pesquisadores da área, indicando que o papel do agronegócio no desenvolvimento encontra-se em debate (AWOKUSE; XIE, 2015).

Ao setor agropecuário é atribuída uma função determinante no processo de crescimento econômico de uma região. No cenário mundial, o Brasil encontra-se em posição de destaque na produção de *commodities* agroindustriais. O crescimento do setor resulta em um transbordamento para outras atividades, sendo atribuído ao agronegócio um importante papel para o crescimento econômico (JANK; NASSAR; TACHINARDI, 2005).

Ressalta-se que o crescimento da produção agrícola, assim como em outros setores produtivos, depende, em grande parte, da demanda por tecnologia (GONZALEZ; COSTA, 1998). O desenvolvimento tecnológico do agronegócio é um conceito multidimensional que envolve a utilização de múltiplas tecnologias no setor. Para compreender a magnitude desse processo nas diferentes regiões do país e sua evolução ao longo do tempo, é necessário considerar um conjunto de variáveis capazes de captar essas transformações. Nesse aspecto, diversos estudos destacam a importância de adotar uma abordagem de múltiplos indicadores para compreender o processo de modernização do agronegócio, tais como os trabalhos de Lobão e Staduto (2020) e Silva e Fernandes (2005).

Em termos de avanço do agronegócio o Tocantins tem despontado no cenário nacional como um grande produtor de grãos, sendo constatada uma elevação no crescimento da área colhida e da produção de grãos de soja (OLIVEIRA, 2018). Por outro lado, no Brasil, ao setor agropecuário são atribuídas diversas críticas, principalmente em relação à preservação do meio ambiente e também a respeito da contribuição, de fato, ao crescimento de uma determinada região.

Diante disso, os resultados do presente trabalho visam contribuir para um melhor entendimento do papel do agronegócio como agente impulsionador do crescimento de uma região. Fornecem uma visão sistêmica do desenvolvimento das tecnologias do agronegócio no

âmbito regional. Em termos de contribuição da pesquisa para o meio acadêmico, apresenta uma contextualização dos resultados oriundos da expansão da fronteira agrícola no cerrado brasileiro, no que tange ao desenvolvimento do agronegócio e os impactos no crescimento econômico do estado.

1.4. A Pesquisa

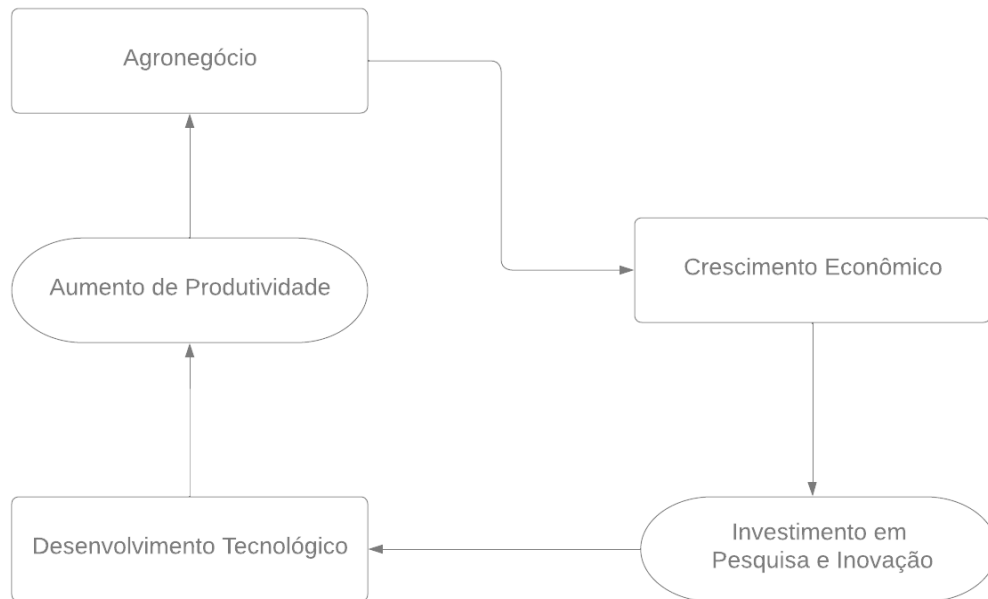
A pesquisa bibliográfica corresponde à parte inicial do trabalho para levantar os principais artigos e demais publicações relacionadas ao tema. Esta etapa do trabalho teve o objetivo de dotar o estudo do arcabouço teórico necessário para fornecer ao pesquisador o rumo que o mesmo deve seguir. Após essa abordagem inicial foi possível estruturar a pesquisa com os estudos anteriores para então possibilitar a utilização de outras técnicas de pesquisas.

A pesquisa visa entender as implicações do desenvolvimento tecnológico do agronegócio para o crescimento econômico de uma região. Investimentos em pesquisa e inovação contribuem para o desenvolvimento tecnológico o que impulsiona o aumento de produtividade no agronegócio. A investigação do problema de pesquisa parte da estrutura conceitual, ilustrada na figura 1, a qual relaciona o agronegócio, crescimento econômico e o desenvolvimento tecnológico do setor.

O agronegócio brasileiro, especialmente nas cadeias produtivas voltadas para a exportação, utiliza sistemas de produção modernos, adotando níveis tecnológicos satisfatórios, embora centralizados em número pequeno de produtos (SILVA *et al.*, 2018). A competitividade dos produtos depende da eficiência do processo produtivo, do aspecto da comercialização e também dos fatores macroeconômicos que influenciarão as políticas de apoio ao setor (crédito rural, preços mínimos, pesquisa e tecnologia) (CONCEIÇÃO; CONCEIÇÃO, 2014).

A investigação da influência do agronegócio para o crescimento econômico apoiou-se em pesquisa quantitativa, com o suporte de modelos matemáticos, ferramentas estatísticas e econométricas. Foram estimadas funções tendo como principal base teórica os trabalhos de Awokuse e Xie (2015). Os autores questionam se, de fato, a agricultura é relevante para o crescimento econômico. Baseado neste persistente debate, torna-se necessário a análise de outros fatores da agricultura, em especial, as tecnologias aplicadas no setor. No presente trabalho é incorporado o desenvolvimento tecnológico do agronegócio como um aspecto relevante no processo de crescimento econômico. O desenvolvimento tecnológico do setor é captado por meio da proposta de um índice de tecnologia do agronegócio.

Figura 1 – Constructos da Estrutura Conceitual



Fonte: Elaboração própria

As equações e plotagens dos gráficos foram realizadas por meio do software Stata/MP 16.1. Adicionalmente foi utilizado o software IBM SPSS Statistics para a modelagem da análise fatorial. A elaboração e plotagem dos mapas temáticos foi realizada por meio do software Qgis versão LTS Białowieża.

1.5. Organização do Trabalho

O estudo está organizado em cinco capítulos, que desenvolvem a estrutura apresentada na figura 1. No capítulo dois, abordam-se as principais fundamentações e correntes teóricas sobre o agronegócio e o crescimento econômico de uma região. Em seguida, são apresentadas algumas considerações sobre o agronegócio no Brasil e a relação entre o desenvolvimento tecnológico e a produtividade do agronegócio. Neste capítulo é construída a base teórica para a formulação conceitual dos modelos desenvolvidos a partir das relações entre os constructos.

O capítulo três apresenta a metodologia utilizada para se alcançar os objetivos propostos, abordando os procedimentos de tratamento das variáveis, os modelos econométricos utilizados e as etapas para a construção do indicador.

Já no capítulo quatro, são apresentados e discutidos os resultados de um estudo de caso realizado no estado do Tocantins. São realizadas colocações e inferências sobre as principais

evidências obtidas e a interpretação dos coeficientes obtidos pelos modelos e também é desenvolvido o índice de tecnologia do agronegócio.

Por fim, o capítulo cinco traz as considerações sobre o estudo e aprofunda a discussão sobre os resultados.

2. CRESCIMENTO ECONÔMICO, DESENVOLVIMENTO E TECNOLOGIAS NO AGRONEGÓCIO

Neste capítulo são abordados os conceitos-chave do presente trabalho. Inicialmente são apresentados os principais aspectos sobre as teorias do crescimento econômico e, em sequência, a distinção entre crescimento e desenvolvimento econômico. Em seguida são abordadas as relações existentes entre a tecnologia, agronegócio e o crescimento econômico. Por fim é discutido o papel da adoção de novas tecnologias no agronegócio e seu impacto no crescimento econômico de uma região.

2.1 Crescimento e Desenvolvimento Econômico

O crescimento econômico é obtido pelo aumento sustentável do Produto Interno Bruto per capita, expresso pela taxa de crescimento do PIB real per capita. O PIB é uma medida estatística que mensura o valor total da produção de bens e serviços finais de uma economia, bem como a renda obtida nessa economia em um dado ano (KRUGMAN E WELLS, 2007).

O modelo Harrod-Domar¹ é considerado o primeiro modelo específico de crescimento elaborado, o qual relaciona o crescimento econômico, investimento e poupança. De acordo com os autores, o crescimento econômico é determinado pelo nível de investimento em uma economia. É assumido a existência de uma relação capital-produto constante, o que significa que uma certa quantidade de capital é necessária para produzir uma certa quantidade de produto.

O modelo também assume que o nível de poupança é um determinante relevante do nível de investimento. O aumento da poupança acarreta elevação do investimento e conseqüentemente um maior crescimento econômico. Por outro lado, quando a poupança diminui, o investimento diminui, levando a um menor crescimento econômico. O modelo sugere ainda que, para alcançar um crescimento econômico sustentado, um país deve aumentar sua taxa de poupança para suportar níveis mais altos de investimento.

No entanto, o modelo não considera fatores como progresso tecnológico, mudanças na força de trabalho e choques externos que podem afetar o crescimento econômico. Por outro lado, Bresser-Pereira (1975) argumenta que embora o modelo de Harrod-Domar seja simplista e baseado em uma concepção de fio da navalha do crescimento, ele não é incompatível com progresso tecnológico, substituição de trabalho por capital e crescimento da renda *per capita*.

¹ Desenvolvidos por Harrod (1939) e Domar (1946)

Somente a partir do trabalho de Solow (1957) o progresso tecnológico passou a ser visto como uma variável fundamental para o crescimento econômico sustentado de longo prazo. No modelo de Solow o progresso tecnológico é considerado neutro no sentido de Harrod, ou seja, a participação dos salários e dos lucros na renda agregada é mantida constante ao longo do tempo. Adicionalmente, o progresso tecnológico é tido como “desincorporado” das máquinas e equipamentos, logo, o progresso tecnológico aumenta não só a produtividade das máquinas e equipamentos, mas também a produtividade de todo o estoque de capital, independente da data na qual os equipamentos foram adquiridos (OREIRO, 1999).

Os modelos de crescimentos neoclássicos e de crescimento endógeno oferecem perspectivas distintas sobre os aspectos do crescimento econômico de longo prazo. Enquanto o modelo de crescimento neoclássico destaca o papel da acumulação de capital físico e do progresso tecnológico na condução do crescimento, o modelo de crescimento endógeno, por outro lado, enfatiza o papel da acumulação de capital humano, inovação e qualidade institucional na condução do crescimento (ACEMOGLU, 2007).

Trabalhos anteriores que analisam a relação entre as exportações e o crescimento econômico essencialmente utilizam como base os modelos de Solow (1956) e Feder (1983). A principal diferença entre os modelos diz respeito a identificação dos efeitos indiretos da exportação no crescimento. Nesse ponto, o modelo de Feder (1983) permite uma melhor abordagem em relação aos efeitos da exportação no crescimento. Esse autor confirmou que as exportações geram externalidades positivas e são importantes para o crescimento econômico, com dados de 54 países no período de 1964-1973.

No Brasil, os trabalhos de Galimberti e Caldart (2010) e Carmo, Raiher e Stege (2017) já utilizaram o modelo para analisar o impacto das exportações no crescimento econômico. No primeiro, o foco são os municípios do Corede Serra (RS) no período de 1997 a 2004, enquanto o segundo analisa os dados das microrregiões no período de 2000-2010. Em ambos os trabalhos há efeitos positivos das exportações no crescimento econômico.

Para Ram (1987) e Sanjuán-López e Dawson (2010) existem diferenças estruturais quando se relaciona exportação-renda. Para países em desenvolvimento, em especial em países de baixa-renda, as exportações agrícolas possuem um impacto maior no PIB do que as exportações não-agrícolas, diante disso essas podem desempenhar um papel relevante para o crescimento. Para os países com renda média e superior, as exportações não agrícolas, têm um impacto maior no PIB do que as exportações agrícolas. Ou seja, o efeito a longo prazo no PIB oriundo das exportações agrícolas diminui à medida que a renda aumenta, enquanto o inverso ocorre para o aumento das exportações não agrícolas. No trabalho de Sanjuán-López e Dawson

(2010), foram analisados dados de 42 países em desenvolvimento, dos quais 33 países apresentaram resultados que indicaram que a exportação agrícola é positiva para o PIB. Contudo, nestes apenas 18 apresentaram relações estatisticamente significantes. Os dados do Brasil não foram significativos, em termos estatísticos, para essa pesquisa.

Romer (1986) apresenta um modelo de crescimento endógeno, que sugere que o crescimento econômico não depende apenas do progresso tecnológico exógeno, mas também pode ser gerado endogenamente por meio da acumulação de capital e dos efeitos colaterais do conhecimento e das ideias. No modelo, o progresso tecnológico não é exógeno, mas surge da acumulação de capital humano e do desenvolvimento de novas ideias e conhecimentos.

Esse processo é alimentado por investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e educação, que contribuem para a criação de novos produtos, processos e tecnologias, gerando externalidades que compensam os retornos decrescentes do capital. Em outras palavras, à medida que mais capital é acumulado, a produtividade de cada unidade adicional de capital diminui. No entanto, essa queda na produtividade pode ser compensada por transbordamentos de conhecimento e economias de escala, que levam à volta do aumento da produtividade e ao crescimento econômico.

De modo geral, o modelo de Romer (1986) enfatiza a importância do investimento em capital humano e na criação de conhecimento para o crescimento econômico sustentado, em vez de depender apenas do progresso tecnológico exógeno. De acordo com Oreiro (1999) os modelos que fazem parte desse grupo empregam uma concepção de tecnologia que é substancialmente diferente daquela que é empregada no modelo de Solow (1956). A tecnologia não é considerada um bem público, mas sim como um bem não-rival, porém excluível, ou seja, um bem que pode ser adquirido. Essa caracterização da tecnologia, contudo, obriga ao abandono da hipótese de concorrência perfeita em benefício da hipótese de concorrência imperfeita.

Para a região conseguir transformar seu crescimento econômico em desenvolvimento de longo prazo, é necessário a mobilidade dos capitais intangíveis, sejam eles: capital social, capital humano, conhecimento, pesquisa e desenvolvimento (P&D) e informação, alinhando o estoque de conhecimento e de habilidades à prática de políticas democráticas de confiança e cooperação. O desenvolvimento econômico de uma região não depende somente do seu crescimento econômico (HADDAD, 2010; PIACENTI; ALVES; LIMA, 2008).

Crescimento econômico significa aumento constante do volume de produção em um país, ou do produto interno bruto por um período de um ano. O desenvolvimento econômico, por sua vez, não se reduz a mudanças quantitativas quando se trata da posição econômica do

país, mas também de mudanças qualitativas, por exemplo, alteração da estrutura econômica, surgimento de novos setores e indústrias, novos empregos, etc. (IVIC, 2015).

Schumpeter (1934) discorre que no crescimento, a economia funciona em um sistema de fluxo circular de equilíbrio, cujas variáveis econômicas aumentam apenas em função da expansão demográfica. Enquanto o desenvolvimento surge por meio de inovações tecnológicas.

2.2 Crescimento e o papel da tecnologia

Nesta seção é discutida o papel da tecnologia como impulsionadora do crescimento econômico. O papel da tecnologia não se resume a produzir mais com menos, mas sim permitir, entre outros fatores, aumento da eficiência, inovação e produtividade. A pesquisa e desenvolvimento em conjunto com a adoção de novas tecnologias são geralmente associadas a criação de novos produtos ou serviços e, conseqüentemente, contribuem para o progresso tecnológico, estimulando assim o crescimento econômico.

2.2.1 Fatores de Crescimento

No modelo de crescimento neoclássico os investimentos em capital físico aumentam a produtividade e a produção, o progresso tecnológico por sua vez alcançado por meio de inovação e pesquisa e desenvolvimento, também pode levar ao aumento da produtividade e eficiência, impulsionando o crescimento. Além desses determinantes podem ser destacados as evidências empíricas, por exemplo, o papel das instituições, da geografia e da cultura. A qualidade institucional é considerada um fator determinante do crescimento econômico de longo prazo. A geografia, incluindo fatores como clima e recursos naturais, também pode afetar a dinâmica do crescimento (ACEMOGLU, 2007).

O trabalho de Bassanini e Scarpetta (2001) elenca os principais determinantes do crescimento econômico e discorre a importância do capital humano, capital físico e progresso tecnológico. Para os autores é necessário considerar as políticas macroeconômicas tais como a estabilidade da inflação, política fiscal e o sistema financeiro como indutor do crescimento, especialmente no que tange a difusão de novas tecnologias. Os autores destacam ainda a importância dos investimentos em educação, pesquisa e desenvolvimento e infraestrutura. Por fim, é relevante a adoção de uma abordagem multifacetada para promover o crescimento sustentável.

A seguir, é apresentada uma visão geral dos determinantes do crescimento econômico, conforme o trabalho de Bassanini e Scarpetta (2001).

- Investimento em capital físico, que inclui máquinas, equipamentos, infraestrutura e edifícios usados na produção. O investimento em capital físico desempenha um papel crítico no crescimento econômico, leva ao aumento da produtividade e impacta positivamente a produção, contribuindo para o crescimento econômico.
- Capital humano, definido como conhecimentos, habilidades e expertises dos trabalhadores. O investimento em educação, treinamento e saúde pode melhorar a qualidade da força de trabalho, levando ao aumento da produtividade e ao crescimento.
- Progresso tecnológico que leva ao aumento da eficiência, inovação e produtividade. O investimento em pesquisa e desenvolvimento em conjunto com a adoção de novas tecnologias e a criação de novos produtos e serviços contribuem para o progresso tecnológico e estimulam o crescimento econômico.
- Papel das instituições e políticas. Boa governança, estruturas legais sólidas e mercados eficientes podem promover o empreendedorismo e a inovação. A estabilidade macroeconômica se torna essencial para garantir um ambiente favorável ao investimento e ao crescimento.
- O comércio internacional pode facilitar o crescimento econômico ao fornecer acesso a novos mercados, permitir economias de escala e facilitar a transferência de tecnologia e conhecimento.
- Os recursos naturais podem contribuir para o crescimento econômico, mas isso depende de fatores como sua qualidade, quantidade e gestão.

É necessário ressaltar que esses determinantes não são isolados, mas interagem entre si e seus efeitos combinados podem reforçar ou dificultar a contribuição de cada um para o crescimento econômico. Os formuladores de políticas podem usar esse conhecimento para elaborar projetos que promovam investimento, inovação e reformas que aumentem a produtividade, levando, em última análise, a um crescimento econômico sustentado.

Além desses determinantes, outros trabalhos corroboram com o fato de que o crescimento econômico é um fenômeno multifatorial, por exemplo, o trabalho de Rahman e Alam (2021). Os autores demonstram que a utilização de energia, comércio internacional, capital, trabalho, desenvolvimento do capital humano e investimento estrangeiro direto teve

impactos positivos e significativos no crescimento econômico das vinte maiores economias no período de 1980-2018.

De acordo com os autores, os resultados são consistentes com a teoria econômica e possuem a capacidade de indicar aos gestores públicos que o crescimento econômico contínuo e sustentado deve ser assegurado pela formulação de políticas comerciais adequadas e apropriadas em relação ao uso de energia, desenvolvimento de capital humano e de investimento de capital estrangeiro.

2.2.2 Tecnologia e Crescimento

O progresso tecnológico é um impulsionador do crescimento econômico de longo prazo, ao permitir que as empresas produzam mais produtos com os mesmos ou menos insumos. O progresso tecnológico também pode criar novos produtos, mercados e indústrias. Ressalta-se que os benefícios da tecnologia não são automáticos e dependem de fatores complementares, como capital humano, infraestrutura e instituições (CARLAW; LIPSEY, 2003).

Os incentivos das empresas para inovar são influenciados pela estrutura do mercado, concorrência e direitos de propriedade intelectual. Adicionalmente, as políticas e instituições governamentais desempenham um papel fundamental na promoção do progresso tecnológico. Subsídios para pesquisa e desenvolvimento, incentivos fiscais para investimentos e apoio à educação e treinamento, além de regimes eficazes de direitos de propriedade intelectual contribuem para o progresso tecnológico e seu papel no crescimento econômico (CARLAW; LIPSEY, 2003).

Da mesma forma, no estudo de Younus (2021), o qual examina o impacto do avanço tecnológico no setor empresarial, o autor constata o efeito positivo do progresso tecnológico no crescimento econômico. O estudo indica que as empresas que investem em tecnologia tendem a ter maiores níveis de produtividade, o que se traduz consequentemente em maior crescimento econômico.

Para o autor, os avanços científicos servem como força motriz por trás de políticas científicas e econômicas destinadas a promover o crescimento econômico. O progresso econômico é facilitado pelo avanço tecnológico e tem o potencial de aumentar os níveis de renda e expandir a riqueza (YOUNUS, 2021).

Investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) também contribuem de forma positiva para o crescimento econômico em diversos estudos. Ao analisar os efeitos dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) no crescimento econômico dos países da

OCDE entre os anos de 1996 a 2015, Yazgan e Yalçinkaya (2018) identificaram uma relação positiva e significativa entre investimentos em P&D e crescimento econômico.

No geral, as evidências sugerem que o progresso tecnológico é crucial para alcançar o crescimento econômico sustentado (CRAFTS, 2010). Carlaw e Lipsey (2003) argumentam que a tecnologia é considerada um fator crítico de crescimento econômico, mas seus benefícios dependem de fatores complementares, tais como políticas e instituições governamentais eficazes.

2.2.3 Tecnologia e competitividade

Na atualidade, a inovação é a principal estratégia competitiva de sobrevivência e de crescimento, para muitas empresas. Alia-se a esse aspecto a possibilidade de criar vantagens competitivas, nas oportunidades de mercado encontradas (Porter, 1999). Sobre vantagem competitiva, Porter (1985) discorre que ela surge fundamentalmente no valor que uma empresa consegue criar para seus compradores e que ultrapassa o custo de fabricação pela empresa. Além do mais a vantagem competitiva, segundo Porter (2000) possui duas fontes principais. A primeira fonte diz respeito ao menor custo de produção e, ocorre quando, a empresa produz, oferta e comercializa um produto com mais eficiência que os concorrentes com preços semelhantes ou menores. A segunda fonte é relacionada a diferenciação de produtos e serviços, quando a empresa possui capacidade de oferecer ao comprador um valor excepcional e superior, em termos de qualidade, características especiais ou serviços de assistência.

A inovação possui relação com a possibilidade de geração de vantagens competitivas para as empresas. Esta relação reside no fato de que a organização irá utilizar de maneira mais efetiva seus recursos para a geração de inovações conquistando vantagem competitiva (CONTO; ANTUNES JÚNIOR; VACCARO, 2016).

Porter (1999) afirma que a produtividade se traduz em um conceito relevante de competitividade nacional, pois consiste na definição do valor do que é produzido por uma unidade de trabalho ou de capital. A produtividade depende ainda da qualidade, características dos produtos e eficiência com que são produzidos. Em sequência, o sucesso econômico das empresas depende da produtividade com a qual os recursos de trabalho e capital são empregados.

De acordo com Coutinho *et al.*, (2005, p. 112) o comércio internacional pode ameaçar o crescimento da produtividade das empresas, logo as mesmas “são expostas ao teste dos padrões de competitividade nacional e serão derrotadas se não forem competitivas

internacionalmente”. Essa derrocada em razão da não competitividade internacional pode comprometer a capacidade de exportação e padrão de vida do país.

Nesse sentido Porter (1989) argumenta que as empresas atingem vantagem competitiva, quando o aumento da produtividade (definição do valor do que é produzido por uma unidade de trabalho ou de capital) se dá por meio das inovações. A manutenção de um alto padrão de vida em um determinado país é consequência da produtividade e do ritmo de crescimento desta.

2.2.4 Maturidade Tecnológica

As inovações tecnológicas podem ser consideradas de dois tipos: incrementais e radicais. A primeira, possui um caráter linear, ou seja, ocorre quase que imperceptivelmente ao consumidor e de maneira contínua, e tendem geralmente a permitir reduções de custos, eficiência técnica, melhoria de qualidade entre outros, contudo sem alterar profundamente a estrutura produtiva do setor. As inovações radicais são mais profundas e consideradas revolucionárias, aos extrapolarem o paradigma tecnológico existente (GELINSKI JÚNIOR *et al.*, 2014).

É natural que no processo de desenvolvimento tecnológico ocorra a competição entre novas tecnologias e as tecnologias já estabelecidas e, conseqüentemente, ocorra a substituição destas. O processo de consolidação tecnológica é prolongado e envolve o aprimoramento das novas tecnologias e também das já consolidadas. No mercado é natural que novas empresas substituam as existentes que por ora tenham menos capacidade de ajustar-se às mudanças e novas tecnologias. A evolução ou substituição técnica gera, na economia, redistribuição de recursos, inclusive mão de obra, entre setores e entre empresas. De acordo com Schumpeter (1997), a mudança técnica pode resultar em destruição criativa, o que também pode envolver vantagem e apoio entre concorrentes, fornecedores, produtores e clientes (OECD, 2014).

Proposta na década de 70, a abordagem de maturidade tinha como foco a engenharia de software, tendo como lastro como um modelo que representa os estágios de desenvolvimento de uma empresa para implementação de processo (DALKIR, 2005). O conceito evoluiu e é atualmente utilizado em diversas outras áreas, como gestão financeira, gestão de caixa, gestão de projetos, gestão da inovação, gestão da qualidade, design de produto, gestão de serviços, gestão de relacionamento com o cliente e gestão de processos de negócios. Os modelos de maturidade existem para diferentes domínios além da engenharia de software (JIULING; JIANKANG; HONGJIANG, 2012).

Um modelo de maturidade consiste em um instrumento que permite mensurar o grau de evolução em determinado domínio da entidade de forma a contribuir para o direcionamento do desenvolvimento, posicionamento e transformação da organização (BECKER; KNACKSTEDT; PÖPPELBUSS, 2009; DE BRUIN *et al.*, 2005). De modo geral os modelos de maturidade foram desenvolvidos para auxiliar as organizações a identificar formas de reduzir os custos, melhoria de qualidade ou redução de tempo dos processos, gerando assim obtenção de vantagens competitivas (DE BRUIN *et al.*, 2005).

Os modelos de maturidade podem ter uma ênfase descritiva, prescritiva ou comparativa. Para os modelos descritivos a aplicação consiste em avaliar o presente, não possuem o objetivo de melhoria de maturidade ou desempenho. Por outro lado, um modelo prescritivo tende a fornecer um roteiro de melhoria da maturidade com objetivo de afetar positivamente o valor do negócio. Por último, um modelo comparativo é capaz de comparar práticas semelhantes entre as organizações de forma a avaliação da maturidade em setores distintos (DE BRUIN *et al.*, 2005; RÖGLINGER; PÖPPELBUSS; BECKER, 2012).

De acordo com Rafael *et al.*, (2020) um modelo de maturidade se torna uma ferramenta adequada para os seguintes fins:

- a) Avaliar a organização e seus processos de diferentes perspectivas gerenciais ou áreas de negócios e usar a avaliação para documentar o *status quo* (BACKLUND; CHRONÉER; SUNDQVIST, 2014),
- b) Desenvolver uma visão corporativa para a excelência do processo e fornecer orientação no caminho do desenvolvimento do estágio básico ao avançado (PROENÇA; BORBINHA, 2016; TARHAN; TURETKEN; REIJERS, 2016)
- c) Comparar capacidades entre unidades de negócios e organizações (PROENÇA; BORBINHA, 2016).

2.2.5 Indústria 4.0

A Indústria 4.0 pode ser considerada a digitalização da indústria, pois se trata da transição para uma rede de fornecimento fortemente focada em dados com ampla integração de tecnologias de informação e comunicação (TICs) e conseqüentemente maior automação (DRATH; HORCH, 2014). Atualmente é considerada a quarta revolução industrial, a qual apresenta como tendência a automação da indústria manufatureira com a utilização de tecnologias com base na internet (XU; XU; LI, 2018).

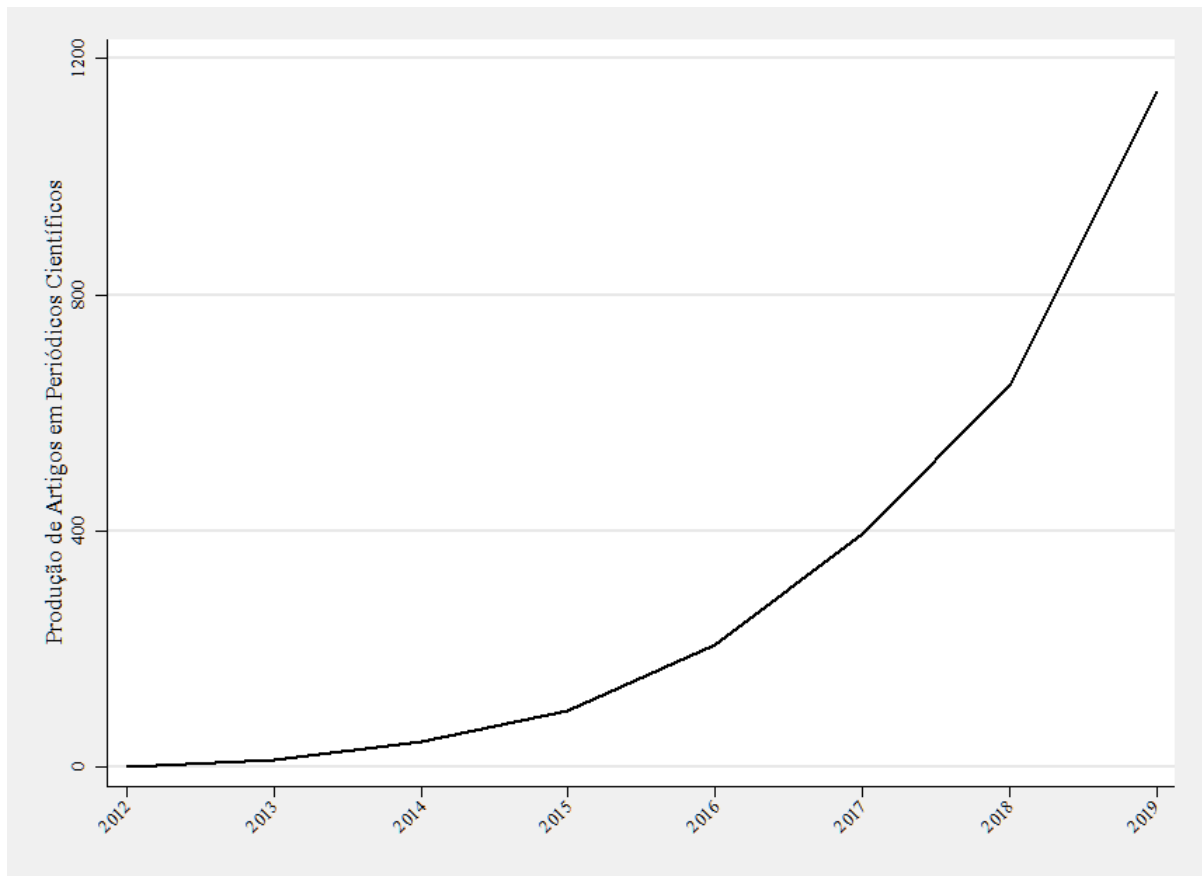
A Indústria 4.0 pode otimizar os fluxos entre empresas nas cadeias de suprimentos, nas quais contribuem com seus principais pontos fortes, capacidades e recursos de forma coordenada, melhorando o fluxo da cadeia de suprimentos, reforçando sua competitividade global, possibilitando a inovação do modelo de negócios, facilitando o desenvolvimento de uma economia circular e operações de negócios sustentáveis para a sociedade (IVANOV, 2018; REISCHAUER, 2018; STOCK *et al.*, 2018; STRANGE; ZUCHELLA, 2017).

A literatura existente sobre o início da Indústria 4.0 aponta para a Alemanha como a precursora/pioneira na estratégia de uma industrialização inteligente (FRANK; DALENOGARE; AYALA, 2019; KIEL *et al.*, 2017; MARESOVA *et al.*, 2018; MÜLLER; BULIGA; VOIGT, 2018). A Alemanha, inclusive, é o país que mais produz pesquisa acadêmica sobre o tema (MUHURI; SHUKLA; ABRAHAM, 2019).

A Indústria 4.0 é baseada no surgimento de novas tecnologias que melhoram a transmissão de informação no sistema como um todo, o que permite as indústrias um melhor controle das suas operações, as quais passam a serem adaptadas em tempo real de acordo com a variação na demanda (MOEUF *et al.*, 2018). As principais tecnologias envolvidas no complexo emaranhado da Indústria 4.0 são basicamente as seguintes: *Big data and analytics*, *Simulation*, *Internet of things (IoT)*, *Cyber-physical systems (CPS)*, *Cloud computing*, *Virtual reality*, *Cyber security*, *Collaborative robot* e *Machine-To-Machine communication* (MOEUF *et al.*, 2018).

A temática ainda é recente, prova disso é que um dos primeiros artigos publicados, conforme a base *Scopus (Elsevier)* foi feito no ano de 2012, desde então o número de publicações sobre o tema disparou. A figura 2 apresenta a evolução do quantitativo de artigos publicados sobre o tema “*Industry 4.0* até o ano de 2019, em periódicos científicos.

Figura 2 – Artigos publicados em periódicos científicos sobre a Indústria 4.0 (2012-2019)



Fonte: Elaborado a partir da base Scopus (Elsevier)

A Indústria 4.0 combina tecnologias para o seu funcionamento, tais como a utilização de inteligência artificial em conjunto com análise de dados para otimizar a fabricação em tempo real, reduzindo ao mínimo a intervenção humana no processo de fabricação. Os avanços nas tecnologias de sensores de rede e comunicação sem fio contribuíram para a digitalização das coisas. Dessa forma, consegue desenvolver uma nova geração de sistemas de manufatura, os quais integram e sincronizam os dados disponíveis na internet em tempo real, entre os objetos físicos e o espaço computacional cibernético (XU; XU; LI, 2018).

- a) **Big data and analytics** (análise de *big data*): devido ao seu tamanho, variedade e estrutura complexa esses dados não são analisados pelos métodos tradicionais de processamento. Para isso são necessários técnicas e sistemas especiais, além de metodologias tais como, análise, captura, curadoria de dados, pesquisa, compartilhamento, armazenamento, transferência, visualização e privacidade de informações, os quais são necessários para executar análises preditivas, extrair informação com valor dos dados, entre outros (KANG *et al.*, 2016).

- b) **Simulation** (simulação): consiste na integração de diferentes ferramentas tecnológicas as quais permitem aos *designers* ou gerentes simularem a performance de todos os aspectos de um sistema de produção. Além disso, as ferramentas de modelagem permitem a análise do comportamento do produto, desempenho das linhas de produção, acarretando na otimização de todos os processos e operações industriais (MOEUF *et al.*, 2018).
- c) **Internet of things (IoT)** (internet das coisas) é a tecnologia central da Indústria 4.0 (KANG *et al.*, 2016) considerada a tecnologia que possibilitou a quarta revolução industrial (BEN-DAYA; HASSINI; BAHROUN, 2017). A IoT basicamente consiste nas redes, software, sensores, conectividade de rede e 'coisas' incorporadas ou objetos físicos, coleta ou troca dados. A IoT faz com que os objetos sejam detectados ou controlados por uma rede, a qual suporta a integração entre o mundo físico e os sistemas baseados em computador, e traz vários efeitos, como maior produtividade ou economia na fabricação (KANG *et al.*, 2016).
- d) **Cyber-physical systems (CPS)** são sistemas computacionais que estão em intensa conexão com o mundo físico e seus processos em andamento, fornecendo e utilizando, simultaneamente, acesso e processamentos de dados disponíveis na internet (KANG *et al.*, 2016).
- e) **Cloud computing** possibilita a comunicação e troca de informação em tempo real. Com isso é possível o compartilhamento de informações em múltiplos sistemas, permitindo que dados e aplicações estejam disponíveis em qualquer horário e lugar de qualquer terminal com acesso à internet (MOEUF *et al.*, 2018).
- f) **Virtual reality** (realidade virtual) uma nova forma de acesso a dados (informações) pelos usuários, como por exemplo, os óculos de realidade aumentada (AR) ou de realidade virtual (VR). Com essas tecnologias torna-se possível a simulação um ambiente contendo objetos reais e simulados, os quais podem ser utilizados para aprimorar os processos de design e fabricação (LEE, J.; HAN; YANG, 2011).
- g) **Cyber security** (cibersegurança) a preocupação com segurança é essencial para garantir o sucesso da digitalização. Os dispositivos serão conectados via IoT, devendo ser possível estabelecer um maior número de canais de comunicação sem reduzir o desempenho das redes. Além disso é necessário fornecer

comunicação segura para os dispositivos conectados à rede (IoT) (AIREHROUR; GUTIERREZ; RAY, 2016).

- h) **Collaborative robot** (robôs colaborativos) os robôs com a incorporação de sensores estão se tornando mais flexíveis, comunicativos e colaborativos. A conectividade com produtos e os mecanismos de colaboração apropriados irão possibilitar uma maior integração com seres humanos (MOEUF *et al.*, 2018).
- i) **Machine-To-Machine communication (M2M)** as tecnologias de comunicação possibilitam o uso mais máquinas autônomas, possibilitando o gerenciamento autônomo de indústrias (fabricação) (WANG *et al.*, 2016).

Novas tecnologias são elaboradas por meio de um conjunto complexo que envolve desde a pesquisa básica, aplicada, desenvolvimento e engenharia, além dos testes necessários a inovação das inovações no mercado. Países dotados de um sistema de inovação sofisticado possuem uma base científica desenvolvida contando com instituições que criam conhecimento ou desenvolvem novos produtos e processos. No Brasil, as políticas que dão suportes ao processo de inovação são na maioria impulsionadas ou financiadas pelo Estado, embora sejam poucos os exemplos de instituições de pesquisa de ponta (aplicada ou básica) (NEGRI, 2017).

A expectativa geral é que Indústria 4.0 altere a organização da sociedade, desde o modelo de negócios das empresas, passando pela forma com a indústria trabalha e consequentemente influenciando o consumo. Os ambientes industriais estarão em constante evolução e mudança (BMW, 2017). Os diversos setores da economia serão afetados em maior ou menor grau, assim como toda a cadeia. As fábricas inteligentes que surgirem utilizando as tecnologias disponíveis poderão ser completamente automatizadas, o que exigirá uma mão de obra extremamente qualificada. As novas tecnologias digitais, devem alterar, não somente as formas de produção (manufatura), mas sim, todos os elos da cadeia de suprimentos, desde a produção dos insumos no setor primário, em especial o agronegócio e o transporte desses insumos.

2.2.6 Inovação no Brasil

Na divulgação da 12ª edição do *Global Innovation Index* (GII 2019) – Índice Global de Inovação, o qual é co-publicado pela Universidade de Cornell, INSEAD e pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO), apresenta o Brasil na posição de número 66. Entre os itens avaliados, o GII destaca as fraquezas do país, sendo principalmente: dificuldade em

iniciar um negócio; baixa avaliação dos estudantes nas áreas de leitura, matemática e ciências no PISA, infraestrutura geral e crédito (CORNELL UNIVERSITY; INSEAD; WIPO, 2019). Em 2022, o índice recém-publicado apresenta o Brasil na posição de número 54, demonstrando melhoria considerável em termos de possibilidade de inovação.

Em relação às iniciativas com a finalidade de incentivar a capacidade de inovação do Brasil, se destacam as políticas de apoio financeiro por meio de financiamento direto, de crédito, fiscais ou medidas regulatórias. Desde o ano de 1999 foram criados 15 fundos setoriais de Ciência e Tecnologia (C&T)², além da Lei de Inovação (Lei nº. 10.973, de dezembro de 2004) e da Lei do Bem (Lei nº 11.196, de novembro de 2005). Devido à fragmentação excessiva da distribuição dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), o recurso é geralmente dividido em vários editais, reduzindo o valor total do financiamento e, inviabilizando pesquisas de ponta. Aliado a uma ausência de estratégia na destinação dos investimentos públicos, não há aproveitamento pelo setor público ou sociedade das tecnologias, ou produtos desenvolvidos por essas pesquisas (NEGRI, 2017).

No Brasil, aparentemente há um esforço institucional conjunto para o país conseguir adotar tecnologias digitais. No ano de 2017 o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços – MDIC instituiu um grupo de trabalho visando elaborar uma proposta de agenda nacional para a Indústria 4.0 (GTI 4.0). Entre outras preocupações a serem consideradas pelo GTI 4.0 as principais são a redução substancial da participação da indústria de transformação no PIB de 21,6% em 1985 para apenas 11,9% em 2016, outros dados preocupantes dizem respeito aos indicadores ruins de inovação global e competitividade da manufatura. Outras instituições estão desenvolvendo projetos para avaliar as tecnologias que serão utilizadas no cenário da indústria 4.0, bem como definir estratégias para a digitalização possibilitar ao Brasil elevar os seus indicadores de competição e inovação global.

De acordo com CNI (2016) o foco da digitalização ainda é relacionado a melhoria do processo de produção. Apenas 1/3 das empresas que utilizam tecnologias digitais têm foco no desenvolvimento de novos produtos ou negócios. Os benefícios esperados pelas empresas dizem respeito a redução de custos operacionais e aumento de produtividade. Contudo, para a maioria das empresas o alto custo de implantação é a principal barreira interna quanto à adoção das tecnologias digitais. Em relação aos fatores externos, as indústrias destacam a falta de trabalhador qualificado, infraestrutura de telecomunicações insuficiente, dificuldade para

² Fundos Setoriais: CT-Agronegócio; CT-Aeronáutico; CT-Amazônia; CT-Aquaviário; CT-Biotecnologia; CT-Energia; CT-Espacial; CT-Hidro; CT-Info; CT-Infra; CT-Mineral; CT-Saúde; CT-Petro; CT-Transporte e CT-Verde Amarelo.

identificar tecnologias e parceiros, ausência de linhas de financiamento apropriadas e o despreparo do mercado (CNI, 2016).

A partir do ano de 2017 o IEL - Instituto Euvaldo Lodi por iniciativa da CNI iniciou o projeto denominado “Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante inovações disruptivas”, com os principais objetivos de: (i) identificar tendências e avaliar os impactos das tecnologias disruptivas sobre os principais sistemas produtivos no horizonte de cinco a dez anos; (ii) avaliar a capacidade de a indústria brasileira defletir riscos e aproveitar as oportunidades abertas pelas inovações disruptivas; e (iii) desenvolver recomendações para o planejamento estratégico das empresas e subsídios para a formulação de políticas públicas (IEL, 2018).

O relatório definiu tecnologias baseadas em seu potencial impacto disruptivo em oito clusters tecnológicos: i) inteligência artificial, big data, computação em nuvem; ii) IoT e seus respectivos sistemas e equipamentos; iii) produção inteligente e conectada (manufatura avançada); iv) redes de comunicação; v) nanotecnologias; vi) bioprocessos e biotecnologias avançadas; vii) materiais avançados e, viii) novas tecnologias de armazenamento de energia (AE). A indústria foi estratificada em dez sistemas produtivos e catorze focos setoriais específicos, conforme demonstrado no quadro 1 (IEL, 2018).

Quadro 1 - Sistemas Produtivos e Respetivos Focos Setoriais do Projeto Indústria 2027

Sistemas Produtivos	Focos Setoriais
▪ Agroindústrias	▪ Alimentos processados
▪ Insumos Básicos	▪ Siderurgia
▪ Química	▪ Bioeconomia
▪ Petróleo e Gás	▪ Exploração e produção (E&P) em águas profundas
▪ Bens de Capital (BK)	▪ Máquinas e implementos agrícolas, ▪ Máquinas e ferramentas, ▪ Motores elétricos, ▪ Equipamentos de geração, transmissão e distribuição de energia
▪ Complexo Automotivo	▪ Veículos leves
▪ Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs)	▪ Sistemas e equipamentos de telecomunicações ▪ Microeletrônica ▪ Software
▪ Farmacêutica	▪ Biofármacos
▪ Bens de Consumo	▪ Têxtil e vestuário

Fonte: (IEL, 2018, p. 28)

Além das novas tecnologias, novos rearranjos estão ocorrendo, as indústrias identificaram diversos benefícios no uso da economia circular. O que antes era jogado fora agora pode ser reaproveitado pela própria indústria, a exemplo do reaproveitamento da

biomassa ou a geração do biogás, com o intuito de produção de nanomateriais os quais poderão ser utilizados em várias aplicações industriais (FIRJAN, 2019).

De acordo com a Firjan (2019) espera-se que no Brasil 15,7 milhões postos de trabalhos sejam afetados até o ano de 2030, em razão do impacto da adoção de tecnologias relativas à Indústria 4.0. Atrelado a isso tem-se o fato de que a falta de mão de obra qualificada, ineficiência da infraestrutura de telecomunicações, dificuldade na identificação de tecnologias e parceiros, a ausência de linhas de financiamento apropriadas, atrelado a dificuldade de parcerias entre as universidades e indústrias, agravam o avanço tecnológico das indústrias brasileiras (FIRJAN, 2019).

No ano de 2018 a Confederação Nacional da Indústria – CNI, publicou um relatório sobre os investimentos das empresas em tecnologias digitais para o ano, conforme o relatório 73% das grandes empresas utilizam tecnologias da indústria 4.0 ainda que no estágio inicial de implantação (CNI, 2018). Nas empresas que transitam para a digitalização o foco é processo de produção e gestão de negócios, seguido de desenvolvimento de produto e por último o desenvolvimento de novos modelos de negócios ou produtos (CNI, 2018).

Ainda conforme o mesmo relatório da CNI (2018), houve um aumento de 10% em comparação ao ano de 2016 (CNI, 2016) no percentual de grandes empresas que utilizavam tecnologias digitais. Entre as tecnologias utilizadas pelas empresas destacam-se as seguintes nos seus respectivos focos (CNI, 2018):

- **processo de produção/gestão dos negócios:** automação digital com sensores para controle de processo, automação digital sem sensores, uso de controlador lógico programável (CLP) sem sensores, automação digital com sensores com identificação de produtos e condições operacionais, linhas flexíveis e coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data) da empresa;
- **desenvolvimento de produtos** destacam-se: sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento e manufatura de produtos e prototipagem rápida, impressão 3d e similares;
- **desenvolvimento de novos modelos de negócios ou produtos** tem-se: utilização de serviços em nuvem associados ao produto e incorporação de serviços digitais nos produtos (internet das coisas ou *product service systems*).

Por outro lado, conforme a outro dado que chama atenção na pesquisa da CNI diz respeito as empresas que ainda não utilizam tecnologias digitais. Dessas empresas, 30% não pretendem investir e apenas 7% declaram que pretendem investir em tecnologias digitais. Um grupo de 44% de empresas respondeu que pretendem investir, mas não souberam ou não quiseram responder se investirão em tecnologias digitais (CNI, 2018). Como entrave ao investimento em tecnologias digitais, a CNI (2018) destaca que aspectos regulatórios e a burocracia são os principais limitantes.

2.3 Influência do Agronegócio no Crescimento

A relação entre agricultura e crescimento é bastante discutida na literatura. A contribuição da agricultura para o crescimento pode ser explicada pela necessidade crescente de alimentos e matérias-primas em razão da elevação da industrialização e urbanização. Um setor agrícola com baixo desempenho restringe a expansão industrial ou a torna muito onerosa. Além do mais, o crescimento agrícola viabiliza um maior consumo doméstico per capita e elevação das taxas de exportações de produtos agrícolas (HWA, 1988).

A produção de alimentos por meio do agronegócio é um fator que impacta diretamente o crescimento econômico do Brasil. Com o aumento de produtividade e, conseqüentemente, elevação da exportação destes produtos, ocorre o aumento de renda e também das divisas provenientes do mercado externo. O que se configura como aumento do PIB dos países (COUTINHO *et al.*, 2005).

Para alguns autores, o crescimento da economia no geral depende, essencialmente, do desenvolvimento do setor agrícola, em especial nos países em desenvolvimento (GOLLIN; PARENTE; ROGERSON, 2002). A literatura indica que o crescimento no setor agrícola pode atuar como um indutor do crescimento, em razão dos efeitos inerentes sobre a renda do setor rural e alocação de recursos para uma economia mais industrializada (THIRTLE; LIN; PIESSE, 2003).

As contribuições da agricultura para o crescimento econômico já foram abordadas por Johnston e Mellor (1961) os quais indicaram que a agricultura se liga com os demais setores por meio dos seguintes aspectos: (i) a mão-de-obra excedente é ofertada às empresas do setor industrial; (ii) fornecimento de alimentos para consumo doméstico; (iii) provisão de mercado para a produção industrial; (iv) oferta de poupança interna para investimento industrial; e (v) fornecimento de divisas provenientes das receitas de exportação agrícola para financiar a importação de bens intermediários e de capital.

O desenvolvimento econômico é geralmente associado quando ocorre crescimento econômico de uma sociedade vinculado ao processo de acumulação de capital, por meio do progresso industrial, via expansão das manufaturas. De modo geral, as transformações na economia estão relacionadas a uma elevação do capital industrial em conjunto ao progresso dos fatores de produção. O efeito é observado na alteração dos padrões de produção e consumo, o que por sua vez ocorre uma alteração na estrutura produtiva, traduzida como desenvolvimento (BESSA, 2017).

A estrutura dos recursos produtivos³ e da indústria é o ponto-chave de uma economia em crescimento. A partir dessa estrutura é possível assimilar os impactos dos avanços tecnológicos, da elevação da renda per capita relacionados aos setores produtivos (KUZNETS, 1983).

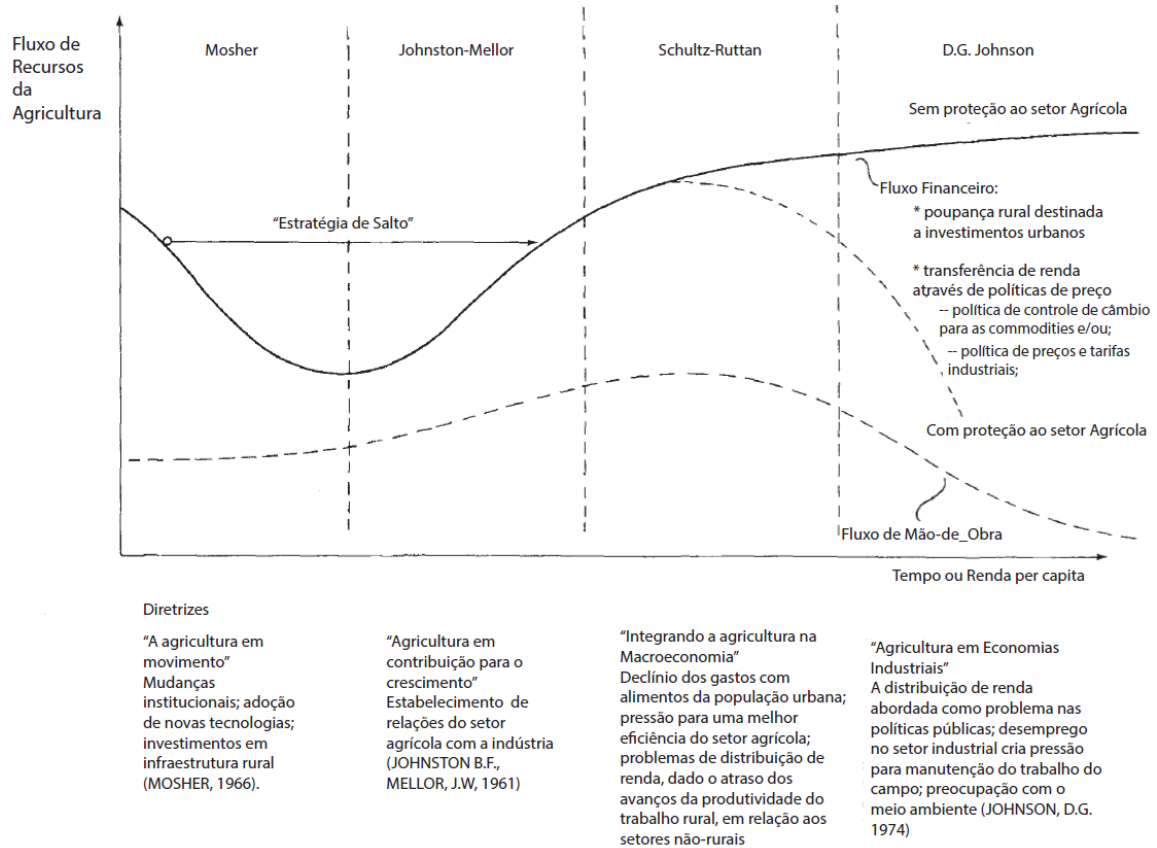
O desenvolvimento de uma economia ocorre quando há um processo de mudança estrutural da produção, ou seja, há uma diminuição do setor agrário aliado com um crescimento do setor manufatureiro na composição do valor agregado da produção, impulsionados pelas diferenças de produtividade entre os setores (BESSA, 2017). Krüger (2008), por sua vez, incorpora o setor terciário na análise de mudança estrutural e nomeia este processo de “hipótese dos três setores”. Essa hipótese consiste na ideia de que a economia para se desenvolver depende inicialmente do setor primário. Com a industrialização, o setor secundário tem mais relevância, enquanto o setor terciário se mantém constante. Por último há uma transferência de emprego e produtos dos setores primários e secundários ao setor terciário. Ou seja, ao final do processo de desenvolvimento é alocado a maior parte do emprego e produção gerada pela economia ao setor terciário (BESSA, 2017).

Embora não haja um consenso entre os autores sobre a mobilidade do emprego e da produção entre os setores da economia, Timmer (1988) elabora uma relação entre os estágios do desenvolvimento econômico com a evolução das ideias do desenvolvimento agrícola, conforme figura 3. Consoante o autor, a agricultura praticada nos países nos estágios iniciais do desenvolvimento (ou nos países subdesenvolvidos) tem características e funções distintas daquelas apresentadas por países com um setor industrial consolidado (desenvolvido). Por exemplo, na fase inicial do desenvolvimento, denominada “Moshier”, é caracterizada por ser

³ Estrutura consiste na configuração dos setores produtivos da economia, ou seja, agricultura, indústria e serviços, em termos de produção e uso dos fatores. Enquanto o crescimento do setor industrial é base para mudança estrutural (SYRQUIN, 1988).

uma economia pequena, na qual a fonte de recursos é proveniente essencialmente da agricultura (a manufatura neste estágio é inexpressiva).

Figura 3 – Transferência de recursos da agricultura, e suas etapas de desenvolvimento



Fonte: Adaptado de Timmer (1988) apud Bessa (2017)

Em sequência, tem-se uma fase marcada por ser o início do processo de desenvolvimento econômico, na qual a agricultura se consolida como um setor fornecedor de recursos, denominada fase "*Johnston-Mellor*". Para que ocorra a mudança para a fase "*Schultz-Ruttan*" do desenvolvimento agrícola é necessário que o setor agrícola se modernize e aumente a sua produtividade, pois em outro cenário que não seja a transformação do processo produtivo, a agricultura não consegue contribuir para o processo de desenvolvimento como um todo (SCHULTZ, 1964).

A última fase do desenvolvimento da agricultura ocorre em países que já alcançaram um alto grau de desenvolvimento. O percentual da força de trabalho do setor agrícola é uma pequena parcela da força de trabalho de todos os setores da economia. A partir disso, não há mais transferência de mão de obra do setor aos demais setores, e tecnicamente, existe uma agricultura avançada e dependente de insumos não-agrícolas (BESSA, 2017).

O desenvolvimento do agronegócio ocorre com o aumento da produtividade dos fatores de produção, pelo crescimento do uso de insumos industrializados, e pela mecanização do campo, acarretando redução da utilização de força de trabalho rural. A redução de oportunidades de empregos, juntamente com a ociosidade de mão de obra, faz com que ocorra a transferência dessa mão de obra para os demais setores da economia, gerando uma mudança na estrutura de emprego do campo (BOEHLJE, 1999). Ressalta-se ainda o valor adicionado que o produto agrícola possibilita aos demais setores, como, por exemplo, o processamento pelas agroindústrias e pelas etapas de armazenamento e distribuição, até seu consumo final, o que também acarreta uma mudança na estrutura de produção da mercadora agrícola (FURTUOSO, 1998).

A dinâmica da agroindústria passou a influenciar o desenvolvimento da agricultura, pois as atividades agrícolas integraram-se profundamente na matriz de relações industriais (KAGEYAMA et al., 1996). A dinâmica produtiva entre agricultura e agroindústria, composta pela indústria de insumos agropecuários e das processadoras, é o que se denomina de agronegócio (ARAÚJO, M. J., 2022). Enquanto a economia se desenvolve, o agronegócio passa por transformações produtivas, que modificam sua relação com os outros segmentos da economia.

Nos países em estágios iniciais de desenvolvimento, gerar condições necessárias para criação e/ou progresso da indústria manufatureira, a exemplo de uma rede de comunicação e transportes, a formação e expansão da indústria insumos básicos (ferro, fertilizantes, entre outros) e de instituições de pesquisa e financeiras, requer um excesso de recursos para obtê-los, que nem sempre é disponível para estes países.

A agricultura tem potencial para desempenhar um papel significativo na promoção do crescimento econômico e na redução da pobreza. Mas atingir essas metas requer uma compreensão mais sutil das ligações entre a agricultura e desenvolvimento. No trabalho de Hårsmar (2022) o qual analisa a relação entre a agricultura e crescimento econômico em países da África e da Ásia, o autor destaca alguns aspectos que devem ser observados para promover o desenvolvimento agrícola e reduzir a pobreza. Entre essas políticas destaca-se o investimento em pesquisa e desenvolvimento agrícola, melhoria de acesso a financiamento e crédito para pequenos agricultores e promoção de cadeias de valor.

Alemu (2015) indica que a agricultura tem um impacto positivo no crescimento econômico e, que o valor adicionado oriundo da agricultura e as exportações são os indicadores mais importantes do desempenho agrícola na promoção do crescimento econômico. O autore

argumenta que políticas destinadas a promover a produtividade agrícola e o acesso ao crédito para os agricultores podem ajudar a impulsionar o crescimento econômico da região.

Embora a agricultura seja uma atividade predominantemente privada que ocorre no nível micro, o sucesso dos agricultores individuais é condicionado por vários fatores. O crescimento agrícola, e seus potenciais benefícios, depende do ambiente econômico e político, da transferência de tecnologia e um mercado desenvolvido. De acordo com Till (2022) são identificados quatro impulsionadores da agricultura: o mercado, a dinâmica populacional, disponibilidade de tecnologia e o estado.

2.4 Tecnologia Agrícola e Crescimento

Nesta seção são apresentados os trabalhos mais recentes relativos à tecnologia aplicada ao agronegócio e seus impactos no crescimento das regiões. Adicionalmente são discutidos os principais incentivos e fatores para a adoção de novas tecnologias no setor. Por fim, são elencadas algumas das principais tecnologias aplicadas na agricultura digital.

2.4.1 Tecnologia Agrícola

Conforme a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (2019) existem condições mínimas para o uso da tecnologia na agricultura, por exemplo, disponibilidade, conectividade, acessibilidade, tecnologia da informação e comunicação na educação e políticas e programas de apoio para estratégias digitais. Além de condições que facilitem a adoção de novas tecnologias, por exemplo, a utilização de internet, smartphones, mídias sociais, habilidades digitais, apoio a uma cultura de agroempreendedorismo e inovação no setor.

Em termos de tecnologia existem diversos avanços já aplicados no campo. No Reino Unido, por exemplo, foi desenvolvida uma colheitadeira de morangos que pode colher a fruta mais rápido que os humanos. Um robô com visão estereoscópica com câmeras RGB para capturar a profundidade do fruto, permite a colheita de um morango a cada dois segundos. No Colorado já existem dispositivos inteligentes, tais como robôs e drones, que permitem aos agricultores reduzirem o uso de agroquímicos. Estes dispositivos identificam as possíveis manchas das culturas mais cedo, permitindo assim a aplicação precisa de produtos químicos ou a remoção de pragas. Na Alemanha, um robô pode medir diversos indicadores de qualidade do solo usando vários sensores e módulos, incluindo um sensor de umidade e um penetrômetro,

usado para avaliar a compactação do solo. O robô pode coletar uma amostra de solo, liquidificá-la e analisá-la para mapear com precisão em tempo real características como pH e níveis de fósforo (KING, 2017).

2.4.2 Digitalização na Agricultura

A combinação de conhecimentos para geração de uma nova ideia pode ser considerada o cerne da inovação. Essa ideia influencia mudanças no meio tecnológico e influenciam o setor produtivo na totalidade. Inovação é considerada um relevante instrumento de desenvolvimento e crescimento da economia de uma região. Ressalta-se que avanços na inovação são considerados fatores estratégicos para o desenvolvimento sustentável, inserindo-a como um eixo central nas estratégias de crescimento econômico e social (SILVA NETO; REIS FILHO, 2019).

O desenvolvimento tecnológico faz cada vez mais com que a capacidade competitiva das firmas esteja fundada em conhecimento. As mudanças nos processos produtivos atualmente ocorrem de forma acelerada e conseqüentemente reduzindo o ciclo de vida dos produtos (SANTOS, 2011).

As aplicações presentes no âmbito da digitalização agrícola podem melhorar o processo de gerenciamento da fazenda, oferecendo aos agricultores informações críticas que ampliam a capacidade de tomada de decisão. Por meio de dados coletados por sensores, veículos aéreos não tripulados e satélites é possível otimizar a capacidade dos agricultores de lidar com as flutuações climáticas. Os sensores de solo, por sua vez, orientam efetivamente as decisões de irrigação e fertilização. Os sistemas robóticos agrícolas podem levar a ganhos de produtividade notáveis, reduzindo o custo da mão de obra e melhorando a qualidade dos produtos agrícolas. Com a utilização de modelos preditivos é possível identificar problemas, identificar relações de causa e efeito e tomar melhores decisões de planejamento (NEWTON; NETTLE; PRYCE, 2020).

A utilização de ferramentas digitais permite aos agricultores poupar tempo e despende menos esforço nas várias tarefas de gestão da produção, melhorando em último caso as suas condições de trabalho (ADEGBOLA; FISHER; HODGES, 2019; GOEL *et al.*, 2021; JOHNSON; SANTOSH KUMAR; DHANNIA, 2020; SPARROW; HOWARD, 2021).

De acordo com Lioutas, Charatsari e Rosa (2021) a transição do atual modelo de produção agrícola para a digitalização agrícola é acompanhada por riscos consideráveis. O autor

identifica três grandes categorias de riscos ou ameaças associadas à digitalização agrícola. O quadro 2 a seguir resume os potenciais impactos positivos e negativos da digitalização agrícola.

Quadro 2 - Potenciais impactos positivos e negativos da digitalização agrícola

Potenciais impactos positivos da digitalização agrícola.	
Modelo	Categorias
Na fazenda	Melhoria da capacidade de tomada de decisão dos agricultores Facilitação da gestão “inteligente” da fazenda Melhoria da eficiência da fazenda Aumento da produção Redução de custos Economia de tempo Melhoria da qualidade dos produtos
Além da fazenda	Aumento da produção global de alimentos Melhoria das dietas através da melhoria da qualidade dos produtos Redução da poluição ambiental
Potenciais impactos negativos da digitalização agrícola.	
Sócio ético e político	Concentração de poder nas principais AG-Techs Criação de elites Privacidade e propriedade dos dados agrícolas Divisões entre agricultores de pequena e grande escala, países em desenvolvimento e desenvolvidos, áreas remotas e centrais Capacidade limitada de trabalhadores agrícolas pouco qualificados para se adaptar ao novo condições
Ecológico	Especialização agrícola que pode levar a: - redução da biodiversidade, - perda de culturas tradicionais, - degradação dos recursos agrícolas
Cultural	O desprendimento dos agricultores da cultura agrícola tradicional A tecnificação da agricultura

Fonte: Adaptado de [Lioutas, Charatsari e Rosa \(2021\)](#)

A primeira categoria inclui os riscos socioéticos, por exemplo, o desequilíbrio entre os agricultores e os atores que possuem a tecnologia e acesso aos dados e questões em torno da privacidade e propriedade dos dados da propriedade. A digitalização da agricultura pode gerar ou expandir as divisões entre os que influenciam os sistemas digitais para a agricultura e aqueles que não têm controle sobre essas tecnologias.

A segunda categoria diz respeito a divisão que a digitalização pode criar ou ampliar entre os países em desenvolvimento e desenvolvidos. O autor argumenta que existem diferenças consideráveis na infraestrutura necessária para a utilização das tecnologias entre os países, a exemplo da cobertura de internet e utilização de máquinas agrícolas. Além da exclusão territorial (conectividade com áreas rurais remotas) pode criar divisões em um mesmo país. O

tamanho da propriedade levanta questões sobre a capacidade dos pequenos produtores seguirem o novo paradigma da digitalização.

A digitalização da agricultura pode colocar em risco a cultura da fazenda e a identidade das diferentes agriculturas. A digitalização pode desconectar os agricultores de suas práticas e conhecimentos antigos.

Para evitar os aspectos negativos da digitalização da agricultura devem ser discutidos, pela academia e pelos formuladores de políticas públicas, os seguintes pontos: i) garantir que a digitalização agrícola tenha benefícios para toda a sociedade; ii) prevenir os impactos negativos da digitalização e, iii) garantir a inclusão e a “digitalização ética” por meio de ações políticas (LIOUTAS; CHARATSARI; ROSA, 2021).

De acordo com Leal e Figueiredo (2021) o Brasil precisa acelerar o seu desenvolvimento tecnológico e conseqüentemente aumentar a sua taxa de inovação para agregar valor à produção nacional. Os autores ressaltam que o país paga um alto preço pelo seu atraso tecnológico, pois em termos econômicos o Brasil é um exportador de produtos com baixo valor agregado (*commodities*).

No trabalho de Ruzzante, Labarta e Bilton (2021) os autores buscaram identificar os principais determinantes da adoção de tecnologia, concentrando-se em três categorias principais: características do agricultor, características da fazenda e características da tecnologia. Para os autores, uma série de fatores influenciam a adoção, dentre elas *status* socioeconômico, nível educacional, acesso a crédito, serviços de extensão e cadeias de suprimentos de insumos. Destacam, como um fator crítico no processo de adoção, a compatibilidade das novas tecnologias com as práticas agrícolas existentes.

Em termos da digitalização da agricultura, Abbasi, Martinez e Ahmad (2022) sintetizam os benefícios que podem motivar a digitalização da indústria agrícola. Estes benefícios têm potencial para maximizar a produtividade da fazenda e estão descritos a seguir:

- a) Maior agilidade: as tecnologias digitais melhoram a agilidade das operações agrícolas;
- b) Processo verde: as tecnologias digitais tornam o processo agrícola mais ecológico e resiliente ao clima, reduzindo significativamente o uso de combustível no campo, fertilizantes nitrogenados, pesticidas e herbicidas;
- c) Eficiência no uso de recursos: as plataformas digitais podem melhorar a eficiência no uso de recursos, aumentando a quantidade e a qualidade da produção agrícola e limitando o uso de água, energia, fertilizantes e pesticidas;
- d) Economia de tempo e custos: as tecnologias digitais permitem economias significativas de tempo e custos, automatizando diferentes operações, como colheita, semeadura ou

- irrigação, controlando a aplicação de fertilizantes ou pesticidas e programando a irrigação;
- e) Gerenciamento de ativos: as tecnologias digitais permitem a vigilância em tempo real das propriedades e equipamentos da fazenda para evitar roubos, agilizar a substituição de componentes e realizar manutenções de rotina e;
 - f) Segurança do produto: as tecnologias digitais garantem uma produtividade agrícola adequada e garantem um fornecimento seguro e nutritivo de produtos agroalimentares, evitando fraudes relacionadas à adulteração, falsificação e aprimoramento artificial.

2.4.3 Agricultura 4.0

Embora o setor agrícola já atue em inovação digital há algumas décadas, com os avanços na agricultura de precisão, sensoriamento remoto, sistemas de informação de gerenciamento de fazendas ou apoio a decisão com foco no agronegócio, as recentes tecnologias consideradas no âmbito da indústria 4.0 (*Cloud computing, IoT, Big Data, BlockChain, Robótica e Inteligência Artificial*) começam a ser inseridas no contexto da agricultura de forma a integrar os sistemas que antes eram isolados de forma a se tornarem sistemas conectados e inteligentes. Essas tecnologias poderão ser aplicadas de forma a tornar cada processo agrícola completamente integrado na cadeia alimentar (LEZOUCHE *et al.*, 2020).

A agricultura inteligente “*smart agriculture*” integra diversas tecnologias, tais como economia de água (O’CONNOR; MEHTA, 2016), conservação do solo e eficiência energética (LI *et al.*, 2002) e incrementos de produtividade com qualidade e sustentabilidade (MAYER *et al.*, 2015).

Com a introdução das modernas tecnologias digitais, por exemplo, a utilização de métodos computacionais de alto desempenho, comunicação máquina a máquina (M2M), redes de sensores, conectividade entre dispositivos móveis, automação e robótica agrícola, computação em nuvem e técnicas de big data e Internet das Coisas (IoT). Estas tecnologias em conjunto com inteligência artificial e em alguns cenários o aprendizado de máquina, podem possibilitar aos produtores uma melhoria na gestão de suas fazendas de um modo geral, aliando ainda a oportunidade de uma melhor decisão na utilização de máquinas, sementes, fertilizantes, eliminação de doenças ou pragas e ainda gerenciamento de água. Todo esse conjunto de tecnologias aplicadas na agricultura é denominada até o momento de Agricultura 4.0 (ALCANTARA *et al.*, 2021).

Do ponto de vista do desenvolvimento agrícola, o foco da digitalização da agricultura corresponde ao aumento da produtividade e competitividade por intermédio das mais modernas tecnologias disponíveis na atualidade. O desenvolvimento atual da produção agrícola pode contribuir com a redução dos impactos negativos da agricultura, tornando a cadeia produtiva mais sustentável (ALCANTARA *et al.*, 2021).

O desenvolvimento da produção agrícola pode ser dividido em quatro etapas bem distintas, conforme demonstrado por Rapela (2019). O quadro 3 apresenta os principais componentes e diferenças do que seria considerado a agricultura 1.0 e 2.0 da agricultura 3.0. Enquanto o quadro 4 apresenta as diferenças entre os componentes produtivos relacionados à agricultura 1.0 e 2.0 da agricultura 3.0.

Quadro 3 - Componentes principais da Agricultura 1.0 e 2.0 x Agricultura 3.0

Agricultura 1.0 e 2.0	Agricultura 3.0
Recursos Humanos	Capital humano
Maquinário	Informação
Físico	Trabalho intelectual
Força física	Inteligência emocional
Real e factual	Simbólico
O que produzimos	Como produzimos
Coisas	Conceitos

Fonte: Rapela (2019, p. 9).

A agricultura 1.0 segue até a década de 50, e era caracterizada por uma intensidade energética relativamente baixa, baixa produtividade, trabalho braçal intensivo e terras extensas. A agricultura acrescenta o uso da força animal nesta etapa. Devido à baixa disponibilidade tecnológica, as ferramentas manuais foram amplamente utilizadas tanto no preparo da terra para o plantio, quanto para a colheita. As ferramentas mais utilizadas foram a enxada, o arado manual e a foice (GIANEZINI *et al.*, 2014).

A agricultura 2.0 tem início na década de 60 com a utilização de energia fóssil, químicos, maquinários e fertilizantes, resultando em um aumento significativo de produtividade (Rapela, 2019), permitindo inclusive a expansão do cultivo da soja para o cerrado brasileiro (VIEIRA FILHO; FISHLOW, 2017). Outros fatores que marcaram a agricultura 2.0 foram a utilização de máquinas agrícolas para o preparo do solo, plantio, cultivo e colheita. Os tratores devido a sua versatilidade passaram a ser utilizados em larga escala (GIANEZINI *et al.*, 2014).

Quadro 4 - Componentes produtivos relacionados à Agricultura 1.0 e 2.0 x Agricultura 3.0

Agricultura 1.0 e 2.0	Agricultura 3.0
Trabalho mecânico	Trabalho criativo
Estabelecido e regulamentado	Experimentando
Organizações rígidas e hierárquicas	Organizações flexíveis e horizontais
Autarquia	Inter-relacionado e aberto
Decisões de cima para baixo	Decisões de cima para baixo e de baixo para cima
Decisões reativas	Decisões proativas
Dinâmica linear	Dinâmica não linear
Medo do desconhecido	Aceitando o desafio
Risco controlado	Incerteza básica

Fonte: Rapela (2019, p. 10)

A agricultura 3.0, se desenvolveu do século XX até o início do século XXI, sua característica é marcada pelo grande desenvolvimento do conhecimento em diversas áreas convergentes com a agricultura, desde a biologia até engenharia em diversas especificidades. Contribuindo para o desenvolvimento de estratégias produtivas combinaram as demandas por maior produtividade, eficiência e sustentabilidade, ou seja, o foco particular da Agricultura 3.0 se buscou o equilíbrio entre alta produtividade agrícola e melhor desempenho ambiental (Rapela, 2019).

Por fim, o quadro 5, a seguir, apresenta as diferenças principais entre os componentes da agricultura atual em relação à digitalização da agricultura, chamada de agricultura 4.0.

Quadro 5 - Componentes principais da Agricultura 3.0 x Agricultura 4.0

Agricultura 3.0	Agricultura 4.0
Privado	Público
Empresas	Universidades
Conhecimento monopolista	Democratização do conhecimento
Alterações genéticas invasivas	Alterações genéticas precisas
Alterações genéticas estocásticas	Alterações genéticas endereçadas ao local
Acesso físico ao recurso	Acesso a informação
Regulamentado	Não regulamentado
Licenças exclusivas de patentes sobre técnicas	Licenças não exclusivas e acessíveis, se a técnica for patenteada
Patentes sobre produtos	Em muitos casos, fora do âmbito da proteção de patentes
Muito difícil tecnicamente	Muito fácil tecnicamente
Muito caro	Acessível a barato
Lento	Rápido
Transgênico	Não transgênico
Detectável	Indetectável
Aplicável a culturas de alta margem	Para todas as culturas

Fonte: Rapela (2019, p. 11)

A inovação aplicada ao agronegócio é considerada altamente dinâmica, em rápida evolução e aplicada às mais diversas áreas ligadas a agricultura, denominada também como “agricultura inteligente” (RAPELA, 2019).

As novas tecnologias permitem ao produtor uma visão clara do negócio, tendo como base os dados coletados e processados pelos dispositivos inteligentes (ZHAI et al., 2020). Os mesmos autores elencam ainda quatro requisitos principais para a necessidade de avanço à agricultura digital, os quais dizem respeito especialmente a mudanças sociais, econômicas e de espaço e podem ser sintetizadas conforme discriminado a seguir (ZHAI et al., 2020):

- i. **Aumento da produtividade:** O crescimento da população aliada à escassez de alimentos irá aumentar a demanda por produtos agrícolas. Nos últimos anos houve um aumento na proteína animal de alto valor, indicando uma alteração nos hábitos alimentares das pessoas. Por fim, com o desenvolvimento da urbanização, as infraestruturas e construções reduziram as terras agrícolas cultiváveis (YUAN et al., 2018).
- ii. **Racionalidade no uso dos recursos:** A redução das terras utilizadas para cultivo aliado ao desmatamento, corte excessivo da vegetação e períodos de pousio do solo em inadequados (UDIAS et al., 2018) em conjunto com a utilização dos recursos hídricos de forma irracional (DONG et al., 2018) provocam estresse nos recursos naturais, causando ainda sérios problemas ambientais.
- iii. **Adaptação às mudanças climáticas:** As mudanças climáticas possuem o potencial de afetar o meio ambiente, e um dos principais fatores que levam às mudanças climáticas são as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Os efeitos adversos das mudanças climáticas resultam em ocorrências de secas, inundações e condições climáticas extremas (CZIMBER; GÁLOS, 2016). As produções agrícolas são especialmente vulneráveis e sensíveis aos impactos das mudanças climáticas (KMOCH et al., 2018). É necessária uma adaptação às mudanças climáticas com vistas a reduzir a incerteza sobre a qualidade, acessibilidade e utilização dos alimentos.
- iv. **Reduzir o desperdício de alimentos:** O desperdício de alimentos é um processo que existe em cada estágio do ciclo agrícola, desde a produção, transporte, entrega, comercialização, etc. O uso excessivo de produtos químicos, falta de manejo de pragas e falta de adaptações às mudanças climáticas, podem causar desperdícios aos produtos agrícolas, pois pode existir contaminação ou perda de qualidade (VAN EVERT et al.,

2017) causando desperdício de alimentos e danos às terras agrícolas. A entrega de alimentos é um processo sensível ao tempo. Tomadas de decisões inadequadas, em relação ao processo de entregas, podem causar desperdício de alimentos, o que, por sua vez, é prejudicial ao meio ambiente. O processo de reciclagem e processamento de alimentos desperdiçados tendem a consumir mais recursos do que produzir novos (POURMOAYED; NIELSEN; KRISTENSEN, 2016).

2.4.4 Tecnologias Críticas para a Agricultura 4.0

Dentre as diversas tecnologias existentes que hoje são utilizadas nas indústrias inteligentes, algumas serão indispensáveis para a modernização da agricultura e adoção da agricultura inteligente.

Internet das Coisas (IoT)

O potencial de utilização em várias aplicações é enorme, a IoT consegue conectar não apenas indivíduos, mas também dispositivos em uma rede de internet. A IoT pode ser considerada uma extensão da Internet atual, permitindo que os usuários controlem dispositivos remotamente. De um modo geral a conexão entre diferentes dispositivos à mesma rede potencializa o surgimento de novos aplicativos, cada vez mais personalizados de acordo com a necessidade (ALBIERO *et al.*, 2020).

Com a utilização de sensores sem fios a agricultura passou a utilizar no monitoramento do ambiente. Por exemplo, a aplicação dos sensores para medir grandezas físicas e parâmetros como umidade do solo, temperatura ambiente, luminosidade, quantidade de determinado nutriente nas soluções de irrigação, cor dos objetos, ponto de maturação dos frutos, detecção de pragas e doenças, velocidade da máquina e georreferenciamento de coordenadas (DAGAR; SOM; KHATRI, 2018; MAHESWARI *et al.*, 2019).

Big Data

Os dados e informações utilizadas na agricultura inteligente são derivadas das conexões existentes entre os diversos sistemas que operam em tempo real a partir do uso de IoT, computação em nuvem e entre outras tecnologias que por sua vez se conectam ao longo das etapas do processo produtivo. Essas informações abrangem desde os dados coletados da

cultura em si (plantação, colheita, etc.), bem como dados sobre mercado, fornecedores, consumidores finais e clientes (LI; NIU, 2020).

Esses volumes enormes de dados gerados no processo resultam um banco de dados grande, complexo e heterogêneo. Com isso as ferramentas computacionais tradicionais não conseguem realizar o processamento e gerenciamento das informações, o que por sua vez exige algoritmos específicos e complexos para auxiliar na análise dos dados (RAUTENBERG; CARMO, 2019). Big data se torna um dos pilares da agricultura digital, permitindo a coleta, análise e disseminação dos dados. Dessa forma, a tomada de decisão, pelos produtores, com base em dados processados por meio do Big Data, pode possibilitar um aumento de produtividade a taxas até então não observadas (POSADAS; GILBERT, 2020).

A mineração de dados aplicada em Big Data tem a função de realizar o processamento dos dados em busca de anomalias, padrões e correlações com foco na previsão de resultados e tendências confiáveis que subsidiem decisões. Como exemplo dessa aplicação, a mineração pode aumentar a receita, reduzir os custos operacionais e ainda melhorar a cadeia produtiva (LI; NIU, 2020). Na agricultura a tecnologia possibilita a análise crítica de informações em todas as etapas da cadeia produtiva. Em termos de aplicabilidade é possível otimizar o monitoramento, compreensão e principalmente prever diversos atributos da cadeia produtiva agrícola para auxiliar o agricultor na tomada de decisão (MEGETO *et al.*, 2020).

No trabalho de Krasnov *et al.*, (2019), com a aplicação da tecnologia de big data, foi realizado um estudo sobre a dinâmica espaço-temporal da mosca-do-mediterrâneo. Os resultados forneceram uma melhor compreensão das variáveis que afetam a distribuição da mosca do mediterrâneo e com isso podem levar a recomendações sobre o manejo de pragas.

Conectividade e computação em nuvem

Conectividade e computação em nuvem estão interligados no contexto da Agricultura 4.0, a digitalização da agricultura necessita que os dispositivos que operam dentro de uma fazenda devem estar conectados por meio de redes inteligentes e de forma ininterrupta para que os sistemas de computação em nuvem participem do processo de avaliação, diagnóstico e decisão sobre ações e intervenções em campo (FIELKE; TAYLOR; JAKKU, 2020).

No âmbito da agricultura 4.0 os serviços de computação em nuvem fornecem uma grande quantidade de soluções – armazenamento de dados, poder computacional e ferramentas de análise de dados – com alta escalabilidade e flexibilidade, permitindo assim a extração de

significado dos dados coletados e aplicação dos insights para mudar a tomada de decisão processo na agricultura (SIMIONATO *et al.*, 2020).

Os dados gerados no campo por meio de dispositivos ligados à IoT devem chegar à nuvem através de tecnologias de telecomunicações adequadas. Uma vez na nuvem, os dados de entrada são combinados com sistemas inteligentes capazes de prever situações, como manutenção de máquinas. A conectividade e computação em nuvem unem outras tecnologias que podem melhorar o processo de produção na agricultura, tais como inteligência artificial, IoT e análise de dados. Essas tecnologias, empregadas com sucesso em outros domínios, deve possibilitar uma grande inovação na agricultura e o surgimento de novos negócios (SIMIONATO *et al.*, 2020).

Inteligência artificial (IA)

A utilização de IA na agricultura possui várias aplicações desde a produção, monitoramento, processamento e comercialização. Sistemas computacionais podem ser projetados para detectar doenças, determinar o rendimento da lavoura e permitir irrigação e pulverização automáticas, reduzindo assim a carga de trabalho dos agricultores. O uso de vários sensores e robôs, a maioria dos quais integrados a drones, podem realizar processos de mapeamento, alguns equipados com atuadores que possibilitam funções como ações de irrigação (ALBIERO *et al.*, 2020).

As tecnologias baseadas em IA possibilitam melhoraria de eficiência em todos os campos e também gerenciam os desafios enfrentados por vários setores, incluindo os vários campos do setor agrícola, irrigação, detecção de conteúdo do solo, monitoramento de culturas, capina, lavouras (KIM; EVANS; IVERSEN, 2008).

Um exemplo de aplicação é o reconhecimento de doenças de plantas por meio de imagens capturadas por meio de smartphone, o trabalho de Johannes *et al.*, (2017), por exemplo, aborda esta temática para a cultura do trigo. Os trabalhos de Mohanty, Hughes e Salathé (2016) e Ferentinos (2018) abordam a detecção de doenças ou pragas, por meio de imagens, com taxas de sucessos superiores a 90%.

No que tange ao uso de robôs no campo (*agrobots*), algumas máquinas agrícolas já possuem um nível de automação muito alto, incluindo máquinas que não precisam de motorista (KAYACAN *et al.*, 2015).

2.5 Indicadores

É sabido que o desenvolvimento e a difusão de novas tecnologias são fatores-chave para o crescimento econômico e da produtividade. As informações que permitam entender sua geração, difusão e incorporação pelo processo produtivo são de fundamental importância para o desenho, implementação e avaliação de políticas voltadas para a sua promoção e definição de estratégias privadas. Iniciativas mais fundamentadas de mensuração de inovação tecnológica surgiram a partir da última década do século XX, quando os governos têm se tornado mais ativos em utilizar a inovação para fomentar sua performance econômica e competitividade. Os gestores que precisam alocar recursos públicos em institutos de pesquisa ou em projetos estão constantemente buscando ferramentas para avaliar ou mensurar a qualidade e o potencial de pesquisadores individuais, grupos de pesquisadores e instituições, associados a valores sociais e econômicos e atividades inventivas e inovativas, em geral (LINS, 2003).

Em relação à mensuração, os indicadores contribuem para acompanhar o progresso, identificar áreas de melhoria e auxílio em tomadas de decisão. Existem diversos conceitos de indicadores a International Standart Organization (ISO), por exemplo, estabelece que indicadores são "*expressão (numérica, simbólica ou verbal) empregada para caracterizar as atividades (eventos, objetos, pessoas), em termos quantitativos e qualitativos, com o objetivo de determinar o valor*" (ISO, 1998, p.3). O Banco Internacional de Desenvolvimento (BID) (1997) conceitua indicador como a "*especificação quantitativa e qualitativa para medir o atingimento de um objetivo. Expressão numérica de um objetivo*". A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE, em uma definição específica que:

Em termos gerais, um indicador é uma medida quantitativa ou qualitativa derivada de uma série de fatos observados que podem revelar posições relativas (por exemplo, de um país) em uma determinada área. Quando avaliado em intervalos regulares, um indicador pode apontar a direção da mudança em diferentes unidades e ao longo do tempo. No contexto da análise de políticas, os indicadores são úteis para identificar tendências e chamar a atenção para questões específicas. Eles também podem ser úteis na definição de prioridades políticas e no benchmarking ou monitoramento desempenho. Um indicador composto é formado quando indicadores individuais são compilados em um único índice com base em um modelo subjacente. O indicador composto deve, idealmente, medir conceitos multidimensionais que não podem ser capturados por um único indicador, por ex. competitividade, industrialização, sustentabilidade, integração do mercado único, sociedade baseada no conhecimento, etc. (OECD, 2008).

De acordo com Rozados (2004) existe uma tendência para que os indicadores sejam regionais, ou seja, que correspondam a uma região de um país ou vários países de uma região,

como nos casos dos países da União Europeia e dos latino-americanos. A autora ainda destaca que os indicadores, sempre que possível, atendam as seguintes condições: generalidade, temporalidade e a comparabilidade. Atendida essas condições o conjunto de indicadores poderá cumprir a função de avaliação.

Melo e Parré (2007) argumentam que a implementação do modelo produtivista na agricultura brasileira provocou importantes alterações no espaço rural, afetando o seu desenvolvimento. O setor agrícola sofreu mudanças significativas na sua estrutura produtiva, com reflexos econômicos e sociais relevantes no meio rural. Diante disso, os autores mensuraram um índice de desenvolvimento rural aplicado aos municípios paranaenses. De acordo com os resultados do trabalho, foi identificado que à época, mais da metade dos municípios se encontravam nos níveis baixo, muito baixo e muitíssimo baixo de desenvolvimento rural. Seguindo proposta semelhante, Santos (2016) realizou a aplicação de um índice de desenvolvimento aplicado ao meio rural para as regiões de integração do estado do Pará.

Embora já existam alguns trabalhos sobre índice de desenvolvimento, Abreu, Nunes e Mesias (2019) afirmam que poucos deles são aplicados ao meio rural. Devido à crescente importância dada às áreas rurais, a multifuncionalidade da agricultura e as suas externalidades positivas, podem ser o gatilho para o desenvolvimento do setor de uma forma mais sustentável. Os autores ainda argumentam que a falta de medida de desenvolvimento dificulta o processo de avaliação do impacto das políticas públicas aplicadas. Por fim, os autores elaboram um índice de desenvolvimento rural, baseado em quatro pilares: população, social, econômico e meio ambiente. Ao fim aplicaram a 15 municípios de Portugal, os resultados contribuíram para identificar as dimensões que poderiam ser melhor atendidas por políticas públicas.

Em se tratando especificamente da modernização do setor agrícola, trabalhos anteriores já estudaram a temática no Brasil. A exemplo de Hoffman (1986), que determinou o grau de modernização agrícola de 157 microrregiões brasileiras. Ferreira Júnior e Baptista (2004), avaliaram a modernização das microrregiões do estado de Minas Gerais e o de Souza e Lima (2003) analisaram a intensidade e a dinâmica da modernização agrícola no Brasil. Para Lobão e Staduto (2020, p. 15) a “modernização agrícola é um processo que tem se expandido em todo o território nacional, especialmente na região Centro-Oeste, com viés de avanço em direção ao norte brasileiro”.

O trabalho de Silva e Fernandes (2005) aborda a determinação do grau de modernização agrícola para os municípios da região norte do Brasil. Por meio da construção de um indicador baseado na análise fatorial por componentes principais e utilizando variáveis

ligadas a progresso econômico, tecnológico e social, tais como utilização de tratores, irrigação, investimentos, financiamentos, etc. Os resultados do trabalho indicaram uma modernização agrícola heterogênea, os estados de Amazonas e Amapá apresentaram os melhores índices de modernização enquanto Tocantins e Roraima, obtiveram os piores valores. Os dados utilizados por Silva e Fernandes (2005) são relativos ao Censo Agropecuário 1998/1996, o que se encontra bastante defasado em termos do atual cenário agrícola brasileiro. Trabalho similar também foi realizado por Lobão e Staduto (2020) contudo apenas com dados relativos ao censo agropecuário de 2006. A principal limitação de ambos os trabalhos se reside no fato de que eles se baseiam apenas na abordagem de fatores, utilizando a técnica de análise fatorial.

3. METODOLOGIA

A metodologia proposta para alcançar o objetivo de desenvolver um modelo de indicadores de avanço tecnológico para demonstrar que o aumento da inovação no agronegócio contribui para o aumento da produtividade e para o crescimento econômico de uma região, se estrutura em duas macro-etapas:

- a) identificar a relevância do agronegócio para o crescimento de uma região e
- b) desenvolver o Índice Tecnológico do Agronegócio (ITA).

A conclusão da primeira macro-etapa permitirá atingir o primeiro objetivo específico, que consiste em demonstrar por meio de modelo econométrico o impacto do agronegócio e sua contribuição para o crescimento econômico de uma região.

O desenvolvimento e aplicação do índice tecnológico do agronegócio para o estado do Tocantins permitirá atingir o segundo e terceiro objetivo específico, dedicado ao desenvolvimento do indicador e conseqüentemente discussão da evolução tecnológica do agronegócio no Tocantins e identificação das prioridades para impulsionamento do crescimento econômico da região. As etapas são apresentadas a seguir.

3.1. Modelagem da relevância do agronegócio para o crescimento na região de análise

A identificação da relevância do agronegócio para o crescimento econômico foi feita empregando abordagem econométrica com a elaboração de um modelo de regressão múltipla. Uma ferramenta estatística para estimar efeitos sobre uma variável dependente por meio da utilização de variáveis que possam explicar o seu comportamento (variáveis explicativas). Um modelo estatístico é apenas uma aproximação da realidade e, de certa forma, incapaz de captar todas as forças que estão agindo sobre a variável objeto de estudo. As forças omissas do modelo são denominadas de variáveis não observadas. A elaboração do modelo seguiu as seguintes etapas: a) escolha do método de regressão; b) definição das variáveis; c) tratamento dos dados; d) validação do modelo.

3.1.1. Escolha do método de regressão

O método utilizado de regressão consiste no modelo de dados em painel, o qual trabalha com duas dimensões, uma espacial (*cross-section*) e outra temporal (GUJARATI, 2006). A vantagem da regressão com dados em painel consegue controlar as variáveis não

observadas, o modelo consegue anular o efeito das variáveis não observadas que variam entre as entidades, mas que são constantes ao longo do tempo, reduzindo, assim, o viés da variável omitida. (STOCK; WATSON, 2004).

Além dessa vantagem, a técnica de dados em painel possibilita lidar melhor com a maior heterogeneidade da amostra; mitiga a colinearidade entre as variáveis; verifica melhor a dinâmica da mudança no período estudado e o efeito de um evento ao longo do tempo; é adequada para analisar eventos comportamentais, por exemplo, economia de escala e mudança tecnológica e por fim, reduz o viés da amostra (GUJARATI, 2006).

O modelo geral de regressão com dados em painel pode ser escrito conforme a equação (1) a seguir:

$$(1) \quad Y_{it} = \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \beta_3 X_{3it} + \dots + \beta_k X_{kit} + a_i + v_{it}$$

Em que i representa a i -ésima unidade de corte transversal e t o t -ésimo período.

Dessa forma, dados em painel, consiste em observações dos mesmos n municípios para dois ou mais períodos t . Se a base de dados contém observações sobre variáveis X e Y, os dados são representados como: (X_{it}, Y_{it}) , $i = 1 \dots n$ e $t = 1 \dots t$. No qual o primeiro subscrito, i , refere-se ao município em observação e o segundo subscrito, t , refere-se à data em que ela foi observada.

Existem três tipos de modelos de regressão com dados em painel: o modelo *pooled*, efeitos aleatórios e o modelo de regressão com efeitos fixos. As estimações de modelos de regressão com dados em painel possuem duas abordagens principais (efeitos fixos e efeitos aleatórios), pois o primeiro modelo *pooled* não considera as duas dimensões do painel, mas sim cada observação como um município independente e parte da premissa de que todos os coeficientes são constantes ao longo do tempo e entre os indivíduos (GUJARATI, 2006).

O modelo de efeitos fixos considera o efeito da variação entre os municípios e do tempo e pode ser estimado de quatro maneiras: (1) com coeficiente angular constante e intercepto variando entre os municípios, (2) com coeficiente angular constante e intercepto variando com o tempo, (3) com coeficiente angular constante e intercepto variando entre os municípios e com o tempo, e (4) com todos os coeficientes variando entre os municípios ao longo do tempo. Por sua vez, o modelo de efeitos aleatórios também considera o efeito de variação entre os municípios e do tempo, mas é constituído sob a premissa de que o intercepto

é uma extração aleatória de uma população maior e os erros gerados não são correlacionados com os parâmetros utilizados no modelo (GUJARATI, 2006).

Há diferenças substanciais entre as duas abordagens e a decisão sobre qual modelo utilizar depende basicamente da pressuposição que é feita a respeito da provável correlação entre o componente de erro individual ou específico ao corte transversal, ε_{it} , e os regressores X (GUJARATI, 2006). O estimador de efeitos fixos é eficiente quando os erros idiossincráticos são serialmente não correlacionados e não há hipótese sobre a correlação entre o efeito não observado a_i e as variáveis explicativas. Enquanto isso, o estimador de efeitos aleatórios é adequado quando se acredita que o efeito não observado é não correlacionado com todas as variáveis explicativas, nesse caso, a_i , pode ser deixado no termo de erro (WOOLDRIDGE, 2012).

Para selecionar o modelo a ser utilizado é preciso realizar testes estatísticos que irão demonstrar qual é o modelo mais adequado para os dados utilizados. Para testar se o modelo de efeitos aleatórios é apropriado entre o modelo *pooled*, Breusch e Pagan (1980) desenvolveram um teste baseado no multiplicador de Lagrange, definindo-se as seguintes hipóteses nula e alternativa:

$$H_0: \sigma^2_{\alpha} = 0$$

$$H_1: \sigma^2_{\alpha} \neq 0$$

A estatística de teste é definida como:

$$(2) \quad ML = \frac{nT}{2(T-1)} \left[\frac{\sum_{i=1}^n [\sum_{t=1}^t e_{it}]^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^t e_{it}^2} - 1 \right]$$

Se a hipótese nula for aceita, o modelo *pooled* é preferível ao modelo de efeitos aleatórios. Caso contrário, deve-se assumir que o modelo de efeitos aleatórios é melhor para os dados que estão sendo tratados.

O principal determinante para decidir entre o modelo de efeitos fixos e o modelo de efeitos aleatórios é o efeito não observado α_i . Em situações em que α_i não é correlacionado com todas as variáveis explicativas, o modelo de efeitos aleatórios torna-se o mais indicado. Caso contrário, se α_i for correlacionado com algumas variáveis explicativas, então o modelo de efeitos fixos deve ser utilizado. Neste último caso, o modelo de efeitos aleatórios gera estimadores inconsistentes (WOOLDRIDGE, 2002).

Para verificar a existência de correlação entre α_i e as variáveis explicativas, aplica-se o teste de Hausman, tendo como base as seguintes hipóteses:

H₀: não é correlacionado com as variáveis explicativas

H₁: é correlacionado com as variáveis explicativas

Caso a hipótese nula seja aceita, não há evidências que α_i seja correlacionado com as variáveis explicativas. Sendo assim, o modelo de efeitos aleatórios deve ser utilizado. Por outro lado, se a hipótese alternativa for aceita, deve-se utilizar o modelo de efeitos fixos.

3.1.2. Definição das variáveis

A partir do trabalho de Hwa (1988) o desempenho da agricultura passou a ser adicionado à equação de crescimento como medida de vínculos entre o setor rural e industrial da economia, demonstrando assim a relevância da agricultura para a economia. Partindo deste trabalho, os autores Awokuse e Xie (2015) adicionam os termos de troca/intercâmbio à equação base de Hwa (1988), contribuindo para a melhoria do modelo. Os termos de troca dizem respeito a relação entre as exportações e importações e sua inclusão no modelo contribui para a explicação do crescimento da produtividade.

O efeito do agronegócio sobre o crescimento econômico foi estimado tendo como base o modelo de Awokuse e Xie (2015), conforme equação (3):

$$(3) \quad tpib_{it} = \beta_0 + \beta_1 capital_{it} + \beta_2 produçãoagrícola_{it} + \beta_3 exportaçãoagrícola_{it} + \beta_4 exportação/importação_{it} + \varepsilon_{it}$$

Em que:

$tpib_{it}$ representa taxa de crescimento do Produto Interno Bruto (PIB);

$capital_{it}$ equivale ao investimento em capital físico, ou seja, a área plantada;

$produçãoagrícola_{it}$ corresponde ao volume total da produção;

$exportação_{it}$ corresponde ao total das exportações agrícolas e,

$exportação/importação_{it}$ corresponde a relação entre o total das exportações e importações (termos de troca).

Um maior nível de investimento (capital), ou seja, aumento de área plantada, estimula o crescimento aliado com uma elevação na produtividade agrícola, resultando em um efeito positivo no crescimento econômico (AWOKUSE E XIE, 2015).

A partir do trabalho de Hwa (1988) o desempenho da agricultura passou a ser adicionado à equação de crescimento como medida de vínculos entre o setor rural e industrial da economia, demonstrando assim a relevância da agricultura para a economia. A variável *produçãoagrícola*, tem a finalidade de captar o efeito do desempenho da produção agrícola no crescimento econômico.

A expansão das exportações (variável *exportaçãoagrícola*) pode ser um estimulador para o crescimento, seja por meio de estímulo a aumento da produção ou por meio da alocação eficiente de recursos, por exemplo, uma maior utilização da capacidade, exploração de economias de escala e estimulação da melhoria tecnológica devido à concorrência no mercado externo (HWA, 1988).

Partindo deste trabalho, os autores Awokuse e Xie (2015) adicionam os termos de troca/intercâmbio (variável *exportação/importação*) à equação base de Hwa (1988), contribuindo para a melhoria do modelo. Os termos de troca dizem respeito a relação entre as exportações e importações e sua inclusão no modelo contribui para a explicação do crescimento da produtividade.

Quadro 6 - Variáveis inseridas no modelo

Variável	Resultado Esperado	Referência
<i>capital</i>	Espera-se que maiores investimentos em capital físico estimulem o crescimento econômico, pois a área plantada também estimula a produção.	Awokuse e Xie (2015)
<i>produçãoagrícola</i>	O efeito do desempenho da produtividade agrícola contribui para o crescimento econômico.	Hwa (1988)
<i>exportaçãoagrícola</i>	A expansão das exportações pode ser um catalisador para o crescimento, pois estimula a melhoria tecnológica devido à concorrência no mercado externo.	Feder (1983), Hwa (1988),
<i>exportação/importação</i>	Os termos de troca contribuem para a explicação do crescimento da produtividade.	Awokuse e Xie (2015)

Fonte: Dados da pesquisa.

3.1.3. Tratamento dos dados

Foram utilizados os seguintes dados:

- Produto Interno Bruto (PIB) - Os dados relativos ao PIB de cada um dos municípios foram extraídos por meio do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA, disponibilizado no seguinte endereço eletrônico <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/tabelas>>.
- Capital e Produção agrícola - Os dados relativos às áreas plantadas e a produção agrícola de cada um dos municípios foram obtidas por meio do Censo Agropecuário realizado pelo IBGE extraídas por meio do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Para o ano de 2006 os dados são disponibilizados no seguinte endereço eletrônico <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2006/segunda-apuracao>>. Para os dados no ano de 2017 os dados são disponibilizados no seguinte endereço eletrônico <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017/resultados-definitivos>>
- Exportação/Importação - Estatísticas detalhadas relativas ao comércio exterior do Brasil podem ser obtidas por meio do sistema Comex Stat, por meio do seguinte endereço eletrônico <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>>. Esse sistema possibilita a extração das informações diretamente do SISCOMEX e do Programa Portal Único de Comércio Exterior de responsabilidade do Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC).

Os dados foram tabulados e analisados por meio de software estatístico para obter estatísticas descritivas básicas tais como: média, desvio-padrão, mediana, correlações, testes de hipóteses entre outras.

Com base nessa primeira análise dos dados foi possível realizar o tratamento estatístico adequado em relação aos dados discrepantes da amostra (*outliers*), bem como verificar a normalidade dos dados e o atendimento/violação dos pressupostos, quando da estimação dos modelos de regressão.

3.1.4. Validação do modelo

A validação do modelo econométrico proposto é conduzida por meio dos seguintes testes estatísticos: i) teste de significância dos coeficientes (*teste-t*); ii) o teste de ajuste do modelo, por meio do coeficiente de determinação (R^2); iii) teste de multicolinearidade e a correção da heterocedasticidade.

Para corrigir o problema da presença de heterocedasticidade, os modelos propostos foram estimados adotando-se procedimentos robustos em relação à heterocedasticidade por meio da correção da variância e erros-padrão consistentes para White (erros-padrão robustos), conforme sugerido por (WOOLDRIDGE, 2010).

Em relação ao problema de multicolinearidade, ou seja, uma correlação alta entre duas ou mais variáveis independentes. Foram aplicados os testes de tolerância e fator de inflação da variância conforme sugerido por Gujarati (2006). O problema de multicolinearidade ocorre quando o teste VIF for elevado, maior que 10, os testes realizados não indicaram valores superiores a 6,0.

3.2. Construção do Índice Tecnológico do Agronegócio (ITA)

A primeira etapa referente a elaboração Índice Tecnológico do Agronegócio (ITA) consistiu na identificação das variáveis presentes na literatura que corroboram com o processo de modernização tecnológico do setor. Para isso foram elencados na literatura os principais facilitadores de adoção de novas tecnologias e, em seguida, identificado as variáveis que melhor representam estes facilitadores.

Em seguida foi aplicado a análise fatorial para extração das cargas fatoriais que serão consideradas os pesos de cada uma das variáveis. Por fim, é realizado o cálculo do índice.

3.2.1. Definição das Variáveis

Para a construção do Índice Tecnológico do Agronegócio (ITA) foi necessário definir quais variáveis fazem parte do mesmo. Para a definição é necessário se basear nas características da situação atual do agronegócio e, especialmente na sua importância para o aumento da eficiência produtiva.

Na primeira etapa utilizou como base para a elaboração do índice tecnológico do agronegócio (ITA) os estudos anteriores de Freitas, Khan e Silva (2004); Sena *et al.*, (2015) e Santana e Sordi (2020).

Inicialmente, com base no trabalho de Santana e Sordi (2020) foi possível identificar nove (9) facilitadores da adoção tecnológica no agronegócio, os quais são os seguintes:

- 1) características favoráveis das propriedades,

- 2) acesso à informação,
- 3) acesso à assistência técnica,
- 4) acesso ao crédito e subsídios,
- 5) características pessoais e comportamentais favoráveis,
- 6) participação em grupos, associações e cooperativas,
- 7) maturidade e compatibilidade das soluções e tecnologias,
- 8) vantagens e benefícios percebidos e
- 9) oportunidades de experimentação

Com base nestes facilitadores tornou-se possível a identificação de variáveis que melhor representem ou se adaptem a estes facilitadores.

O quadro 7 a seguir apresenta os facilitadores e os principais aspectos que influenciam a adoção de tecnologias no agronegócio. Com base no quadro 7 tornou-se possível definir quais variáveis podem ser consideradas relevantes para o desenvolvimento tecnológico.

Quadro 7 - Facilitadores da Adoção Tecnológica do Agronegócio

Facilitador	Variáveis que representem
Características favoráveis das propriedades	Grandes propriedades, posição socioeconômica e nível de renda mais elevados, disponibilidade de mão de obra, capital próprio, disponibilidade de recursos
Acesso à informação	Comunicação efetiva, informação acessível, acesso à educação formal e ensino técnico, tempo de experiência em gestão de fazendas, acesso a treinamento, sistema de conhecimento agrícola eficiente, capital social, ações de conscientização, disponibilidade de fontes de informação qualificadas.
Acesso à assistência técnica	Acesso à extensão rural, conexões com o governo, acesso à assistência técnica externa, acesso à consultoria qualificada, acesso a serviços de informação.
Acesso a crédito e subsídios	Acesso a crédito, subsídios, redução de taxas, diminuição de custos.
Características pessoais e comportamentais favoráveis	Idade; locus de controle interno; aspirações; atitude positiva em relação ao risco; comportamento inovador; busca por adaptação; comportamento proativo.
Participação em grupos, associações e cooperativas	Participantes de associações, cooperativas, grupos que compartilham equipamentos, organizações de agricultores.
Maturidade e compatibilidade das soluções e tecnologias	Facilidade de uso, integração entre componentes e diferentes soluções, compatibilidade.
Vantagens e benefícios percebidos	Visualização de vantagens, utilidade percebida, vantagem relativa percebida, lucratividade esperada, rentabilidade observada, carga de trabalho reduzida; produtividade observada; mudanças no estilo de vida.
Oportunidades de experimentação	Exposição a tecnologia, acesso a demonstrações de uso da tecnologia; oportunidades de experimentação, acesso gratuito, acesso com custo baixo

Fonte: Adaptado de Santana e Sordi (2020)

Para definição das variáveis que fazem parte do índice foi levado em consideração a disponibilidade dos dados nas seguintes bases de dados oficiais: Censo Agropecuário 2006 e

2017, RAIS/MTE e ComexStat. As variáveis que melhor se adaptaram aos facilitadores são apresentadas no quadro 8 a seguir:

Quadro 8 - Variáveis selecionadas para comporem o índice tecnológico do agronegócio

Facilitador	Variáveis escolhidas	Referências
Características favoráveis das propriedades	Estabelecimentos que possuem armazéns	Freitas, Khan e Silva (2004) e Ferreira e Vieira Filho (2020).
	Estabelecimentos com sistema de irrigação	Araújo et al., (2008) e Freitas, Khan e Silva (2004) e Freitas et al., (2019)
	Evolução do número de pessoas ocupadas	Sena et al., (2015) e Balsadi, Delgrossi (2018).
Acesso à informação	Estabelecimentos que possuem disponibilidade de Internet	Oliveira (2003)
Acesso à assistência técnica	Estabelecimentos que receberam orientação técnica	Oliveira (2003) e Peixoto (2020)
Acesso a crédito e subsídios	Estabelecimentos que obtiveram financiamento	Oliveira (2003) e Sena et al., (2015)
Características pessoais e comportamentais favoráveis	Estabelecimentos que realizaram investimento	Sena et al., (2015) e Souza Filho et al., (2011).
Maturidade e compatibilidade das soluções e tecnologias	Estabelecimentos que fazem o uso de corretivos para o solo	Araújo <i>et al.</i> , (2008)
	Estabelecimentos que realizam o preparo do solo	Araújo <i>et al.</i> , (2008)
	Uso de Defensivos Agrícolas	Araújo <i>et al.</i> , (2008) e Reyna, Braga e Morais (2020)
	Sementes de alto rendimento	Guanziroli, Sabbato e Buainain (2020).
Vantagens e benefícios percebidos	Crescimento da produção agrícola	Sena et al., (2015), Araújo et al., (2020)
	Crescimento das exportações agrícolas	Sena et al., (2015)

Fonte: Dados da pesquisa

A seguir é apresentado a justificativa teórica para a inclusão de cada uma das variáveis no índice tecnológico do agronegócio.

a) Disponibilidade de internet

Um dos principais recursos para agricultura digital diz respeito à disponibilidade internet em alta velocidade, capaz de atender os requisitos da IoT. Para a aplicação de tecnologias habilitadoras de agricultura inteligente ou agricultura de precisão no ambiente agrícola brasileiro depende, em grande medida, da oferta de conexão à internet. Agricultura inteligente utiliza sensores, para coleta de dados e a rede de telecomunicação para o processamento de informações e tecnologias.

O uso de redes de Internet das Coisas (IoT) oferece vantagens em relação às redes cabeadas, principalmente devido à sua instalação simples, baixo custo de manutenção e configuração realizada de forma quase automática. A IoT facilita a integração de sensores e comunicação para vários setores, incluindo a agricultura inteligente (OUAFIQ *et al.*, 2022).

Em cada estação agrícola há uma grande quantidade de dados coletados, seja realizada de forma manual ou automática. Entre os dados pode-se citar, por exemplo, insumos aplicados, colheitas, escrituras plantadas, etc. Com o crescimento de novas tecnologias digitais (satélites, IoT, sensores remotos e drones) é possível coletar uma enorme quantidade de dados sobre temperatura, nitrogênio, condições do solo etc. fornecendo aos agricultores uma possibilidade de personalizar suas decisões em cada processo agrícola (OUAFIQ *et al.*, 2022). Nesse cenário torna-se essencial a existência de uma infraestrutura de rede de internet para que a agricultura digital seja viabilizada em uma determinada região.

b) Capacidade de armazenamento

Em termos de infraestrutura de armazéns existe déficit na armazenagem de grãos em algumas regiões do Brasil (Centro-Oeste e Sul), sendo que a capacidade de armazenagem estática cresceu menos que a produção de grãos, passando a ser inferior a essa em meados da década de 2000. O Brasil carece de armazéns condizentes com o novo padrão geográfico da produção agropecuária brasileira (SILVA NETO; SANTOS, 2019).

A capacidade de armazenamento é relevante para o setor, pois não se estocam apenas os produtos, mas também os insumos utilizados na produção. Uma capacidade limitada de armazenamento impossibilita o produtor de avaliar opções mais vantajosas de venda no futuro (FERREIRA; VIEIRA FILHO, 2020).

A produção agrícola e a capacidade de armazenamento não devem ser dissociadas do processo. A limitação desta pode restringir ganhos de produtividades provenientes de melhoria tecnológica da produção. Além disso, o déficit em infraestrutura de armazenamento diminui a eficiência das políticas tecnológicas (de fomento à pesquisa, de inovação com transferência de conhecimento, de cooperação e competitivas).

De acordo com Ferreira e Vieira Filho (2020) a região Norte do Brasil pode ser beneficiada com maiores ganhos de produtividade mediante o aumento da capacidade de armazenamento.

c) Irrigação

A Biomass com menores *déficits* hídricos apresentam vantagens em termos de produção agropecuária e aqueles que apresentam maiores *déficits* hídricos tornam desvantajosos para a produção agropecuária. Contudo, existindo condições favoráveis para um sistema de irrigação tecnologicamente avançado, esta região pode atrair investimentos e nela surgir sistemas produtivos de expressiva eficiência. Para que isso aconteça, é necessário ocorrer a combinação de basicamente três fatores: disponibilidade de água, solos adequados e energia elétrica. A eficiência depende de inovações em gestão, cultura dos agentes e cooperação de associações e cooperativas (BAIARDI; COSTA, 2020).

A irrigação é considerada um relevante aspecto para aumento da eficiência da produção agrícola (FREITAS, CARLOS OTÁVIO DE; SILVA; TEIXEIRA, 2020). A água é um recurso natural disputado para geração de energia, irrigação, uso industrial ou residencial. A irrigação contribui para o aumento do desempenho produtivo (FREITAS, CARLOS OTAVIO DE *et al.*, 2019) e uma agricultura não irrigada tem baixa produtividade (FREITAS, R. E.; CASTRO, 2020). Sistemas de irrigação contribuem com a consolidação de atividades agrícolas para o desenvolvimento do agronegócio, criação de empregos e desenvolvimento de regiões economicamente desfavorecidas, mas com vocação agrícola (FERREIRA; VIEIRA FILHO, 2020).

d) Corretivos e preparo do solo (Insumos Tecnológicos)

A disponibilidade de insumos tecnológicos de produção, tais como adubos e corretivos, exige que o produtor tenha acesso a estas tecnologias. Além da necessidade de recursos disponíveis para aquisição dos insumos de produção, sua utilização demonstra uma maturidade tecnológica maior do produtor agropecuário. De acordo com Barros, Castro e Almeida (2020) os maiores gastos com consumos intermediários do setor se referem a adubos e corretivos.

A utilização de insumos de produção e preparo do solo também demonstram um padrão tecnológico do produtor. No caso de produtores mais propensos a mudanças tecnológicas, o percentual do gasto com insumos é maior do que aqueles que não são adeptos de novas tecnologias (SOUZA FILHO *et al.*, 2011).

e) Uso de Agrotóxicos e Sementes de alto rendimento

No recente trabalho de Ferreira e Vieira Filho (2020) os autores analisaram os impactos do uso de agrotóxicos na produção agropecuária do Brasil, foi constatado que as fazendas representativas intensivas no uso de agrotóxicos foram mais eficientes do que aquelas menos intensivas em 17,5 %, em média, em resumo, o uso de agrotóxicos elevou o nível de eficiência técnica da produção agrícola.

O aumento de produção também é oriundo da velocidade de incorporação de avanços tecnológicos referentes a utilização de sementes de alto rendimento. As inovações nas sementes também contribuem para aumento do rendimento da terra e foram rapidamente assimiladas pelos produtores (GUANZIROLI; SABBATO; BUAINAIN, 2020).

f) Acesso à orientação técnica

A difusão de novas tecnologias ou inovações para o setor agropecuário e as cadeias produtivas de que faz parte, é complexo e afetado por uma série de fatores. Diante disso, os serviços públicos e privados de assistência técnica e extensão rural, contribuem no processo de comunicar aos produtores rurais e suas organizações sobre as inovações, sejam técnicas ou gerenciais, e de capacitá-los para adotá-las corretamente, contribuindo assim para a redução dos riscos inerentes à atividade agropecuária (PEIXOTO, 2020). A orientação técnica contribui para a adoção de novas tecnologias e conseqüentemente para o desenvolvimento tecnológico do setor agropecuário.

Entre outros aspectos relacionados a orientação técnica ressalta-se que o seu acesso por parte dos produtores pode tornar o uso de agrotóxico eficaz, evitando o uso inadequado (FERREIRA; VIEIRA FILHO, 2020). A orientação contribui para o aumento do desempenho produtivo das fazendas brasileiras (FREITAS *et al.*, 2019).

g) Financiamentos e Investimentos

O acesso a novas tecnologias e modernização da produção depende, dentre outros fatores, de recursos financeiros disponíveis para investimentos em tecnologias. Um dos principais obstáculos que podem comprometer a digitalização da agricultura é a carência de recursos e o baixo nível de capitalização dos produtores. Produtores dotados de recursos financeiros mais elevados ou com acesso ao crédito possuem maior habilidade para lidar com os riscos de preço e de produção e, conseqüentemente, tendem a adotar novas tecnologias mais rapidamente do que os produtores com mais dificuldade de acesso a créditos. A disponibilidade

de crédito é um determinante para a adoção e difusão de novas tecnologias (SOUZA FILHO *et al.*, 2011).

De acordo com Buainain e Souza Filho (2020) nos últimos anos observou-se o crescimento do financiamento privado, com destaque para o papel de atores não bancários, tais como empresas de tecnologia em geral, de sementes e químicos a máquinas e equipamentos, bem como as grandes operadoras do mercado de grãos.

Os bancos e o governo tendem a direcionar os financiamentos para as operações de longo prazo que se caracterizam como investimentos, ao contrário dos demais financiadores que focam no custeio. Além disso, nos últimos anos observou-se um aumento da popularidade dos contratos não bancários de crédito, como é o caso da CPR, utilizada em compra/venda futura e no pagamento por insumos através da entrega do grão na pós-colheita, sem intermediação monetária, operação denominada de *barter* (ARAÚJO, W. V. DE *et al.*, 2020).

Destaca-se ainda a relevância das políticas de crédito para que o setor agropecuário como mecanismo viabilizador da modernização e ampliação das estruturas produtivas do setor. O financiamento contribui para o desempenho dos produtores agropecuários, pois possibilitam melhoria da eficiência técnica do setor e acesso a novas tecnologias (FREITAS; SILVA, 2020).

h) Variáveis de desempenho do setor agropecuário

Foram incorporadas ao índice variáveis com a finalidade de captar o crescimento do setor agropecuário, para isso têm-se as seguintes: evolução do número de pessoas ocupadas, crescimento da produção agrícola e crescimento das exportações agrícola. Para todas as variáveis considerou-se o crescimento médio dos últimos três anos.

Embora se tenha observado uma redução significativa do pessoal ocupado na agricultura brasileira, ressalta-se que vários fatores contribuíram para esse desempenho. No tocante à questão tecnológica, foram registrados avanços em automação e mecanização das diferentes fases do processo produtivo, que pouparam trabalho humano, com um expressivo aumento da produtividade do trabalho (BALSADI; DELGROSSI, 2018).

Nos últimos anos também foi observado um envelhecimento dos produtores rurais, sugerindo que os jovens não estão buscando empregos na agricultura. Um dos fatores que podem explicar essa baixa atratividade dos campos aos jovens diz respeito a baixa conectividade e dificuldade no acesso aos benefícios da agricultura digital. Entre os aspectos positivos do mercado de trabalho rural destacam-se o crescimento dos empregos permanentes e uma melhoria no nível de escolaridade (DELGROSSI; BALSADI, 2020).

A demanda de mão de obra na agricultura é influenciada e determinada pela área total cultivada, pela quantidade produzida (principalmente nas atividades nas quais a colheita é feita de forma manual), pela composição das atividades agropecuárias em determinada região, sistemas de produção adotados, e pelo nível de automação e mecanização dos processos produtivos (BALSADI *et al.*, 2002). Um setor agrícola moderno com alto nível tecnológico tende a se tornar atrativo para os mais jovens, o que pode levar a uma reversão da redução do pessoal no setor ocorrida nos últimos anos. Espera-se que a evolução de números de empregos no setor agrícola esteja associada a uma melhoria do mercado de trabalho do setor.

Em relação ao crescimento da produção agrícola, destaca-se que estabelecimentos mais eficientes obtiveram mais rapidamente os benefícios da pesquisa agrícola, ou seja, as inovações tecnológicas no setor (ARAÚJO, W. V. DE *et al.*, 2020). Outros fatores que contribuíram para o crescimento da produtividade estão relacionados a qualificação da mão de obra e a disponibilidade de equipamentos e máquinas com melhor desempenho tornaram o trabalho no campo mais produtivo. Investimentos em pesquisa e novos sistemas de produção permitiram a elevação da produtividade da terra. O direcionamento de políticas para investimentos em pesquisa e políticas de crédito tem contribuindo para o aumento da produção de grãos, carnes e frutas. Esse conjunto de medidas ofereceu uma base mínima de recursos financeiros que permitiram a introdução, de maneira ampla, de novas tecnologias e conhecimentos produtivos na agricultura (GASQUES *et al.*, 2020).

Um setor agrícola com elevada produtividade é um setor que utiliza tecnologias modernas de produção. Os ganhos crescentes ocorridos na produção brasileira contribuiriam para tornar o Brasil um grande exportador de produtos agrícolas (MARANHÃO; VIEIRA FILHO, 2017). O crescimento das exportações é reflexo de um conjunto de fatores que contribuíram para aumentos de produtividade de setor, fatores estes já citados no parágrafo anterior e dentre eles reafirma-se o papel da modernização do setor oriundo de investimentos em pesquisas.

Após a definição das variáveis que farão parte do índice, as mesmas foram agrupadas em quatro eixos para melhor representar uma característica da tecnologia do agronegócio. As variáveis que representam tecnologias foram agrupadas nos seguintes eixos: infraestrutura, tecnologia produtiva, financiamento e produção e são apresentadas no quadro 9.

Definidas as variáveis é necessário estabelecer um escore ou peso das variáveis para compor o índice. Para isso foi realizado a aplicação da técnica de análise fatorial, para extrair os autovalores das variáveis presentes no índice. A análise fatorial é apresentada no tópico 4.3.2.

Quadro 9 - Agrupamento das Variáveis do Índice

Eixo	Variáveis
<i>Infraestrutura</i>	% Estabelecimentos que possuem disponibilidade de Internet % Estabelecimentos que possuem armazéns % Estabelecimentos com sistema de irrigação
<i>Tecnologia Produtiva</i>	% Estabelecimentos que fazem o uso de corretivos para o solo % Estabelecimentos que realizam o preparo do solo % Estabelecimentos que utilizam defensivos agrícolas % Estabelecimentos que utilizam sementes de alto rendimento % Estabelecimentos que receberam orientação técnica
<i>Financiamento</i>	% Estabelecimentos que obtiveram alguma modalidade financiamento % Estabelecimentos que realizaram investimento
<i>Produção</i>	% Evolução dos Empregos % Evolução da produção agrícola % Evolução das exportações agrícolas

Fonte: Elaboração própria

3.3. Bases de dados: origem dos dados

Para a execução do proposto neste trabalho, há a necessidade de extrair e consolidar as informações com dados de diferentes bases de dados obtidos em instituições oficiais ou órgãos públicos.

Os tópicos seguintes abordam as bases de dados que serão utilizadas para extração das variáveis que serão utilizados no presente estudo.

a) Censo Agropecuário

Os dados relativos ao setor agropecuário foram extraídos do censo agropecuário realizado pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e disponibilizado por meio do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA, disponível no seguinte endereço <<https://sidra.ibge.gov.br>>.

A descrição, a tabela original do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA e a mensuração de cada uma das variáveis é apresentada no quadro 10 a seguir.

Quadro 10 - Variáveis que compõem o índice e suas descrições

Variável	Tabela	Descrição
% Estabelecimentos que possuem disponibilidade de Internet	tabela6962	Calculado pela razão entre o número de estabelecimentos com acesso à internet e o total de estabelecimentos
% Estabelecimentos que possuem armazéns	tabela6868	Calculado pela razão entre o número de estabelecimentos com armazém e o total de estabelecimentos
% Estabelecimentos com sistema de irrigação	tabela6857	Calculado pela razão entre o número de estabelecimentos que possuem sistema de irrigação e o total de estabelecimentos

% Estabelecimentos que fazem o uso de corretivos para o solo	tabela6849	Calculado pela razão entre o número de estabelecimentos que utilizam corretivos e o total de estabelecimentos
% Estabelecimentos que realizam o preparo do solo	tabela6855	Calculado pela razão entre o número de estabelecimentos que realizam o preparo do solo e o total de estabelecimentos
% Estabelecimentos que utilizam defensivos agrícolas	tabela6851	Calculado pela razão entre o número de estabelecimentos que aplicam defensivos agrícolas e o total de estabelecimentos
% Estabelecimentos que utilizam sementes de alto rendimento	tabela6958	Calculado pela razão entre o número de estabelecimentos que utilizam sementes certificadas e o total de estabelecimentos
% Estabelecimentos que receberam orientação técnica	tabela6844	Calculado pela razão entre o número de estabelecimentos que receberam orientação técnica independente da origem e o total de estabelecimentos
% Estabelecimentos que obtiveram alguma modalidade financiamento	tabela6895	Calculado pela razão entre o número de estabelecimentos que realizaram financiamento independente da finalidade e o total de estabelecimentos
% Estabelecimentos que realizaram investimento	tabela6896	Calculado pela razão entre o número de estabelecimentos que realizaram investimentos e o total de estabelecimentos
% Estabelecimentos que fazem parte de Cooperativas	tabela6846	Calculado pela razão entre o número de estabelecimentos que fazem parte de cooperativas e o total de estabelecimentos

Fonte: Dados da pesquisa.

b) Exportação/Importação

Estatísticas detalhadas relativas ao comércio exterior do Brasil podem ser obtidas por meio do sistema Comex Stat, por meio do seguinte endereço eletrônico <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>>. Esse sistema possibilita a extração das informações diretamente do SISCOMEX e do Programa Portal Único de Comércio Exterior de responsabilidade do Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC).

Para fins deste trabalho serão utilizados os seguintes microdados: a) Base de dados detalhada por NCM e b) Base de dados detalhada por Município da empresa exportadora/importadora e Posição no Sistema Harmonizado (SH4), os quais contemplam informações desde o ano de 1997.

c) Empregos

A Relação Anual de Informações Sociais – RAIS, instituída pelo Decreto nº 76.900, de 23/12/75 é uma declaração no qual estabelecimentos (inscritos no CNPJ) e outros obrigados submetem em razão de regulação específica. “A RAIS representa, praticamente, um censo anual do mercado formal brasileiro, enquanto todas as organizações legais (privadas e públicas) são obrigadas a declará-la” (NEGRI *et al.*, 2001, p. 6).

Por ser um registro administrativo, as informações contidas podem apresentar omissões ou erros quando do preenchimento pelos declarantes, contudo o estudo de (NEGRI, J. A. D. *et al.*, 2001) demonstrou que a RAIS é uma fonte confiável de análise do mercado formal de trabalho no Brasil. A RAIS permite ainda a realização de análises longitudinais, viabilizando a investigação avançada de vários problemas relativos ao mercado de trabalho e à distribuição de renda.

Entre outras informações dos empregados, a RAIS contempla: empregos, faixa etária, grau de instrução, gênero, ocupação, remuneração média, tipo de vínculo (celetista, estatutário, temporário e avulso), nacionalidade, tempo de serviço, tipo de admissão, causa do desligamento.

O Ministério do Trabalho por meio do Programa de Disseminação das Estatísticas do Trabalho disponibiliza os Microdados RAIS e CAGED por meio do seguinte endereço eletrônico: <ftp://ftp.mtps.gov.br/pdet/microdados/>.

3.3.1. Determinação dos pesos de cada eixo

Para a determinação dos pesos de cada eixo no cálculo final do índice, adotou-se como método a análise fatorial. A vantagem de utilização dessa abordagem consiste no fato de que se utiliza a variância dos próprios dados no desenvolvimento do índice. A análise fatorial consiste em uma técnica multivariada que sintetiza as relações observadas entre um conjunto de variáveis inter-relacionadas, para identificar fatores comuns. A ideia da análise fatorial reside na possibilidade de representar um conjunto de variáveis originais observadas por meio de um número menor de fatores (FÁVERO *et al.*, 2009).

A análise fatorial é utilizada para investigar as relações inúmeras variáveis e determinar se essas informações podem ser resumidas a um conjunto menor de fatores. Através da análise fatorial é possível reduzir o número de variáveis para alguns fatores, os quais são definidos como uma combinação linear das variáveis originais. Os fatores representam os construtos que resumem o conjunto original de variáveis, mantendo a representatividade das características das variáveis originais Hair *et al.* (2009).

A perspectiva utilizada no trabalho foi por meio da análise fatorial exploratória – AFE, ou seja, os dados observados determinam o modelo fatorial subjacente a posteriori. A técnica exploratória é usada para se explorar os dados para identificar a relação entre um conjunto de variáveis, por meio de padrões de correlação (MATOS; RODRIGUES, 2019).

O modelo estatístico utilizado na análise fatorial explica uma estrutura de correlação existente entre $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_p)^t$, diretamente por uma combinação linear de variáveis, que não são diretamente observadas, denominadas de fatores comuns, acrescida de um componente residual (FÁVERO *et al.*, 2009). Tal modelo pode ser expresso da seguinte maneira:

$$(4) \quad Y = \Lambda F + \varepsilon$$

Em que:

$Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_p)^t$, é um vetor transposto de indicadores observados ($p \times 1$);

Λ é uma matriz ($p \times k$) tal que cada elemento λ_{ij} expressa a correlação existente entre o indicador y_i , e o fator f_j , Λ denominada matriz de cargas fatoriais, com o número k de fatores menores do que o número p de indicadores;

F é um vetor de fatores comuns ($k \times 1$); e

ε é o vetor de componente residuais ($p \times 1$).

A análise fatorial pode ser resumida em quatro etapas, a primeira se relaciona com o cálculo da matriz de correlação de todas as variáveis. Após é feita a extração dos fatores, seguida pela rotação dos fatores, por fim, o cálculo dos escores fatoriais. Um dos indicadores de qualidade da análise fatorial é o teste de KMO (Kaiser-Meyer-Olkin), no qual se testa a adequação da amostra quanto ao grau de correlação parcial entre as variáveis, que deve ser pequeno. Deve-se observar o valor do $KMO > 0,5$ para serem consideradas válidas as variáveis (FÁVERO *et al.*, 2009). O teste de KMO é expresso conforme a seguinte equação:

$$(5) \quad KMO = \frac{K_{i \neq j} R_{ij}^2}{\sum_{i \neq 2} R_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} Q_{ij}^2}$$

Em que:

R_{ij} é a correlação amostral entre as variáveis X_i e X_j ,

Q_{ij} é a correlação parcial entre X_i e X_j .

As correlações entre os pares de variáveis podem ser organizadas em uma matriz de correlações ou matriz-R, em outras palavras é uma tabela de coeficientes de correlação. Os coeficientes de correlação elevados sugerem que essas variáveis podem estar medindo em uma

mesma dimensão subjacente, a qual é denominada como fator. Por meio da análise fatorial busca-se reduzir a matriz-R a fatores, identificando quais variáveis parecem se agrupar de maneira significativa (FIELD, 2009).

Esses fatores resumem os dados, mas também mantêm a representatividade das variáveis originais. A análise fatorial foi aplicada para determinar os pesos atribuídos a cada indicador que compõe o índice tecnológico do agronegócio, com base nos autovalores dos grupos de variáveis descritas no quadro 10.

Um autovalor de um dado fator mede a variância em todas as variáveis devida ao fator. A razão de autovalores é a razão da importância explicativa dos fatores em relação às variáveis. Se um fator tem um autovalor baixo, ele contribui pouco para a explicação das variâncias nas variáveis e pode ser ignorado como redundante em relação a fatores mais importantes (GARSON, 2009).

Os fatores obtidos por meio da análise fatorial podem ser utilizados em outras técnicas, por exemplo, na análise de regressão múltipla. O trabalho de Santos *et al.*, (2018), utilizou a análise fatorial para agrupar diversas variáveis em fatores de inovação e em seguida, por meio da análise de regressão, estimaram o impacto dessas variáveis em relação ao desempenho de empresas agropecuárias.

Para fins de elucidação, o peso de cada variável foi obtido por meio da variância explicada pelos autovalores obtidos por meio da análise fatorial. A vantagem da utilização do autovalor de um dado fator reside no fato de que o mesmo mede a variância em todas as variáveis que é devida ao fator (MATOS; RODRIGUES, 2019). Diante disso é realizada a análise fatorial tendo como base as variáveis utilizadas no cálculo do respectivo índice.

3.3.2. Cálculo do índice

Após a obtenção dos pesos de cada uma das variáveis por meio da análise fatorial é calculado o índice tecnológico para cada município em cada um dos componentes, conforme definido na equação (5):

$$(6) \quad I_{it} = \sum_{i=1}^z \frac{a_i}{w_t}$$

Sendo:

$w_n = \text{Max} \sum_{i=1}^z a_i$ e dessa forma há a padronização da variável, $0 \leq I_{ij} \leq 1$

a_i é o score da adoção da variável X_i na tecnologia t

Assim, $\frac{a_i}{w_n}$ representa o peso de cada elemento a_i na construção do índice tecnológico I específico.

Em que:

I_{jt} = Índice Tecnológico I do município j relativo à tecnologia t

i = Municípios ($i = 1, 2, \dots, n$);

n = Número de Municípios;

t = Tecnologias utilizadas ($t = 1, 2, 3$ e 4);

m = Número de tecnologias ($m = 4$);

Em seguida é calculado o Índice Tecnológico do Agronegócio (ITA) da região conforme expresso pela equação 6.

b) Índice Tecnológico do Agronegócio (ITA) para uma região:

$$(7) \quad ITA = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^m x_t p_i}{\sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^m x_t p_i}$$

ITA_j = Índice geral para cada município envolvendo todas as tecnologias;

i = Municípios ($i = 1, 2, \dots, n$);

n = Número de Municípios;

t = Tecnologias utilizadas ($t = 1, 2, 3$ e 4);

m = Número de tecnologias ($m = 4$);

p = peso dado a variável

x = variável em estudo

A leitura do índice é de fácil compreensão, pois o seu resultado varia de 0 a 1, sendo que, quanto mais próximo de 1, maior o indicador tecnológico da localidade em estudo. Para fins de convenção de valores de referência, utilizou-se como base a sugestão de padrões ou intervalos conforme os trabalhos de Sena *et al.*, (2015) e Lobão e Staduto (2020).

- Índice entre 0,0 e 0,20 representam localidades com baixo estágio de desenvolvimento tecnológico para o Agronegócio;

- Índice entre 0,20 e 0,40 representam localidades com médio-baixo estágio de desenvolvimento tecnológico para o Agronegócio;
- Índice entre 0,40 e 0,60 representam localidades que se encontram em um estágio médio de desenvolvimento tecnológico para o Agronegócio;
- Índice entre 0,60 e 0,80 representam localidades que se encontram em um estágio médio-alto de desenvolvimento tecnológico para o Agronegócio;
- Índice entre 0,80 e 1,0 representam localidades que se encontram em um estágio alto de desenvolvimento tecnológico para o Agronegócio;

O trabalho de Sena *et al.*, (2015) estabelece os padrões tecnológicos para os produtores de leite aplicado ao estado do Pará, enquanto o trabalho de Lobão e Staduto (2020) estabelece o nível de modernização agrícola em cinco níveis. A diferença entre os dois trabalhos reside no fato de que o primeiro é baseado em uma escala de 0 a 1 e o segundo em desvios-padrão, ambos utilizam cinco classificações: de muito baixa a muito alta.

4. AGRONEGÓCIO NO TOCANTINS

4.1. Aspectos Básicos do Agronegócio no Estado do Tocantins

A expansão da produção agrícola no Tocantins iniciou-se na década de 1980 e intensificada nos anos seguintes. Entre os anos de 1990 a 2016, a área total colhida no estado com grão cresceu 298,12%, com as culturas de algodão, amendoim, arroz, feijão, milho, soja e sorgo (CRUZ, 2018). Entre os aspetos que podem ter influenciado o aumento da produção agrícola no Tocantins, destaca-se a disponibilidade de terras agricultáveis com preço de custo abaixo dos praticados nas regiões Sul e Sudeste; localização próxima aos portos exportadores do Norte e Nordeste; disponibilidade de recursos naturais; incentivos fiscais do governo estadual, políticas públicas de investimento em infraestrutura e fomento a empresas e desenvolvimento da infraestrutura de transportes (FORNARO, 2012). Jalapão e Rio Formoso foram as principais microrregiões do Estado que contribuíram com o aumento total na produção de grãos com as culturas de soja e milho (CRUZ, 2018).

Além do reduzido custo da terra em relação às regiões sul e sudeste, os investimentos no setor de logística possibilitaram uma relevante expansão da soja no estado do Tocantins a partir de 2005, em conjunto com os investimentos em infraestrutura realizados no estado. No norte do estado, na região de Araguaína, a pecuária bovina tem relevância, e tem como principal destino a produção de milho (alimentação animal), ao contrário da soja, a qual tem como principal destino o mercado externo (LIMA, 2014).

Cruz (2018) destaca que, no período de 1990-2016, de modo geral no Tocantins a soja e o milho ganharam competitividade enquanto o arroz perdeu. Desde 1990, o cultivo de soja no estado tem sido maior do que a média no Brasil. No entanto, a produtividade do estado é inferior à média nacional. Embora tenha ocorrido um crescimento relevante da produção de soja no estado, as condições climáticas ainda são um limitador na produção. Fatores tais como: condições climáticas, adubação, semeadura tardia e alta temperatura do solo podem ser citadas como algumas explicações para a produtividade menor.

Em relação à cultura do milho, a safrinha e uma maior disponibilidade de tecnologia, em especial com o uso de híbridos e cultivares precoces adaptados às condições edafoclimáticas do Tocantins, são uma das possíveis explicações para o aumento da produção do milho. Ou seja, um melhor uso de fertilizantes, corretivos, defensivos, sistemas de plantio direto e a integração lavoura-pecuária-floresta favoreceram a cultura do milho safrinha no estado (BORGHI *et al.*, 2015).

Por exemplo, a cultura de arroz, mesmo com redução de sua competitividade em relação à soja, ocupa uma parcela relevante da área no estado. A irrigação é utilizada principalmente em grandes propriedades e com uso intenso de tecnologia, contribuindo para aumentos de produtividade (FORNARO, 2012).

É relevante destacar outros fatores que de modo geral contribuíram para a melhoria na produtividade de grãos no estado do Tocantins:

- a) uso de tecnologias mais modernas, com utilização de híbridos e cultivares adaptados às condições edafoclimáticas (BORGHI et al., 2015).
- b) aplicação de boas práticas no uso eficiente de fertilizantes, corretivos e defensivos
- c) novas técnicas de produção como o plantio direto e a integração lavoura-pecuária-floresta favoreceram a conservação dos sistemas e também contribuíram para essa melhoria no rendimento (BORGHI et al., 2015);
- d) instalação de instituições públicas de pesquisa e políticas de desenvolvimento agropecuário tem significativa importância para o estado (CRUZ, 2018);
- e) pesquisas desenvolvidas pela Embrapa Pesca e Aquicultura, têm demonstrado resultado, especialmente em áreas que anteriormente se mostravam pouco favoráveis à agricultura (CRUZ, 2018);
- f) busca por rotas alternativas pelo Norte e Nordeste para exportação da produção, por exemplo, o porto de Itaqui, situado em São Luiz, no Maranhão (ALMEIDA; SELEME; CARDOSO NETO, 2013);
- g) apesar das falhas e ineficiências da Ferrovia Norte-Sul, a utilização dela trouxe maior integração dos mercados, pois possibilitou o envio da produção para o porto de Itaqui (VIEIRA FILHO, 2015).

Por outro lado, há também fatores que prejudicam o crescimento da produção de grãos no estado do Tocantins, por exemplo:

- a) conservação e manejo de solo ainda são desafios às produções de soja e milho. Mudanças climáticas e pragas prejudicam a produção (BORGHI et al., 2015);
- b) concentração, em poucas empresas privadas, da armazenagem dos grãos. A capacidade de armazenamento está abaixo do potencial de produção do estado, provocando alto custo de armazenagem dos grãos, contribuindo para a redução da competitividade do produto tocantinense (LIMA, 2014);

- c) necessidade de projetos agrícolas, incentivos governamentais e expansão dos modos de transporte (LIMA, 2014).

Outros fatores também influenciam na produção e conseqüentemente comercialização e industrialização dos grãos no estado, por exemplo, a decisão de financiamento da produção. Tendo em vista que a maioria dos financiamentos públicos ao setor é destinado a investimentos, o produtor, por sua vez, busca o financiamento do custeio de sua produção por meio de *tradings* que operam no estado.

Rodrigues et al., (2010) identificou que os produtores buscaram o financiamento da produção por meio de operações com tradings. Após a negociação é a trading que agora tem a decisão sobre o destino do grão, sendo a exportação o destino provável. Fazendo com que as agroindústrias presentes no estado tenham dificuldade em encontrar a matéria-prima (FIETO, 2018).

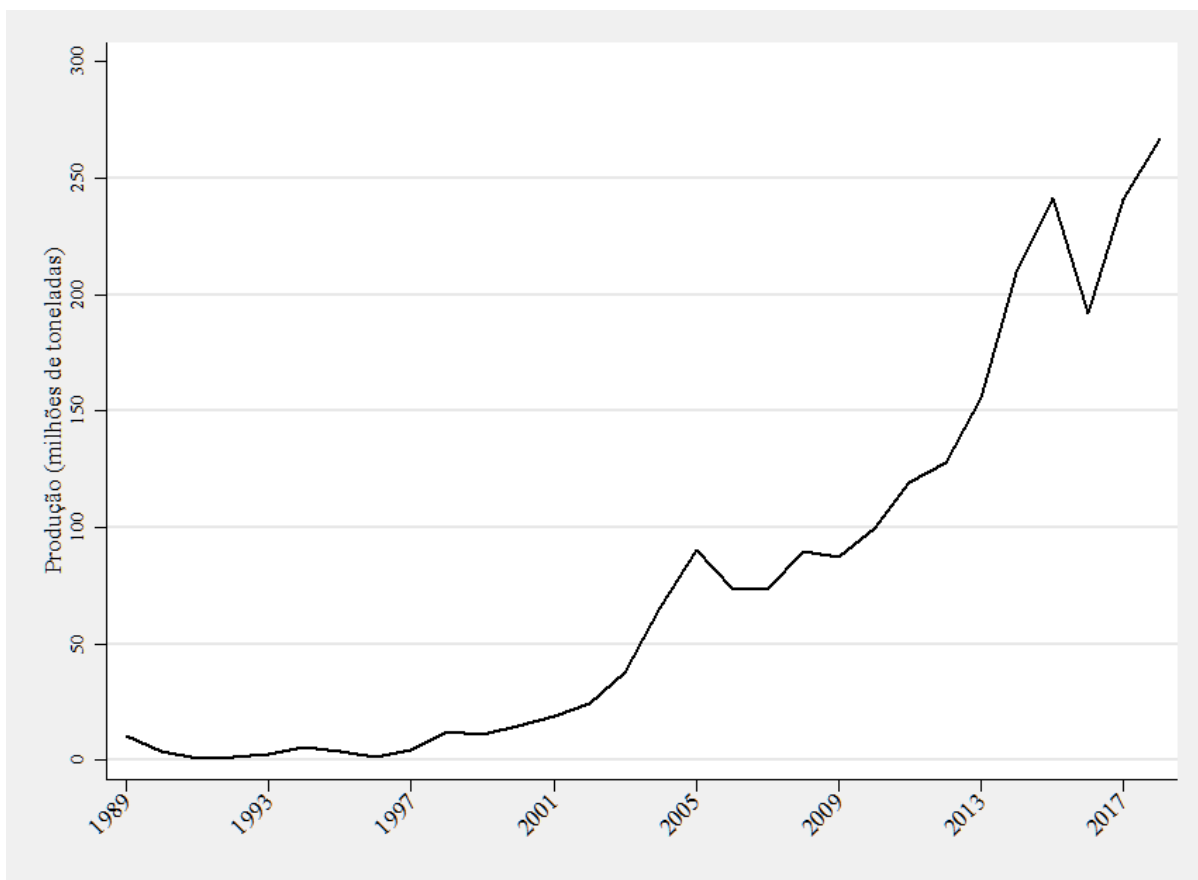
O Tocantins possui recursos naturais abundantes e atualmente conta com uma infraestrutura a qual contempla rodovias, ferrovias e eletrificação em sua maior parte de qualidade. Mas, conforme o Perfil do Agronegócio Tocantinense, publicado pela Seplan (2016), o Tocantins ainda enfrenta dificuldades pelo segmento que dizem respeito à falta de infraestrutura logística do país, o baixo investimento em educação e formação do produtor, dificuldades no acesso ao crédito, ausência de políticas agrícolas regionais e de incentivos à assistência técnica e ao associativismo Seplan (2016).

4.1.1. Principais Produtos do Agronegócio

O foco do Agronegócio no Tocantins basicamente se resume às exportações dos principais produtos: soja, carne e derivados. Os dados dos Indicadores Socioeconômicos do Tocantins (2017 e 2019) ressaltam que a exportação de soja, carnes e derivados correspondem a praticamente 90% de todas as exportações do estado (SEFAZ, 2019; SEPLAN, 2016). As exportações se resumem a produtos *in natura*, ou seja, *commodities*, com vistas a atender, principalmente, a China.

A produção de soja no Tocantins apresenta elevado crescimento nas últimas duas décadas, conforme pode ser visualizado na figura 4. No ano de 2018 a produção de soja no estado ultrapassou a casa das 266 milhões de toneladas conforme dados do IBGE.

Figura 4 – Produção da Soja no Estado do Tocantins (1989-2018)

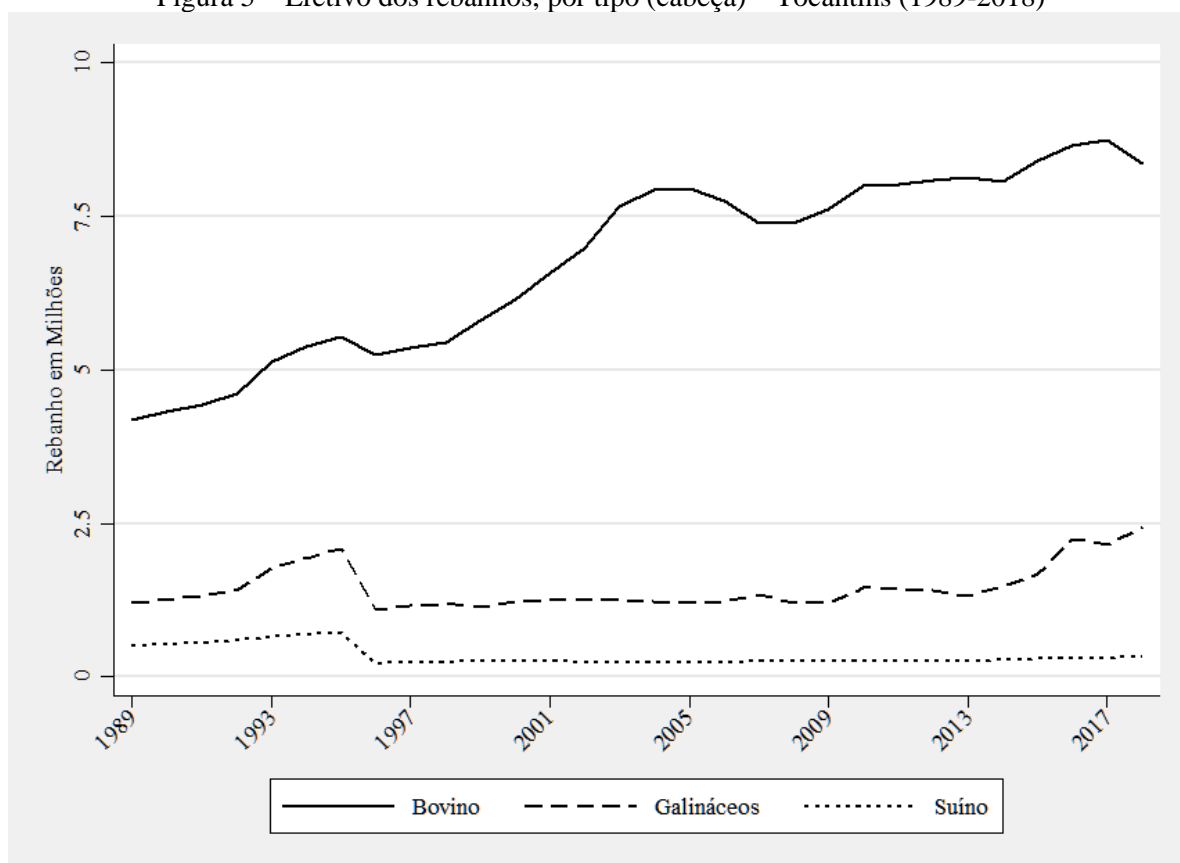


Fonte: Elaborado com dados do IBGE - Produção Agrícola Municipal

O Tocantins se caracteriza por ser, um produtor de grãos de soja, se posicionando atualmente entre os 10 maiores estados produtores de soja no Brasil. A relevância para o Estado reside, entre outros aspectos, na exportação.

A figura 5 apresenta a evolução dos rebanhos no estado do Tocantins conforme dados do IBGE. No que tange a Pecuária, o Tocantins encerrou o ano de 2018 com mais de 8 milhões de cabeça de gado, esse valor representa praticamente o dobro do quantitativo registrado no início da série histórica (1989).

Figura 5 – Efetivo dos rebanhos, por tipo (cabeça) – Tocantins (1989-2018)

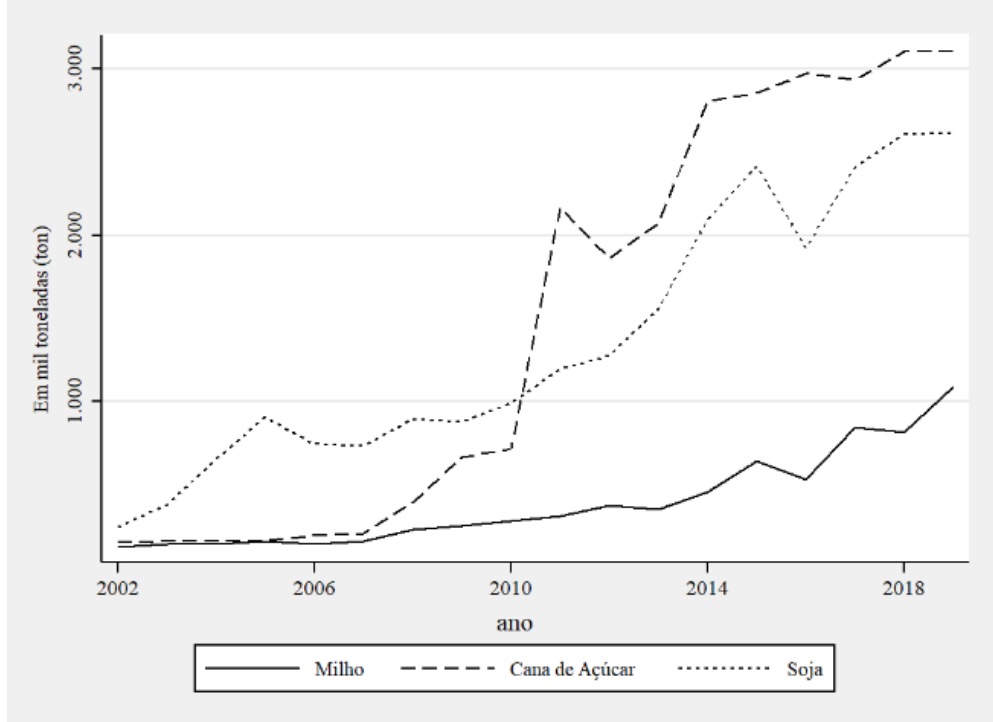


Fonte: Elaborado com dados do IBGE - Pesquisa da Pecuária Municipal

Os principais produtos oriundos da agricultura no Tocantins são: cana-de-açúcar, soja, milho, arroz e mandioca. Observa-se uma mudança de foco na produção do estado, com uma preferência para a produção cana-de-açúcar, soja e milho. A produção do arroz oscila em intervalos nos quais é possível observar que após aumento da produção há uma redução da produção, aspecto não identificado na produção dos demais produtos (cana-de-açúcar, soja e milho).

A figura 6 evidencia a evolução da produção da cana-de-açúcar, soja e milho, os quais juntos representam a maioria da produção estadual. Em 2019 a produção de cana-de-açúcar ultrapassou 3 milhões de toneladas.

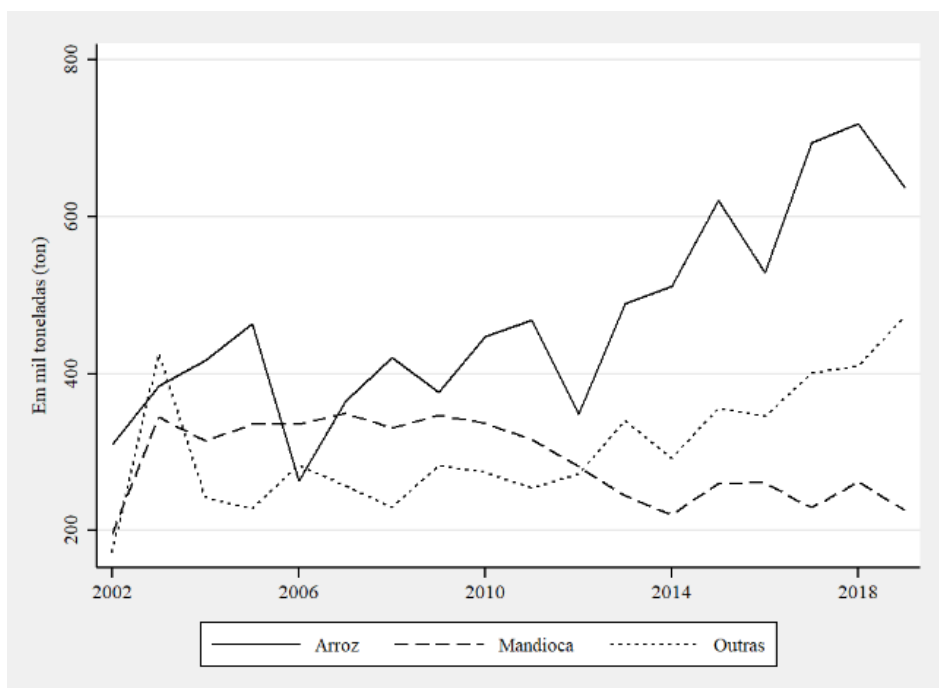
Figura 6 – Produção dos Principais produtos agrícolas do Tocantins (Milho, Cana-de-açúcar e Soja)



Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE - Pesquisa da Pecuária Municipal.

Na figura 7 é demonstrada a produção dos demais produtos agrícolas, tais como o arroz, mandioca e demais.

Figura 7 – Produção dos Principais produtos agrícolas do Tocantins (Arroz, Mandioca e Outros)

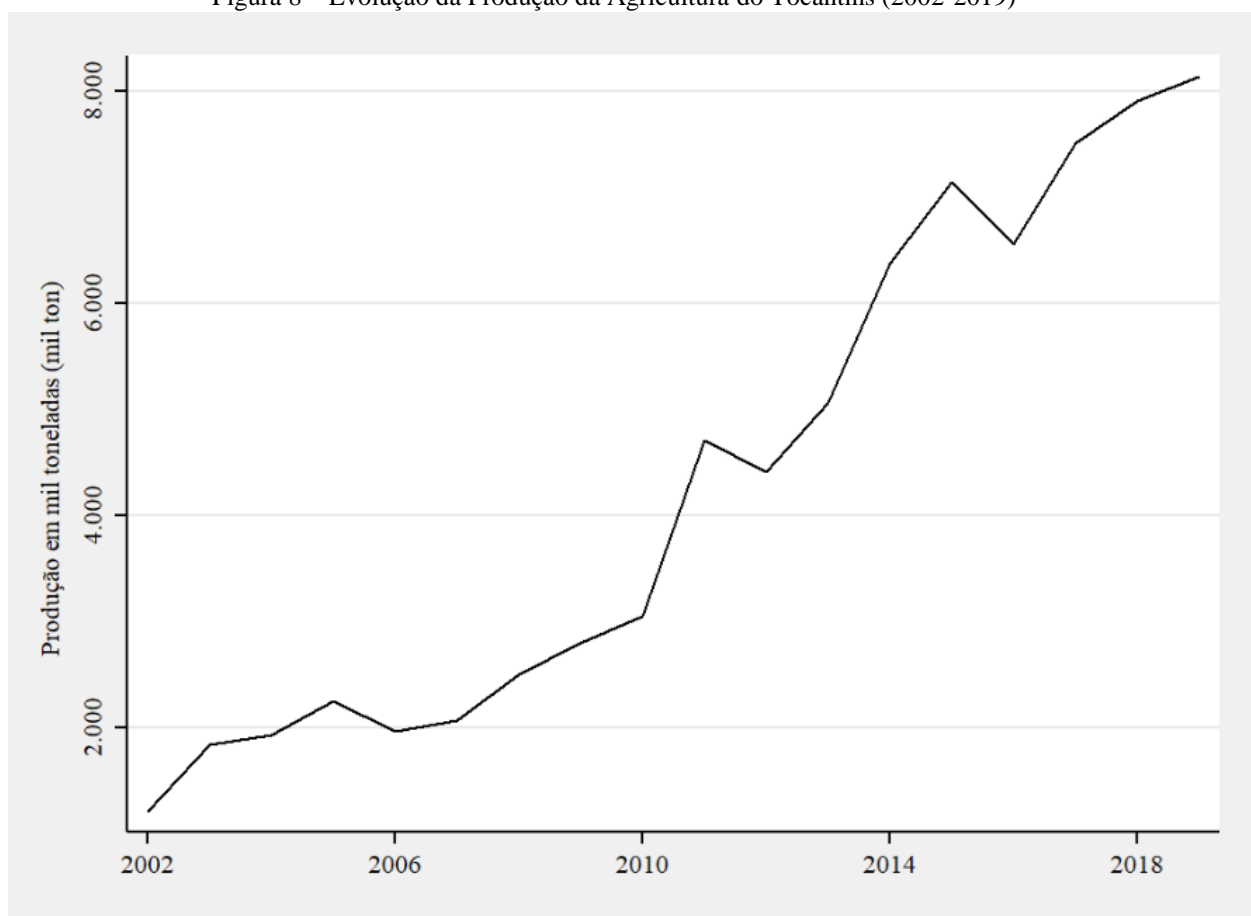


Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE - Pesquisa da Pecuária Municipal.

A produção da cana-de-açúcar é dominante na região de Pedro Afonso-TO, em razão da usina produtora de açúcar e bioenergia da Bunge inaugurada em 2011. No caso da soja, a produção é mais dispersa e se destaca nos municípios de Campos Lindos, Mateiros, Lagoa da Confusão e Porto Nacional.

A figura 8 demonstra a evolução da produção agrícola nos municípios do Tocantins, a qual acompanha a evolução da área plantada no estado.

Figura 8 – Evolução da Produção da Agricultura do Tocantins (2002-2019)



Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE - Pesquisa da Pecuária Municipal

4.1.2. Disponibilidade de áreas

Os dados da tabela 1, dizem respeito aos potenciais de áreas para agrícola no estado do Tocantins. Um dos grandes potenciais para o estado corresponde à disponibilidade hídrica em abundância, o que pode tornar a região competitiva em razão do baixo custo necessário em investimentos de projetos de irrigação, possibilitando desenvolver a agricultura irrigada com sistema de sub-irrigação de baixo custo, o que viabilizaria a possibilidade de três safras ao ano.

Tabela 1 - Quantitativo (ha) de Áreas Potenciais para Exploração Agrícola

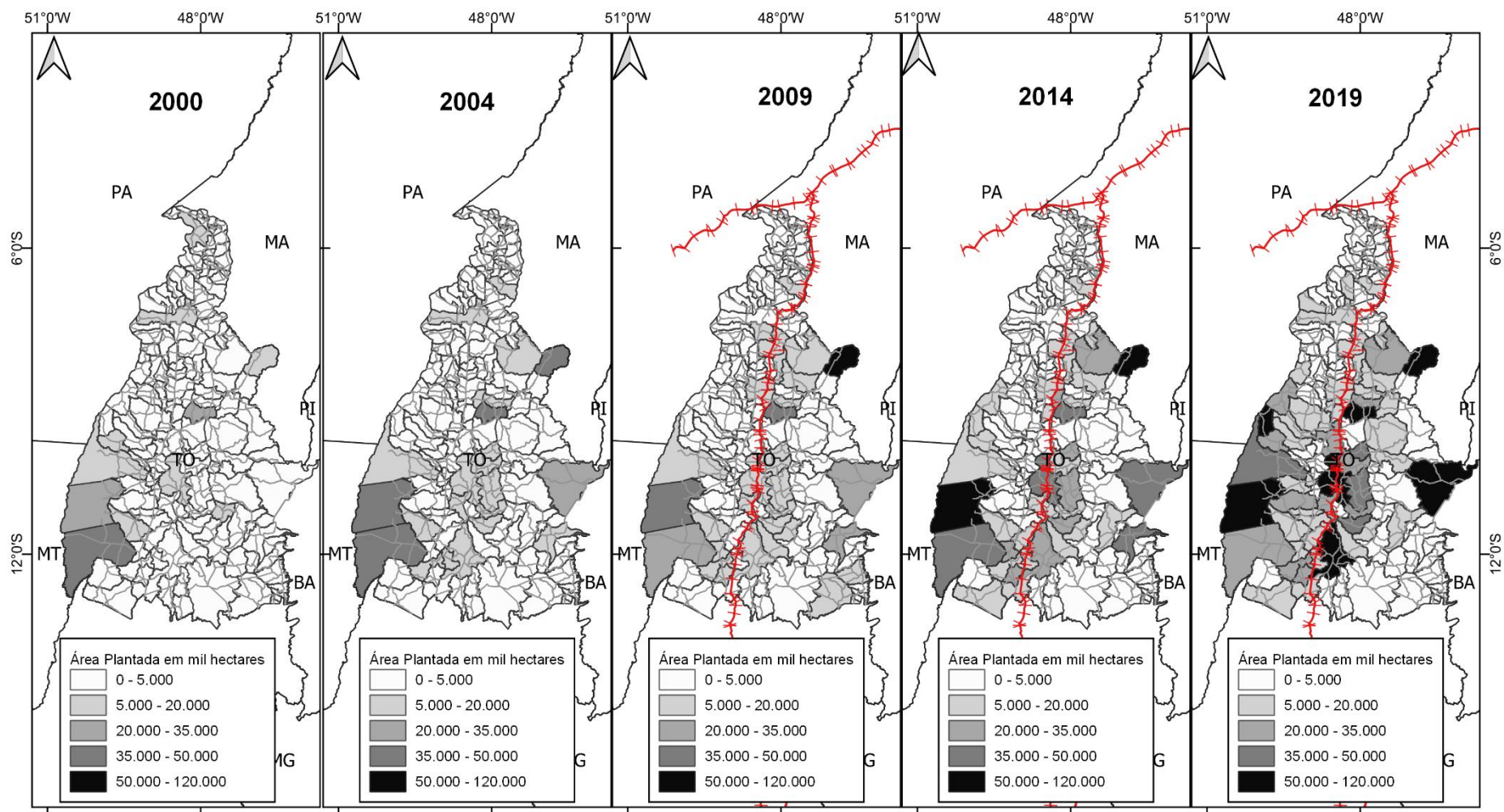
Discriminação da Área		Em Hectare (ha)	%
Áreas com Restrição		13.990.000	50,25%
Área Potencial para Produção Agrícola	Pastagens	7.498.250	26,93%
	Área Agrícola Grãos Explorados	1.000.000	3,59%
	Área Para Exploração	5.353.820	19,23%
Área Total		27.842.070	100,00%

Fonte: Seplan (2016).

A agricultura no estado ganhou mais espaço com o processo de expansão agrícola que se originou no Sul e se prolongou pelo Cerrado (FREITAS, *et al.*, 2016). No estado a área plantada em 2002 correspondia a aproximadamente 360 mil hectares e em 2019 o estado possuía uma área de aproximadamente 1,5 milhões de hectares de lavoura.

A figura 9 demonstra a evolução da área plantada nos municípios do Tocantins ao longo dos anos de 2000 a 2019. Observa-se que os aumentos de área plantada ocorrem principalmente nas divisas com os estados de Mato Grosso e Pará, bem como Maranhão, Piauí e Bahia. A região central do estado também tem um aumento considerável da área plantada, principalmente ao entorno de Porto Nacional.

Figura 9 – Área Plantada nos Municípios do Tocantins (2000-2019) – em mil ha



Com base na tabela 2 a seguir, o crescimento da área plantada no estado é intensificado a partir do ano de 2002, decorrente da dinâmica de crescimento oriunda da expansão agrícola para o Cerrado, esforços políticos para a criação do Matopiba e empresas do segmento do agronegócio que se instalaram no estado, especialmente na região de Porto Nacional-TO.

Tabela 2 - Evolução do Crescimento da Área Plantada (ha) no Tocantins (2000-2019)

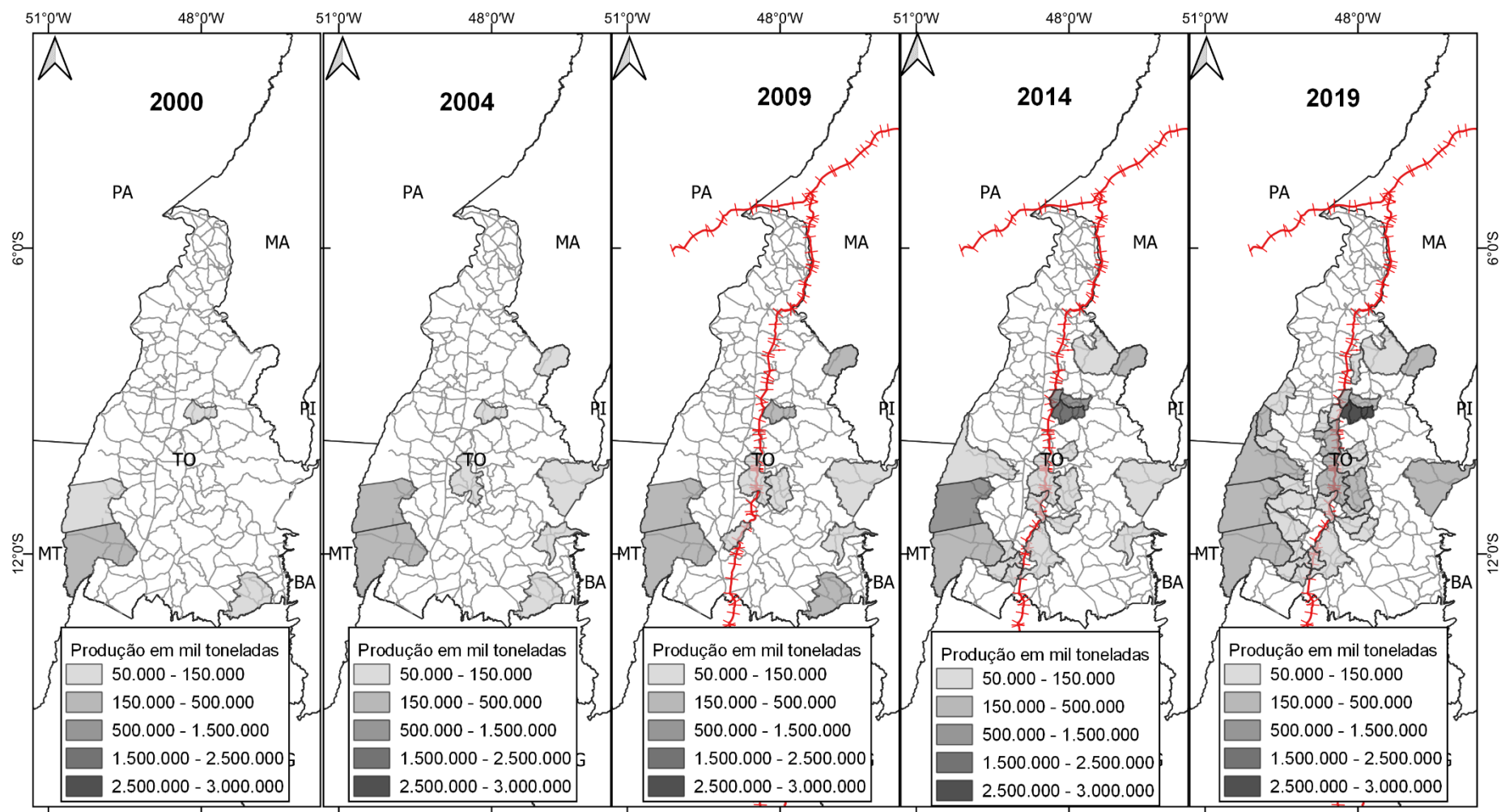
Ano	Crescimento (%)
2000	-1,793
2001	6,732
2002	14,718
2003	14,744
2004	31,635
2005	26,561
2006	-13,047
2007	-2,113
2008	10,586
2009	-5,202
2010	8,138
2011	6,314
2012	3,534
2013	13,846
2014	23,751
2015	15,856
2016	2,396
2017	4,056
2018	6,152
2019	4,831

Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE - Pesquisa da Pecuária Municipal

4.1.3. Crescimento da produção

A evolução da produção total do estado é evidenciada na figura 10, sendo que em 2019 o estado ultrapassou as 8 milhões de toneladas de produtos agrícolas produzidos no Tocantins.

Figura 10 – Produção Agrícola nos Municípios do Tocantins (2000-2019) – em mil ton.



A Tabela 3 apresenta a evolução do crescimento da produção dos produtos agrícolas no estado do Tocantins no período de 2000 a 2019.

Tabela 3 - Evolução do Crescimento da Produção dos Produtos Agrícolas no Tocantins (2000-2019)

Ano	Crescimento (%)	Ano	Crescimento (%)
2000	4,233	2010	9,025
2001	14,609	2011	54,469
2002	-2,007	2012	-6,363
2003	52,411	2013	14,700
2004	5,449	2014	26,075
2005	16,605	2015	12,157
2006	-12,876	2016	-8,214
2007	5,273	2017	14,434
2008	21,016	2018	5,356
2009	11,941	2019	2,910

Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE - Pesquisa da Pecuária Municipal

No estado do Tocantins observa-se um crescimento quase linear do PIB desde os anos 2000, com taxas de crescimento contínuas e acima de dois dígitos. Ao final do período de análise, mais precisamente a partir do ano de 2013, as taxas de crescimento sofrem uma redução, chegando aos 4% no ano de 2018, conforme evidenciado na tabela 4

Tabela 4 - Crescimento do PIB e PIB *per capita* no Tocantins em % (2003-2018)

Ano	PIB	PIB <i>per capita</i>	Valor adicionado da Agricultura
2003	24,232	21,570	83,343
2004	9,667	8,748	-7,237
2005	6,285	2,786	-12,766
2006	12,304	10,046	-16,235
2007	17,760	26,170	8,952
2008	18,872	15,447	60,021
2009	12,986	11,974	27,184
2010	19,832	11,921	8,452
2011	11,831	10,440	20,419
2012	12,748	11,408	11,791
2013	15,046	10,343	15,898
2014	10,055	8,678	21,888
2015	10,466	9,134	3,233
2016	9,176	7,913	5,970
2017	7,989	6,780	14,915
2018	4,568	4,231	0,792

Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE - Pesquisa da Pecuária Municipal

O efeito da agricultura no crescimento já constatado na literatura anterior consiste na hipótese de que a agricultura contribui para o crescimento econômico. Um setor agrícola com baixo desempenho geralmente resulta em termos de troca contrários a indústria, por exemplo, em restrição da expansão industrial, por não fornecer os insumos necessários de acordo com demanda. Por outro lado, o crescimento agrícola viabiliza o consumo doméstico e contribui para as exportações agrícolas (HWA, 1988).

Os dados contidos na tabela 5 demonstram a evolução da exportação do Tocantins, agregado por tipo de produto. Os produtos agrícolas, *commodities*, produtos de baixo valor agregado, tais com a soja, carnes (bovina), milho são os produtos exportados pelo estado. A predominância de produtos agrícolas, em especial, a soja, são uns dos indicadores do baixo nível industrial do estado.

A soja é o principal produto de exportação do Tocantins, em 2020, por exemplo, a exportação da soja e seus derivados totalizaram mais de US\$ 840 milhões de US\$ 1,3 bilhões do total das exportações, vide tabela 5. O estado ao longo dos anos tem se especializado na produção da soja em detrimento de outros potenciais produtos do tipo exportação, a exemplo disso, desde o ano de 2002 mais de 60% da exportação é referente a soja e seus derivados. Mais de 80% das exportações tocantinenses são oriundas do agronegócio (soja, milho e carnes).

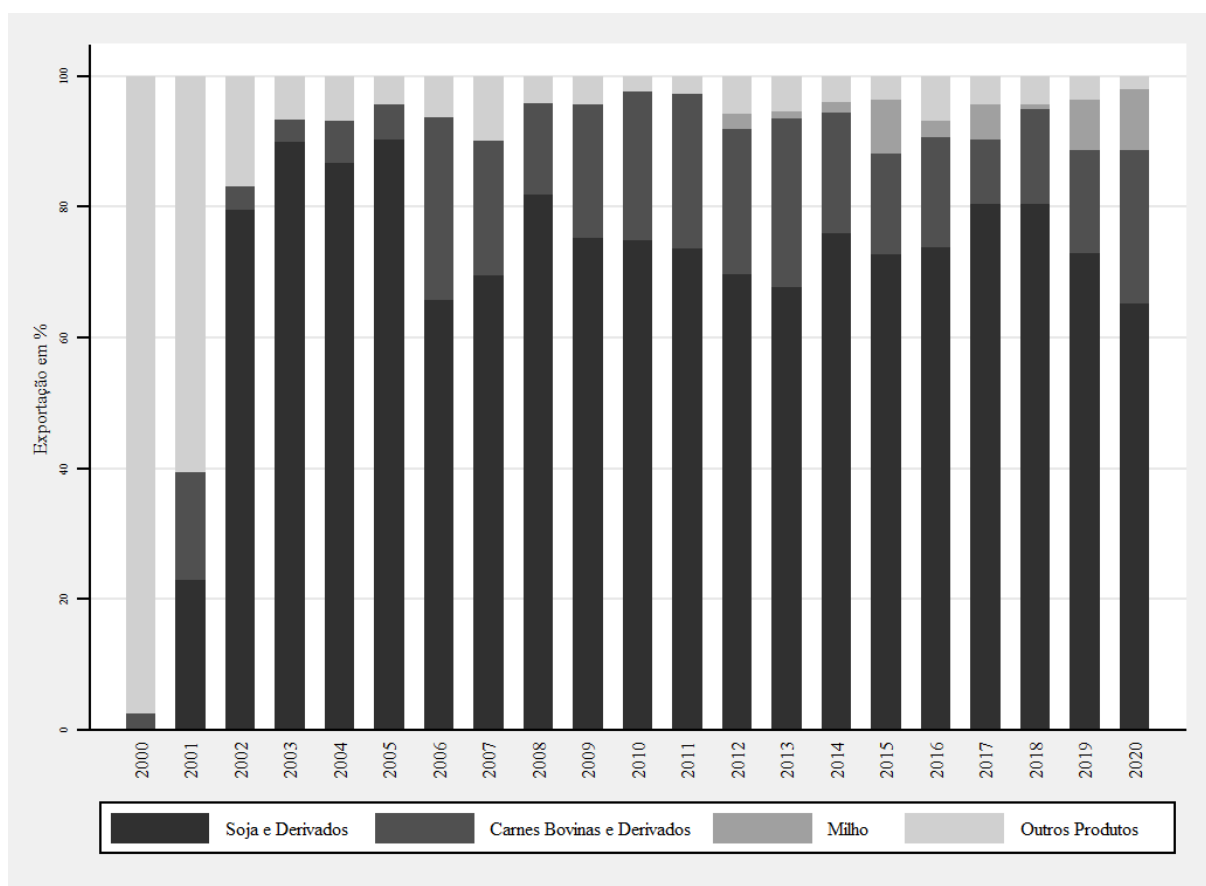
Tabela 5 - Exportação por tipo de produto (Valores em mil US\$)

Ano	Soja e Derivados	Carnes (Bovina)	Milho	Demais Produtos	Total	Crescimento a.a. (%)
2000		110		4.293	4.403	
2001	810	587		2.153	3.550	(19)
2002	5.964	269		1.265	7.498	111
2003	44.492	1.711		3.292	49.495	560
2004	99.919	7.541		7.900	115.359	133
2005	130.993	7.624		6.416	145.034	26
2006	104.055	44.178		10.138	158.371	9
2007	89.140	26.532		12.657	128.329	(19)
2008	242.880	41.622		12.565	297.068	131
2009	200.901	54.605		11.541	267.048	(10)
2010	256.324	77.774		8.175	342.274	28
2011	373.395	119.757		13.794	506.946	48
2012	453.643	144.438	15.090	37.878	651.049	28
2013	474.000	180.721	6.844	38.424	699.989	8
2014	730.594	177.494	15.318	39.162	962.569	38
2015	673.771	142.723	75.840	34.218	926.552	(4)
2016	514.702	117.889	16.759	48.549	697.899	(25)
2017	792.881	96.532	54.344	42.270	986.026	41
2018	597.696	108.584	5.576	32.279	744.135	(25)
2019	764.928	164.676	81.045	38.434	1.049.084	41
2020	847.165	303.247	120.812	27.435	1.298.659	24

Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE - Pesquisa da Pecuária Municipal

No cenário nacional as exportações de soja e milho também são destaque, ocupando a primeira colocação em montante exportado, seguido pelo Minério de Ferro e Petróleo. O Tocantins não é um produtor de ferro e petróleo, com isso a produção tocantinense é essencialmente dedicada aos produtos agropecuários (grãos e carnes). Essa evolução é demonstrada na figura 11 a seguir.

Figura 11 – Evolução da composição das Exportações do Tocantins (2000-2020)



Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE - Pesquisa da Pecuária Municipal

A importância da exportação para o crescimento econômico reside no fato de que a abertura comercial possui um efeito relevante no crescimento econômico. O crescimento econômico é decorrente do impacto das exportações, em forma de externalidades, no mercado interno por conta dos efeitos multiplicadores do comércio internacional. Esses efeitos incrementam a geração de emprego e renda e por sua vez induzem outros setores a promoverem tal dinâmica.

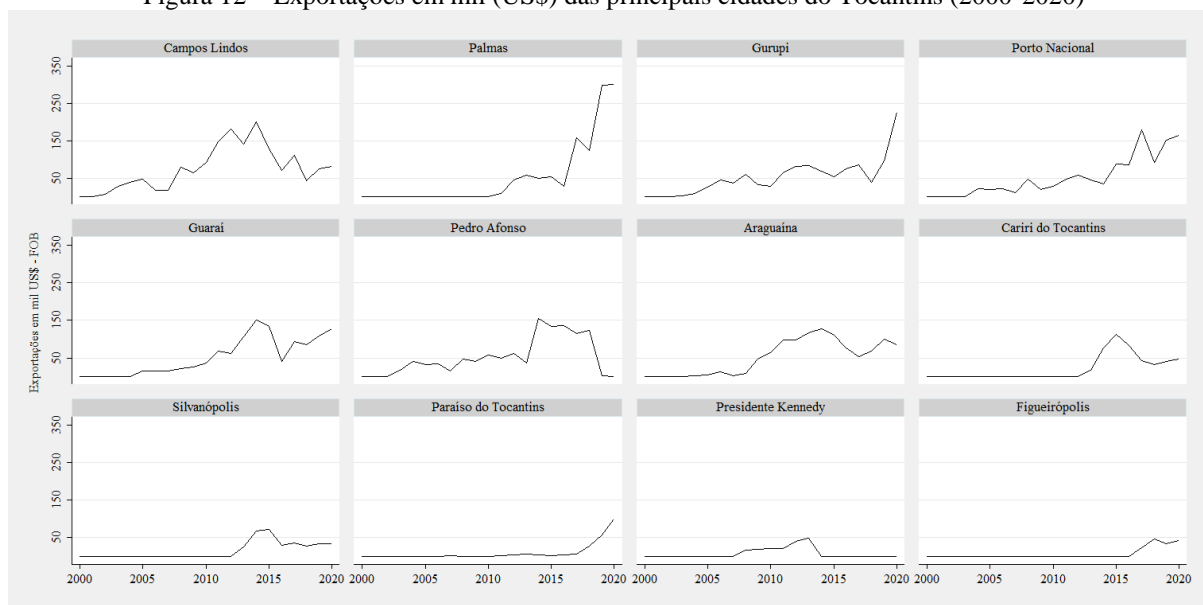
O processo de exportação pode promover um círculo de desenvolvimento, tornando-o sustentável no longo prazo. Um dos primeiros autores a desenvolver um modelo com vias a

testar a hipótese de que o crescimento das exportações e o crescimento do PIB estão relacionados, com destaque para as externalidades positivas inter setoriais oriundas do setor exportador para a economia como todo foi Feder (1983) (AHUAJI FILHO; RAIHER, 2018).

4.1.4. Polos de crescimento

As cidades que possuem volume relevante no que tange às exportações no estado do Tocantins são Palmas, Gurupi e Porto Nacional, as quais possuem um volume superior a 150 milhões de dólares nos últimos anos (figura 12). Cidades como Campos Lindos, Guaraí, Pedro Afonso tiveram relevância no passado, mas nos últimos anos não mantém um ritmo de crescimento nas exportações, com exceção de Guaraí, cidade que retoma um pequeno crescimento nas exportações. Campos Lindos e Pedro Afonso ao longo dos anos reduziram suas exportações. Pedro Afonso, por exemplo, não possui valor referente a exportação no último ano (2020).

Figura 12 – Exportações em mil (US\$) das principais cidades do Tocantins (2000-2020)



Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE - Pesquisa da Pecuária Municipal

Cabe destacar que o trabalho de Cerqueira (2016) em análise dos municípios tocantinenses de Campos Lindos, Formoso do Araguaia, Lagoa da Confusão, Pedro Afonso e Porto Nacional constatou um crescimento econômico significativo nestes municípios, bem como melhoria em indicadores como educação, longevidade e renda. Por outro lado, o autor ainda destaca que existe um crescimento quase que proporcional de pobreza de grande parte dessas populações. Tais efeitos também foram encontrados em específico no município de

Pedro Afonso após o Programa de Cooperação Nipobrasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados (Prodecer) (RODRIGUES; VASCONCELOS; BARBIERO, 2009).

4.2. Relação entre o agronegócio e o crescimento econômico no estado do Tocantins

4.2.1. Estatística Descritiva

Com a premissa de que o agronegócio impulsiona o crescimento econômico, foram estimadas regressões com o propósito de identificar o impacto do agronegócio e suas exportações para o crescimento econômico, adotando o modelo de Awokuse e Xie (2015), conforme a função a seguir:

$$(8) \quad PIB_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{áreaplantada}_{it} + \beta_2 \text{produção}_{it} + \beta_3 \text{exportação}_{it} + \beta_4 \text{exportação/importação}_{it} + \varepsilon_{it}$$

Em que:

PIB_{it} representa taxa de crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*;
 áreaplantada_{it} equivale ao investimento em capital físico, sendo utilizado como *proxy* a variável área plantada;

produção_{it} corresponde ao volume total da produção agrícola; exportação_{it} corresponde ao crescimento das exportações e;

$\text{exportação/importação}_{it}$ corresponde a relação entre o total das exportações e importações (termos de troca). Todos os valores foram convertidos para logaritmo natural tal como o trabalho de Awokuse e Xie (2015).

Para fins de informação, a tabela 6 evidencia a estatística descritiva dos valores absolutos dos dados. Nesse caso, o valor médio do PIB para os municípios do Tocantins corresponde a \$ 135.762 enquanto o PIB *per capita* é de \$ 10.755. Ressalta-se que a média é influenciada pelos valores mínimos e máximos. Em termos de produção, a média da produtividade da produção corresponde a 30 mil toneladas.

Para o investimento em capital físico, foi utilizado como *proxy* o indicador da área plantada. Foram utilizados os indicadores da produção, exportação e a razão entre Exportação/Importação para captar os efeitos das externalidades.

Tabela 6 - Estatística Descritiva considerando os valores absolutos das variáveis.

Estatística	PIB	PIB per capita	Área Plantada (ha)	Produção (ton)	Exportações (FOB US\$)	Importações (FOB US\$)
Média	135.762,70	10.754,67	5.937,978	30.605,97	3.452.402	942.625,70
Desvio Padrão	519.882,50	8.492,923	12.198,98	136.746,20	17.000.000	9.025.808
Assimetria	10,948	2,761	4,330	14,029	6,504	12,951
Curtose	150,136	15,049	27,470	236,207	51,067	193,428
Valor Mínimo	4,971	1.670,40	0,00	0,00	0,00	0,000
Valor Máximo	9.425.132	80.738,87	124.105	2.861.473	201.000.000	182.000.000

Fonte: Dados da Pesquisa

A tabela 7 apresenta os valores de correlação para cada uma das variáveis presentes no modelo. Para a variável PIB foi considerado o PIB *per capita* de todos os 139 municípios do Tocantins. A utilização do PIB *per capita* é consistente como o indicador de crescimento econômico para uma determinada região.

Tabela 7 - Correlação entre as Variáveis

Variáveis	PIB Per Capita	Área Plantada	Produção	Exportação	Importação	Exportação /Importação
<i>PIB Per Capita</i>	1					
<i>Área Plantada</i>	0,504	1				
<i>Produção</i>	0,365	0,521	1			
<i>Exportação</i>	0,379	0,459	0,447	1		
<i>Importação</i>	0,144	0,135	0,0696	0,303	1	
<i>Exportação/Importação</i>	0,126	0,0117	0,0002	0,115	-0,006	1

Fonte: Dados da Pesquisa

Em análise da tabela de correlação não há correlações que enviesem os resultados do modelo proposto. Devido a não existência de correlações elevadas há indícios de que o modelo está parcimonioso, o que resulta em um bom ajustamento da regressão estimada.

4.2.2. Resultados do Modelo

A tabela 8 apresenta os resultados das regressões estimadas para a equação (8). Para fins de decisão de escolha do modelo de dados em painel, foi utilizado o teste de *Hausman*. O teste estatístico é usado para determinar se é apropriado usar um modelo de efeitos fixos ou um modelo de efeitos aleatórios em dados de painel.

O teste foi desenvolvido por *Jerry Hausman* e é baseado na comparação da diferença entre os coeficientes estimados pelos dois modelos. Por meio do teste foi possível constatar que é apropriado a utilização do modelo de efeitos fixos ($X^2 = 54,82$, p-valor 0,000). Em relação a qualidade do ajustamento do modelo o resultado do r^2 foi de 34% de explicação, isso quer dizer que as variáveis explicam 34% do crescimento do PIB *per capita* do estado.

Tabela 8 - Relação do Agronegócio com o Crescimento Econômico (2003-2018)

Variáveis Explanatórias	PIB Per Capita
<i>Área Plantada</i>	0,461*** (7,68)
<i>Produção</i>	0,010*** (4,97)
<i>Exportação</i>	0,001*** (2,68)
<i>Exportação/Importação</i>	2,006 (1,23)
<i>Constante</i>	7,295*** (17,58)
<i>Observações</i>	2.224
<i>Número de id</i>	139
R^2	0,3397
r^2	0,34

Obs.: ***, **, * significante a 1%, 5% e 10%, respectivamente. A estatística-t é informada entre parênteses. As funções foram estimadas com erros-padrão robustos de White, corrigidos para heterocedasticidade. PIB_{it} representa o Produto Interno Bruto (PIB); $PIB\ per\ capita_{it}$ representa o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*; $Área\ Plantada_{it}$ equivale ao investimento em capital físico, sendo utilizado como *proxy* a variável área plantada; $Produção_{it}$ corresponde ao volume total da produção agrícola; $Exportação_{it}$ e $importação_{it}$ corresponde ao valor das exportações em US\$ e $exportação/importação_{it}$ corresponde a relação entre o total das exportações e importações (termos de troca).

A primeira análise realizada consiste no efeito do capital físico para o crescimento do PIB nos municípios do Tocantins. O resultado do coeficiente apresentou sinal positivo e significativo a 1%, indicando que o aumento da área destinada ao plantio tem efeito positivo no

crescimento econômico dos municípios do estado. O aumento da área plantada contribui para o crescimento da região pois aumentos de áreas plantadas estão relacionados com aumentos da produção agrícola. Devido a novos sistemas de produção que promovem uma alocação mais eficiente da terra, os quais consideram as diferentes condições do território, a área plantada tem a sua contribuição relevante para o aumento da produtividade e conseqüentemente para o crescimento de uma região.

O efeito da produção, ou seja, o crescimento da produção agrícola, apresentou efeito positivo e estatisticamente significativo para o crescimento econômico dos municípios do Tocantins. Em outras palavras, o crescimento da produção agrícola contribui positivamente para o crescimento econômico no estado do Tocantins. Em termos de efeitos da produção agrícola no crescimento econômico do estado, é possível dizer que o aumento da produção impacta em média 0,05% de crescimento no PIB do Tocantins.

O crescimento da exportação apresentou significância estatística para fins de efeito no crescimento econômico e sinal positivo, indicando que as exportações também contribuem para o crescimento econômico no estado do Tocantins, embora o seu efeito seja inferior ao observado da produção agrícola.

Trabalhos anteriores tais como o de Carmo, Raiher e Stege (2017) indicam a existência do efeito indireto das exportações sobre o crescimento econômico das regiões brasileiras. Os mesmos autores ainda observam que os efeitos são prejudicados por uma concentração das exportações nas regiões sul e sudeste do país, o que pode indicar problemas, em termos de distribuição de riqueza entre as regiões, especialmente nas regiões Norte e Nordeste. Não foi possível confirmar o efeito de externalidades positivas oriundas da relação Exportação/Importação no PIB dos municípios.

Em suma, os resultados indicam que o crescimento da agricultura, registrado no período de 2003 a 2018, contribui para o crescimento econômico do estado de modo geral, inclusive considerando os efeitos por município. Estes resultados são consistentes com trabalhos realizados anteriormente (GOLLIN; PARENTE; ROGERSON, 2002; HWA, 1988).

4.3. Índice Tecnológico do Agronegócio No Estado Do Tocantins

Neste tópico são apresentados os resultados do índice tecnológico do agronegócio aplicado a uma região específica. Tendo em vista que as variáveis já foram definidas no capítulo

da metodologia, é necessário realizar a análise fatorial para identificar os pesos de cada uma das variáveis no índice.

4.3.1. Apresentação das variáveis que compõem o índice

Para construção do índice foi considerado um *pool* de variáveis que contribuem para o avanço da tecnologia no agronegócio do Tocantins. A principal diferença na construção deste índice reside no fato de que a sua aplicação considera o estado como todo e não empresas ou segmentos específicos.

Para fins de divulgação, os dados aqui serão apresentados em relação ao tamanho das propriedades do agronegócio, conforme definição da tabela 9, ou seja, estabelecimentos considerados pequenos até grandes propriedades. Todos os dados possuem como data base o ano de 2017.

Tabela 9 - Estabelecimentos por grupos de área totais

Grupos de área total	Total de Estabelecimentos
Mais de 0 a menos de 10 ha	6.678
De 10 a menos de 50 ha	26.596
De 50 a menos de 500 ha	23.960
De 500 a menos de 2500 ha	4.869
De 2.500 ha e mais	936
Total	63.039

Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

4.3.1.1. Disponibilidade de Internet

A disponibilidade e o acesso à internet é crucial para a digitalização do agronegócio, pois as novas tecnologias existentes utilizam a internet como base para o seu funcionamento. Atualmente discutir sobre modernização da agropecuária é preciso pensar em infraestrutura de redes e acesso à internet, afinal de contas as novas tecnologias funcionam conectadas à internet. A internet também pode ser considerada uma importante fonte de informações sobre novas tecnologias e capacitação dos produtores.

As percentagens de estabelecimentos que continham acesso à internet no Tocantins por grupos de área total são apresentadas na tabela 10 a seguir.

Tabela 10 - % Estabelecimentos que possuem disponibilidade de Internet

Grupos de área total	Total	% Estabelecimentos com acesso à internet
Mais de 0 a menos de 10 ha	6.678	28,5%
De 10 a menos de 50 ha	26.596	15,5%
De 50 a menos de 500 ha	23.960	14,4%
De 500 a menos de 2.500 ha	4.869	23,8%
De 2.500 ha e mais	936	48,5%
Total	63.039	17,56%

Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

Com base nos dados do Censo Agropecuário (2017) realizado pelo IBGE é possível ter uma noção da baixa disponibilidade de internet no agronegócio Tocantinense. Apenas 17,6% dos estabelecimentos possuem algum tipo de acesso à internet.

Para viabilização da agricultura digital é necessário que a disponibilidade de internet seja de alta velocidade, com isso apenas 3,8% dos estabelecimentos possuem acesso à internet de alta velocidade (banda larga), vide tabela 11. No caso da internet móvel não é possível ter razoável certeza se a internet disponibilizada é de alta velocidade, por exemplo, nos padrões 4G.

Tabela 11 - %Estabelecimento com Acesso à Internet

Acesso à Internet	Tocantins	%
Internet (não)	52.582	82,4%
Internet (sim)	11.226	17,6%
Total	63.808	100,0%
Internet Banda Larga	2.438	3,8%
Internet discada por linha	159	0,2%
Internet móvel	9.226	14,5%

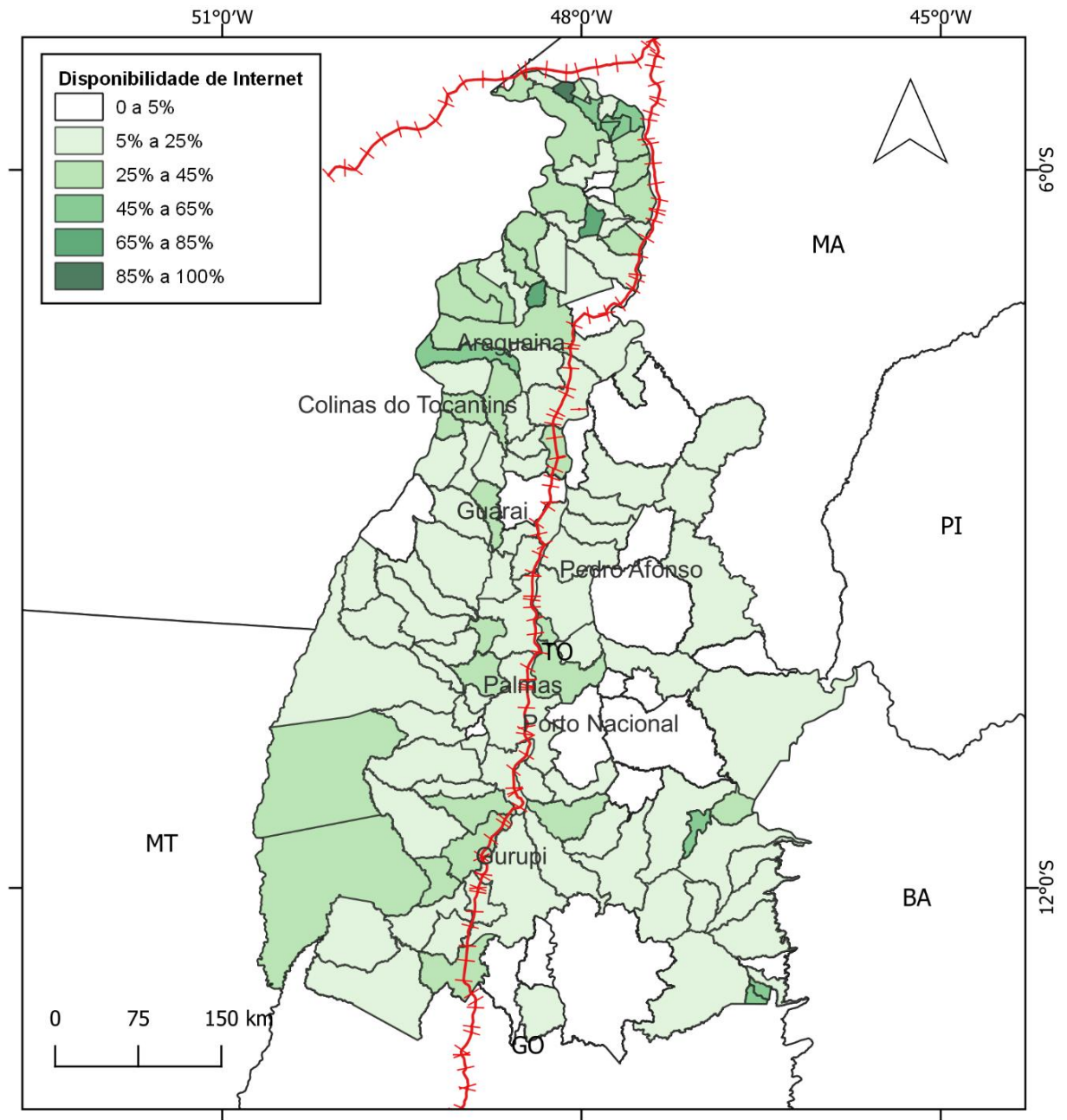
Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

Entre as atividades associadas à Internet das Coisas, a principal é o gerenciamento contínuo e em tempo real do negócio. A utilização de sensores que analisam as condições do solo e dos itens de cultura, proporcionam um plantio inteligente de sementes e aplicação de outros insumos (adubos, fertilizantes, defensivos agrícolas etc.).

Um dos maiores benefícios do monitoramento da qualidade do solo e dos itens de cultura, é a redução de custos e desperdícios através do uso ideal de insumos na agricultura de precisão. A medição dos níveis de umidade (água) no solo, possibilita a irrigação diferenciada por espaço. Em relação ao monitoramento dos equipamentos agrícolas e veículos, há um potencial de economia com combustível.

A figura 13 apresenta a disponibilidade de internet pelos municípios do estado.

Figura 13 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Dispõem de Internet



Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

Tendo como base a área total do estabelecimento agropecuário, mesmo assim verifica-se que aqueles estabelecimentos considerados de grande porte, ou seja, com área total superior a 2.500 ha, em sua maioria, ainda não possuem acesso à internet. Das 936 propriedades consideradas de grande porte, 454 possuem acesso à internet, ou seja, 48,5%.

4.3.1.2. Armazéns

Outro aspecto relevante para a digitalização do agronegócio no Tocantins, diz respeito à capacidade de armazenagem. Conforme o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2021) a capacidade de armazenamento do país é um ponto de atenção que necessita de estudos para dimensionamento e também a criação programas de incentivo ao crescimento.

A sazonalidade da produção nas diversas regiões e climas, bem como a regularidade da logística e dos fluxos nos corredores de exportação e portos marítimos demandam preocupação. Qualquer contingência no sistema viário ou portuário em algum dos corredores pode comprometer a segurança e a sustentabilidade do segmento da armazenagem.

Foram calculadas as percentagens de estabelecimentos que possuem algum tipo de armazém, no Tocantins, por grupos de área total. Os resultados são apresentados a seguir (tabela 12).

Tabela 12 - % Estabelecimentos que possuem armazéns

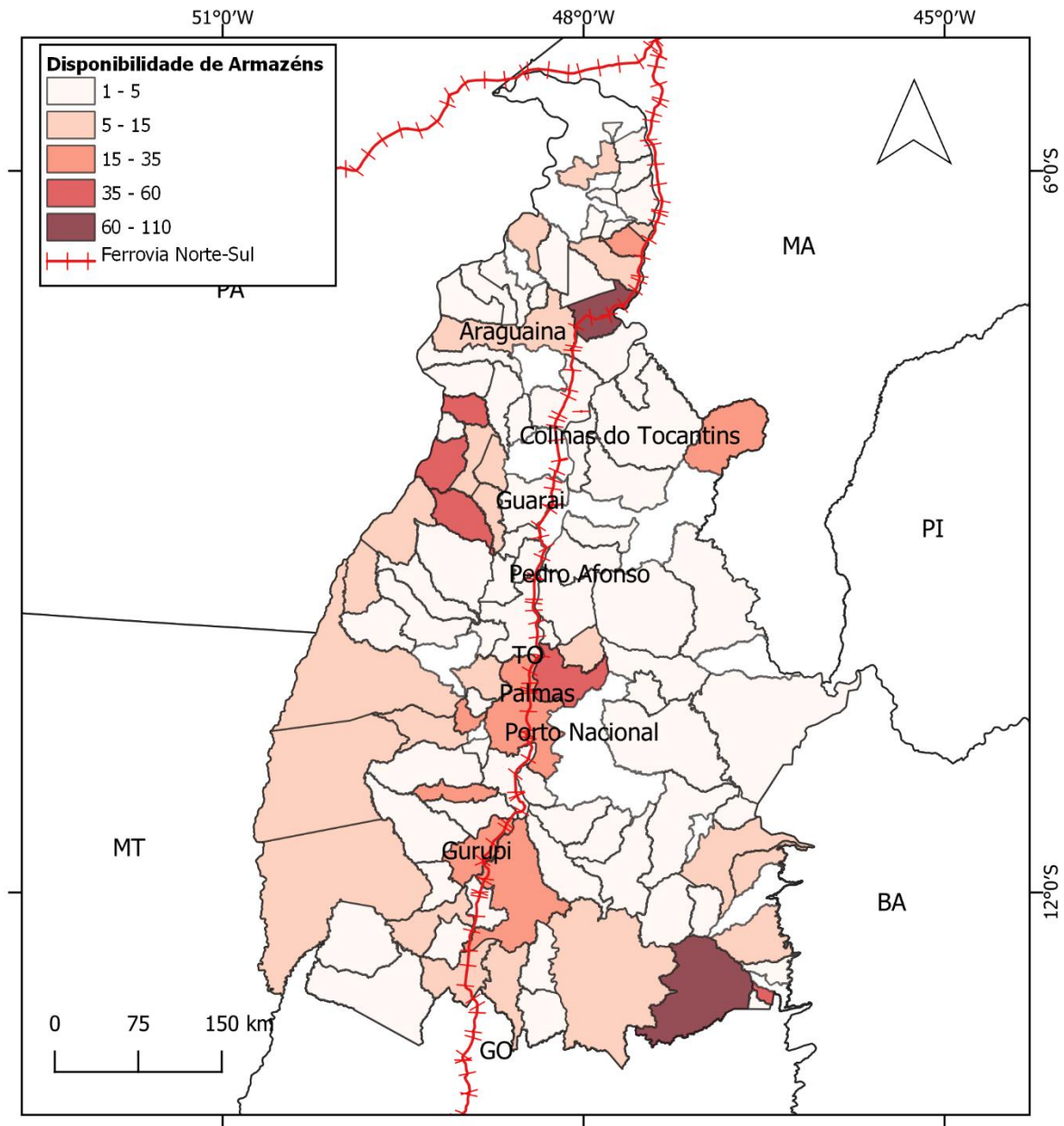
Grupos de área total	Total	% Estabelecimentos que possuem armazéns
Mais de 0 a menos de 10 ha	6.678	0,5%
De 10 a menos de 50 ha	26.596	1,0%
De 50 a menos de 500 ha	23.960	1,5%
De 500 a menos de 2.500 ha	4.869	4,1%
De 2.500 ha e mais	936	15,2%
Total	63.039	1,7%

Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

No estado do Tocantins observa-se que os estabelecimentos maiores áreas detêm uma maior disponibilidade de armazéns para estocagem dos produtos agrícolas. Isso é consistente com uma maior necessidade de capital, tendo em vista que nem todos os estabelecimentos possuem recursos financeiros para investirem em armazéns.

A figura 14, a seguir, demonstra a disponibilidade de armazéns nos municípios do estado do Tocantins. Uma maior disponibilidade de armazéns contribui para o produtor avaliar melhor as condições de venda de seus produtos e inclusive contribui para melhoria da eficiência de políticas tecnológicas para o setor (FERREIRA; VIEIRA FILHO, 2020).

Figura 14 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que possuem Armazéns



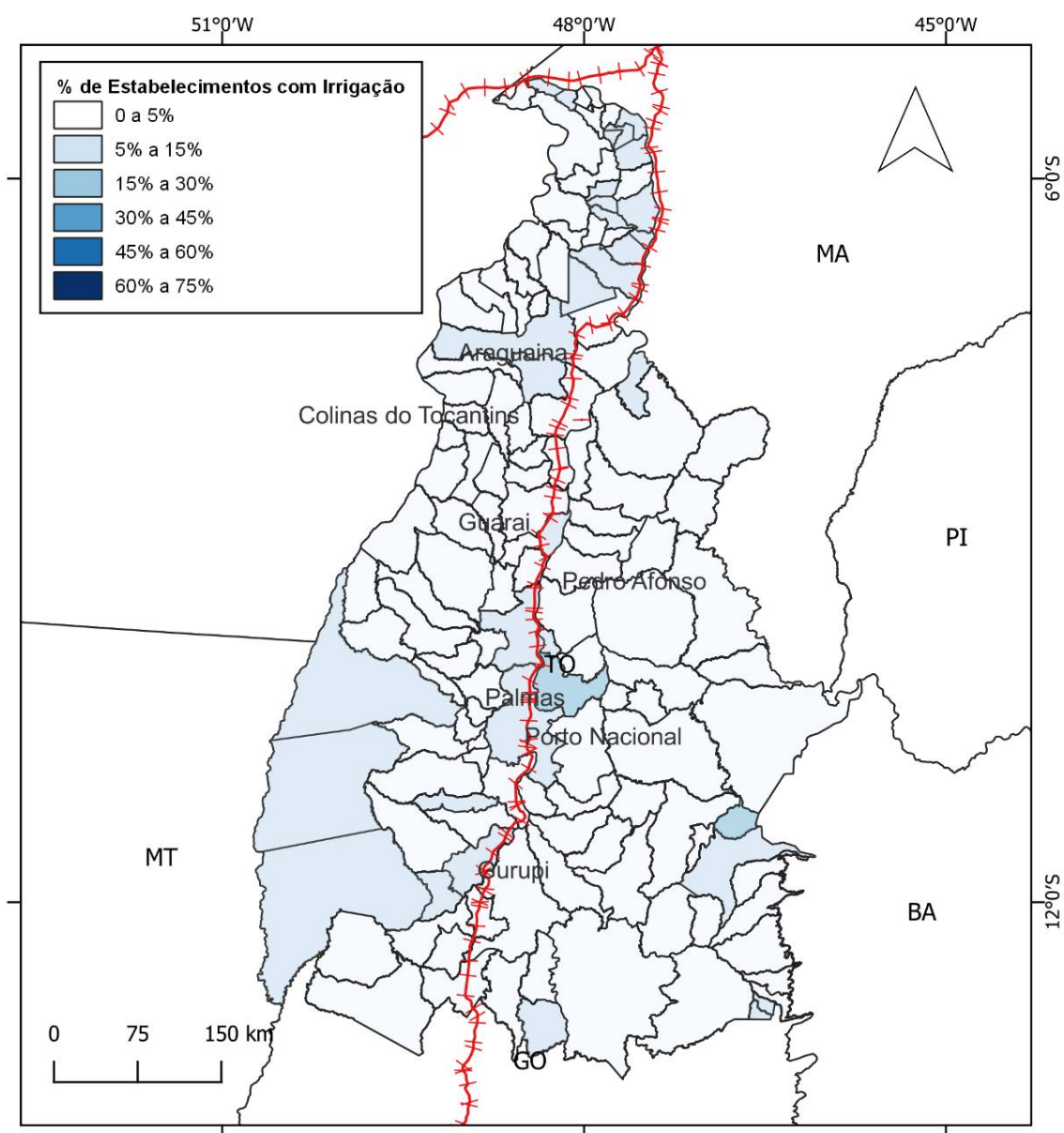
Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

Em comparação ao censo anterior, relativo ao ano de 2006, pouco se melhorou em termos de disponibilidade de armazéns no estado. A produção cresceu e o armazenamento não acompanhou. Em termos percentuais, em 2006, 0,2% dos estabelecimentos agropecuários dispunham de armazém, em 2017 o percentual subiu para apenas 1,7%. Estudos recentes, a exemplo o trabalho de [Ferreira e Vieira Filho \(2020\)](#), demonstram a necessidade de aumento da disponibilidade de armazéns para a região Norte. Tais aumentos poderão levar a ganhos de produtividade em razão do aumento da capacidade de armazenamento.

4.3.1.3. Sistema de Irrigação

Uma temática considerada relevante para o agronegócio diz respeito a otimização do uso da água. Novas tecnologias são requeridas com foco na eficiência do uso da água, inovações nesse setor buscam monitorar por meio de sensores ou atuadores que gerenciam as ações de irrigação (ALBIERO *et al.*, 2020; KIM; EVANS; IVERSEN, 2008). A figura 15, a seguir, demonstra a distribuição dos estabelecimentos que utilizam algum sistema de irrigação nos municípios do Tocantins.

Figura 15 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Utilizam Sistema de Irrigação



Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

Em termos de irrigação, as tabelas 13 e 14 apresentam detalhadamente o quantitativo de estabelecimentos que utilizam métodos de irrigação e os tipos. A irrigação é um segmento do agronegócio que tem grande capacidade de automatização, seja por meio de tecnologias já existentes ou pelo uso de aplicativos interligados a sensores inteligentes, entre outros.

No Painel A (tabela 13) é apresentado o número de estabelecimentos que utilizam a irrigação localizada e por superfície.

Tabela 13 - Estabelecimentos Agropecuários com o uso de Irrigação - Painel A

Área da Lavoura	Irrigação localizada			Irrigação por superfície		
	Gotejamento	Microaspersão	Outros métodos	Inundação	Sulcos	Outros métodos
Maior de 0 a 1 ha	77	60	8	6	3	2
De 1 a 2 ha	84	47	7	4	2	1
De 2 a 5 ha	171	73	15	11	6	7
De 5 a 10 ha	64	37	9	1	8	2
De 10 a 20 ha	33	22	3	1	6	3
De 20 a 50 ha	21	17	2	6	1	2
De 50 a 100 ha	10	6		16	3	1
De 100 a 200 ha	10	4		20	3	2
De 200 a 500 ha	10	3	1	30	3	
De 500 e mais ha	10	1		42	11	3
Sem área de lavoura	43	22	4	24	5	6
Total	533	292	49	161	51	29

Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

No Painel B (tabela 14) é apresentado o número de estabelecimentos que utilizam a irrigação por aspersão localizada e por outros métodos.

Tabela 14 - Estabelecimentos Agropecuários com o uso de Irrigação - Painel B

Área da Lavoura	Irrigação por aspersão			Outros métodos de irrigação		Total
	Autopropelido/ carretel enrolador	Pivô central	Aspersão convencional	Subsuperficial	Molhação	
Maior de 0 a 1 ha	5	12	68	11	499	704
De 1 a 2 ha	2	6	36	5	115	280
De 2 a 5 ha	6	23	109	26	143	533
De 5 a 10 ha	3	9	42	5	41	188
De 10 a 20 ha	2	1	31	3	12	98
De 20 a 50 ha	3	6	12	1	8	71
De 50 a 100 ha	0	1	3	1	1	36
De 100 a 200 ha	0	1	1	1	2	34
De 200 a 500 ha	4	6	4	3		51
De 500 e mais ha	3	26	2	1	2	83
Sem área de lavoura	5	17	37	11	48	202
Total	33	108	345	68	871	2.280

Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

Adicionalmente foram calculadas as percentagens de estabelecimentos que possuíam algum tipo de sistema de irrigação no Tocantins por grupos de área total. Os resultados são apresentados na tabela 15.

Tabela 15 - % Estabelecimentos com sistema de irrigação

Grupos de área total	Total	% Estabelecimentos com sistema de irrigação
Mais de 0 a menos de 10 ha	6.678	13,7%
De 10 a menos de 50 ha	26.596	2,6%
De 50 a menos de 500 ha	23.960	2,1%
De 500 a menos de 2.500 ha	4.869	2,5%
De 2.500 ha e mais	936	6,5%
Total	63.039	3,6%

Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

Em relação ao sistema de irrigação destaca-se o sistema de informação gestão de alto nível (GAN), o qual realiza o monitoramento e gestão dos recursos hídricos relacionados à disponibilidade de água. O sistema foi desenvolvido pela Universidade Federal do Tocantins e atualmente monitora a bacia do rio Formoso.

4.3.1.4. *Corretivos Agrícolas e Utilização de Agrotóxicos*

Em termos operacionais foram considerados ainda dois importantes critérios, o primeiro diz respeito a utilização de corretivos agrícolas para o tratamento do solo. Os solos do cerrado brasileiro são geralmente ácidos, sendo necessária a correção da acidez para melhoria do aproveitamento dos fertilizantes (PRIMAVESI, 2004). Foi necessário levantar aqueles estabelecimentos que fazem o uso de defensivos agrícolas.

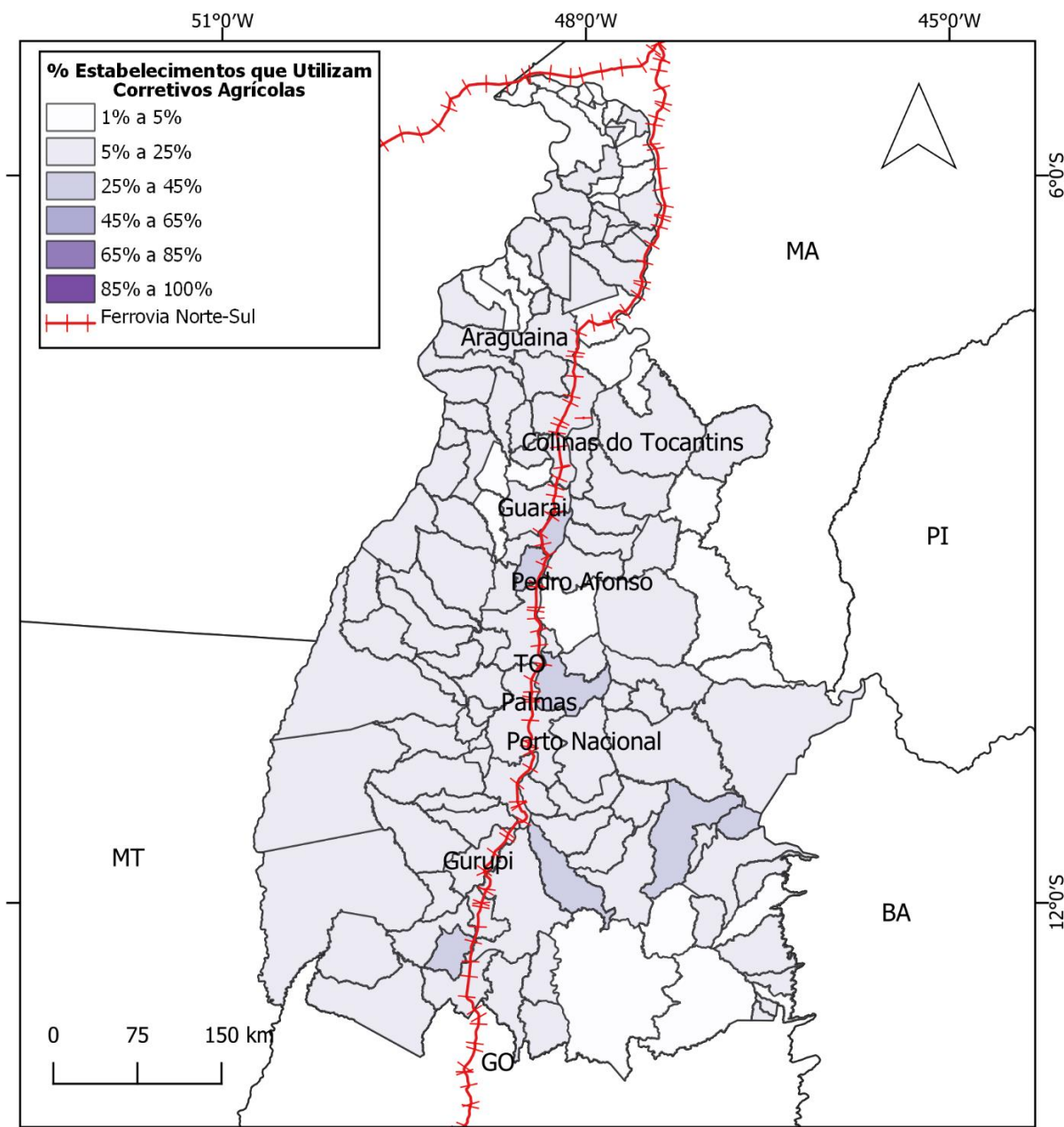
Tabela 16 - % Estabelecimentos que fazem o uso de corretivos para o solo

Grupos de área total	Total	% Estabelecimentos que fazem uso de corretivos para o solo
Mais de 0 a menos de 10 ha	6.678	9,6%
De 10 a menos de 50 ha	26.596	6,8%
De 50 a menos de 500 ha	23.960	10,6%
De 500 a menos de 2.500 ha	4.869	31,0%
De 2.500 ha e mais	936	49,7%
Total	63.039	11,0%

Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

Foram calculadas as porcentagens de estabelecimentos que efetuaram tratamento do solo para plantio com o uso de corretivos, no Tocantins por grupos de área total. A tabela 16, apresenta os resultados dos estabelecimentos que fazem o uso de corretivos para o solo antes do plantio.

Figura 16 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Utilizam Corretivos Agrícolas



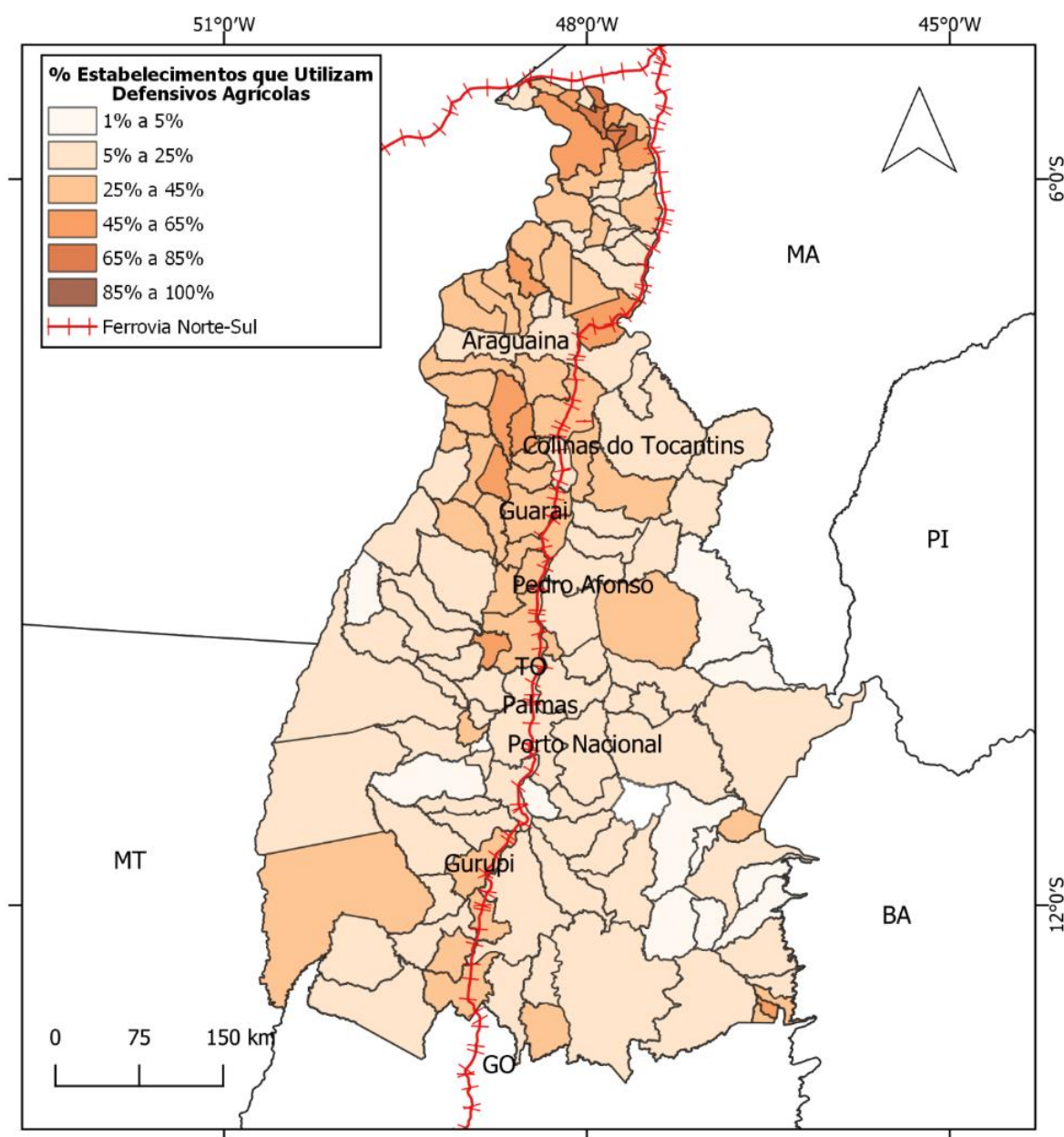
Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

Conforme evidenciado na figura 17, a utilização de corretivos para o solo, embora seja disseminada, ainda não é utilizada massivamente pelos estabelecimentos do estado. Isso pode

indicar uma certa restrição quanto à adoção de novas tecnologias pelos produtores, ou ainda, necessidade de maior qualificação ou orientação técnica a estes produtores.

A seguir são apresentadas as porcentagens de estabelecimentos que utilizam defensivos agrícolas, no Tocantins, por grupos de área total. A figura 18 a seguir evidencia a distribuição dos estabelecimentos agropecuários que utilizam defensivos agrícolas no estado do Tocantins.

Figura 17 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Utilizam Defensivos Agrícolas



Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

Os resultados dos estabelecimentos que fazem o uso de defensivos agrícolas são demonstrados na tabela 17.

Tabela 17 - % Estabelecimentos que fazem o uso de defensivos agrícolas

Grupos de área total	Total	% Estabelecimentos que utilizam agrotóxicos
Mais de 0 a menos de 10 há	6.678	19,1%
De 10 a menos de 50 há	26.596	22,7%
De 50 a menos de 500 ha	23.960	23,4%
De 500 a menos de 2500 ha	4.869	35,3%
De 2.500 ha e mais	936	47,4%
Total	63.039	24,0%

Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

A utilização de defensivos agrícolas é mais disseminada no estado do Tocantins. Os defensivos agrícolas não estão ligados a aumentos de rendimentos da terra, por outro eles contribuem para que o rendimento da terra não caia, devido a uma determinada praga (GUANZIROLI; SABBATO; BUAINAIN, 2020). A utilização de defensivos agrícolas também contribui para a melhoria da eficiência dos estabelecimentos. Além de ser um indicativo da propensão de mudança do padrão tecnológico do produtor (REYNA; BRAGA; MORAIS, 2020).

4.3.1.5. *Preparo do Solo*

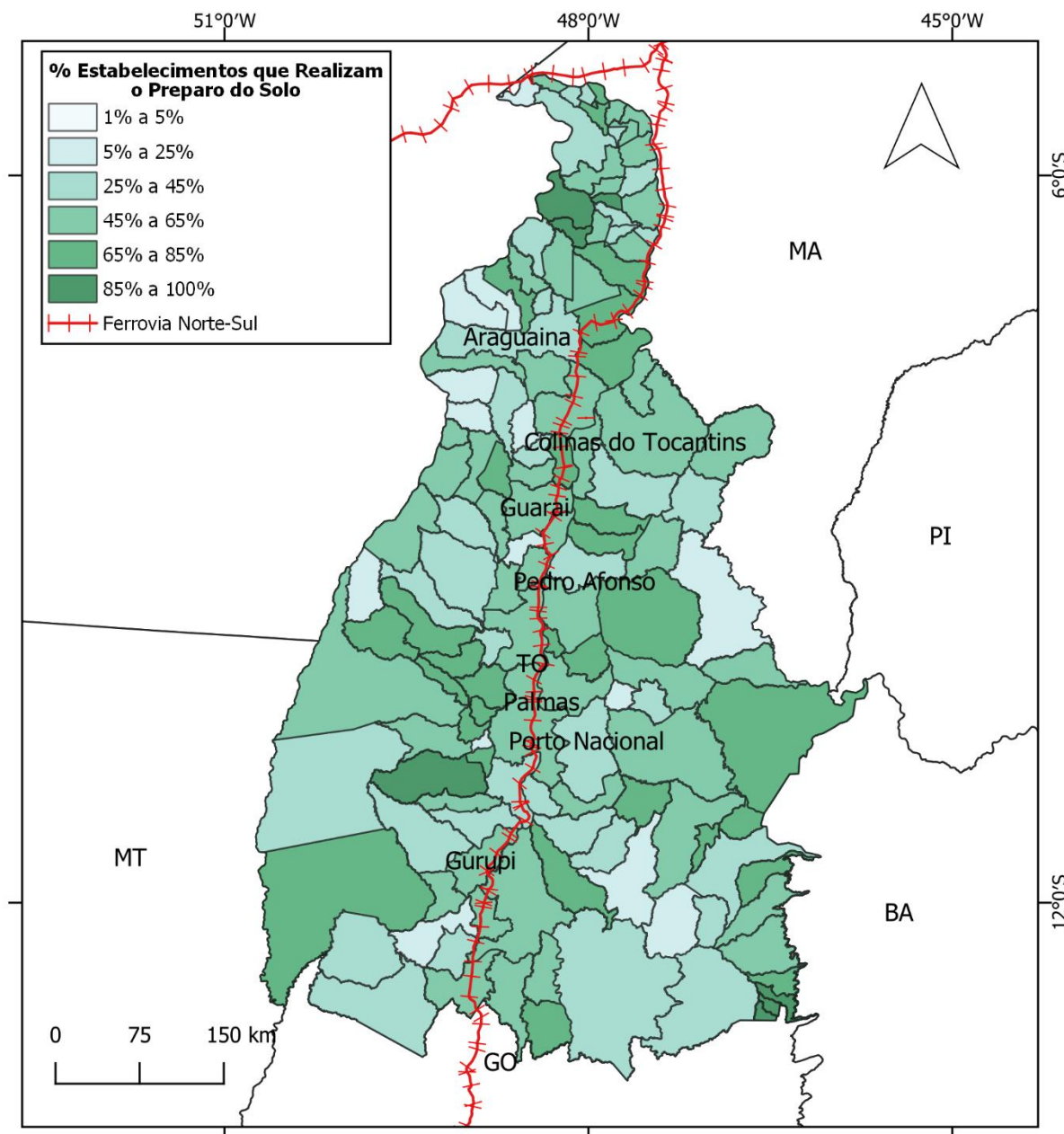
Outro aspecto considerado relevante diz respeito ao preparo do solo, técnica na qual consiste em um conjunto de operações mecânicas que alteram alguns dos atributos físicos do solo, deixando-o em condições de plantio. Os estabelecimentos que realizam o preparo do solo para cultivo, no Tocantins, por grupos de área total são apresentados na tabela 18.

Tabela 18 - % Estabelecimentos que realizam o preparo do solo

Grupos de área total	Total	% Estabelecimentos que realizam o preparo do solo
Mais de 0 a menos de 10 ha	6.678	48,5%
De 10 a menos de 50 ha	26.596	52,9%
De 50 a menos de 500 ha	23.960	50,4%
De 500 a menos de 2500 ha	4.869	56,6%
De 2.500 ha e mais	936	66,2%
Total	63.039	52,0%

Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

Figura 18 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Realizam o Preparo do Solo



Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

Em comparação ao censo anterior, relativo ao ano de 2006, houve um incremento médio de 19% de estabelecimentos que passaram a realizar o preparo do solo. Em 2006, uma média de 33% dos estabelecimentos já realizava o preparo do solo, este percentual subiu para uma média de 52%, demonstrando um bom avanço da tecnologia em questão. O preparo do solo é um indicativo de produtores que são mais propensos a mudanças tecnológicas (SOUZA FILHO *et al.*, 2011).

4.3.1.6. Sementes de Alto Rendimento

A tabela 19 a seguir demonstra o percentual de estabelecimentos que utilizam sementes de alto rendimento em suas lavouras. Para fins de cálculo foram consideradas como alto rendimento as sementes do tipo certificada ou transgênica.

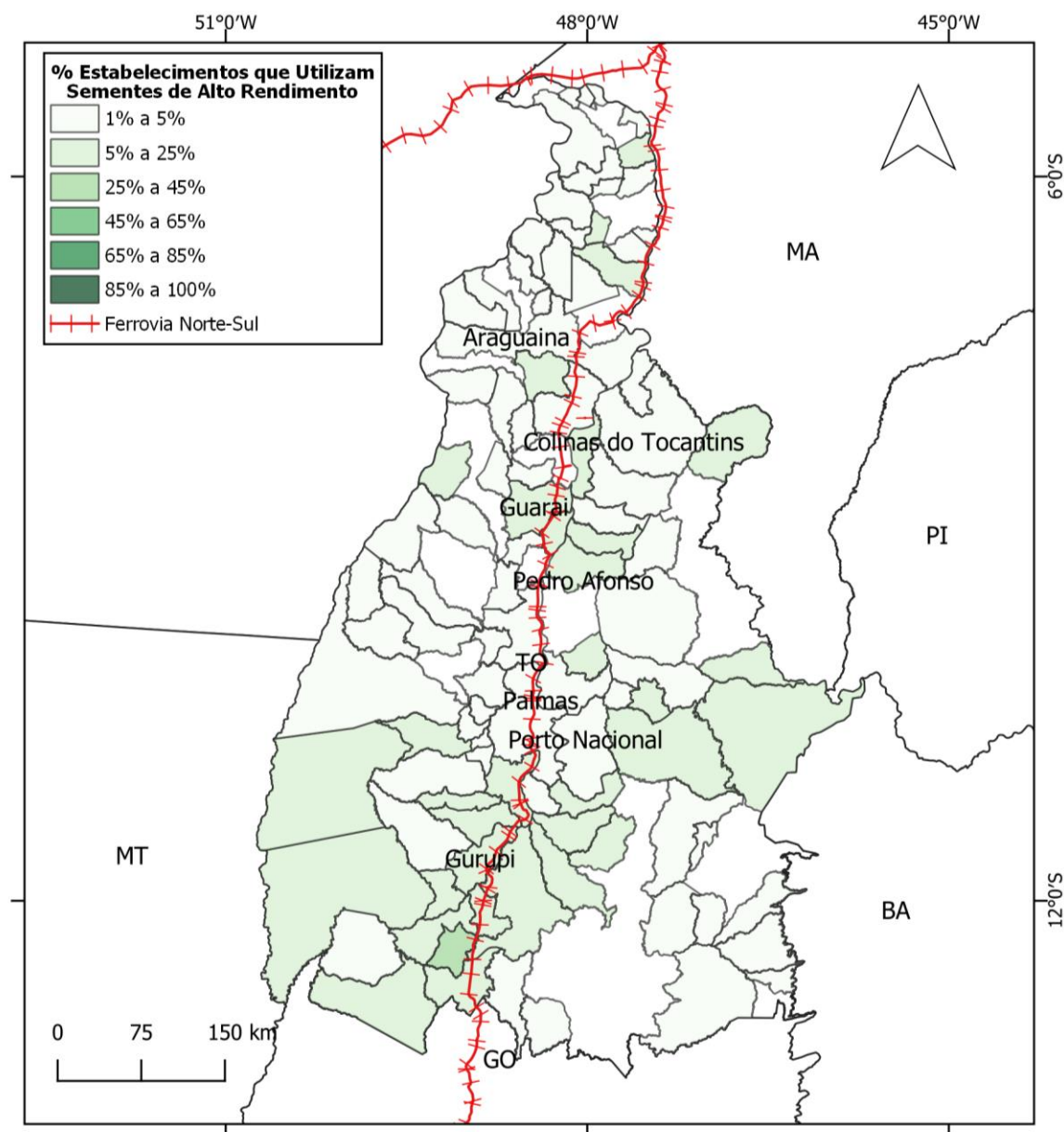
Tabela 19 - % Estabelecimentos que utilizam sementes de alto rendimento

Grupos de área colhida	Total	% Estabelecimentos que utilizam sementes de alto rendimento
Mais de 0 a menos de 10 ha	26.812	5,34%
De 10 a menos de 50 ha	409	34,47%
De 50 a menos de 500 ha	1.003	75,47%
De 500 a menos de 2.500 ha	478	88,08%
Total	28.702	10,22%

Em razão do custo das sementes de alto seu uso é maior em estabelecimentos que dispõem de grandes áreas de lavoura. As inovações que surgiram nas sementes foram rapidamente assimiladas pelos produtores (GUANZIROLI; SABBATO; BUAINAIN, 2020). Essa incorporação contribuiu para o aumento da produtividade, logo sementes mais potentes possibilitam uma maior produtividade por hectare.

A distribuição dos estabelecimentos que fazem o uso de sementes de alto rendimento é apresentada na figura 19.

Figura 19 - Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Utilizam Sementes de Alto Rendimento



Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

4.3.1.7. Orientação Técnica

Orientação técnica é um importante indicador de atualização de processos ou outras técnicas de operação no setor. O recebimento de orientação pelo produtor indica, entre outros aspectos, o desejo de profissionalização, com foco na maximização dos resultados e aumento de produtividade. Seja por meio da implantação de novas tecnologias, utilização de novos processos ou ainda pelo desejo de melhoria contínua. A Embrapa, por exemplo, é um agente

que orienta e desenvolve pesquisa para os produtores com foco no aumento da produtividade do agronegócio (SANTANA; GASQUES, 2020).

A tabela 20 faz o detalhamento dos grupos de produtores que fazem o uso de orientação técnica por grupo de atividade econômica.

Tabela 20 - % Estabelecimentos que receberam orientação técnica

Grupos de atividade econômica	Total	Não recebe	Recebe	%
Aquicultura	211	141	70	33,2%
Horticultura e floricultura	1.034	729	305	29,5%
Pecuária e criação de outros animais	50.470	43.874	6.596	13,1%
Pesca	88	19	69	78,4%
Produção de lavouras permanentes	726	622	104	14,3%
Produção de lavouras temporárias	9.715	8.100	1.615	16,6%
Produção de sementes e mudas certificadas	23	13	10	43,5%
Produção florestal - florestas nativas	1.319	1.228	91	6,9%
Produção florestal - florestas plantadas	222	182	40	18,0%
Total	63.808	54.908	8.900	13,9%

Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

A tabela 21 apresenta a origem das orientações técnicas recebidas. Observa-se que o maior fornecedor de orientação técnica para os estabelecimentos do estado do Tocantins é o governo.

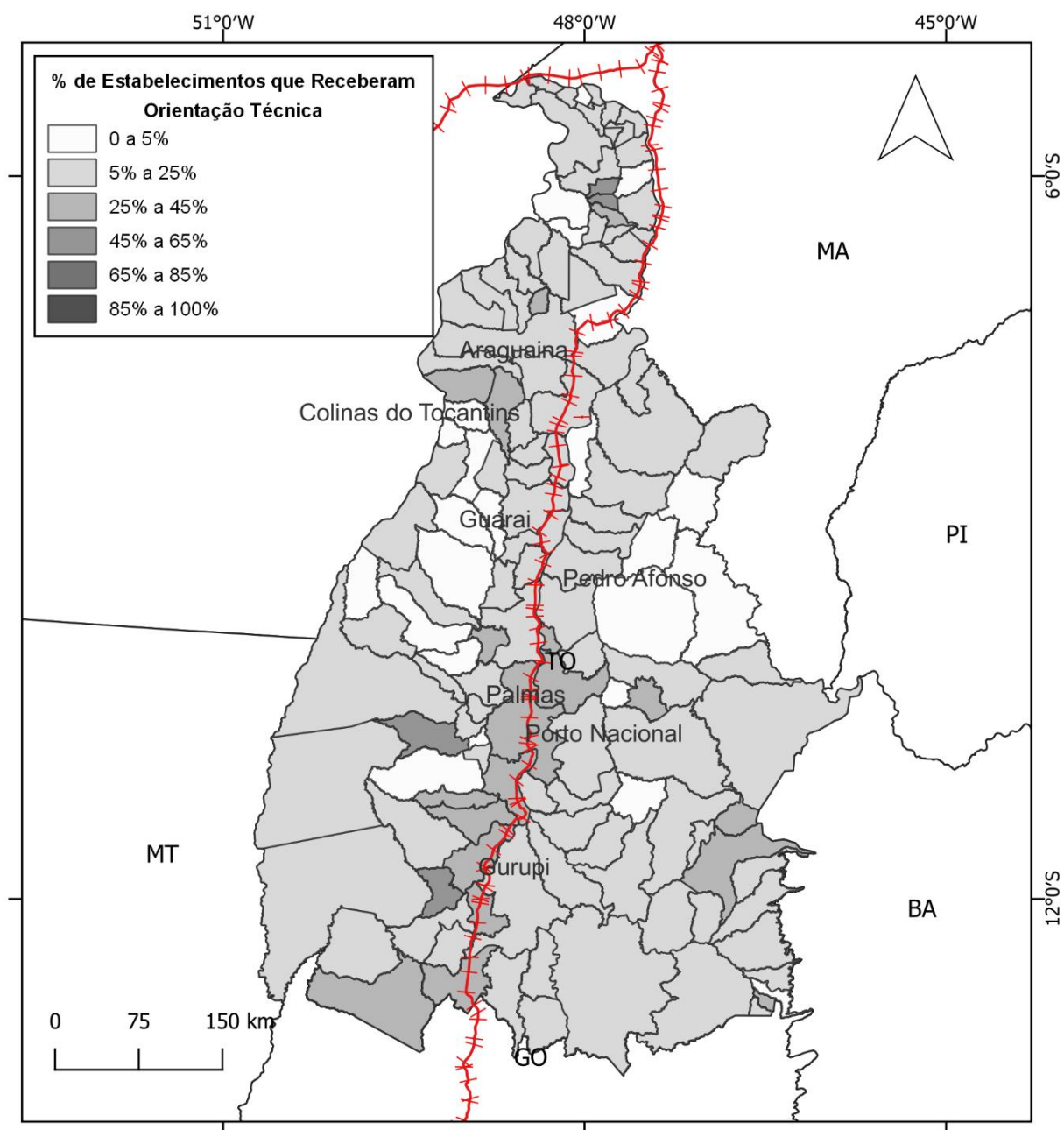
Tabela 21 - Origem da orientação técnica recebida

Grupos de atividade econômica	Governo	Própria	Cooperativas	Empresas integradoras	Empresas privadas de planejamento	ONG's	Sistema S	Outra
Aquicultura	48	21	3	1	1		3	3
Horticultura e floricultura	258	37	1		1	1	14	4
Pecuária e criação de outros animais	3.634	2.461	160	115	95	9	223	327
Pesca	7		62					
Produção de lavouras permanentes	61	38	6		1		6	3
Produção de lavouras temporárias	648	763	53	104	72	1	28	80
Produção de sementes e mudas certificadas	1	7		1				1
Produção florestal - florestas nativas	62	25				1	1	5
Produção florestal - florestas plantadas	9	31	1		2		1	2
Total	4.728	3.383	286	221	172	12	276	425

Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

Na figura 20 é apresentada a distribuição dos estabelecimentos que receberam orientação técnica.

Figura 20 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Receberam Orientação Técnica



Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

Por fim, foram calculadas as porcentagens de estabelecimentos que receberam algum tipo de orientação técnica, não importando a sua origem, no Tocantins por grupos de área total. Os resultados são apresentados na tabela 22.

Tabela 22 - % Estabelecimentos que receberam orientação técnica

Grupos de área total	Total	% Estabelecimentos que receberam orientação técnica
Mais de 0 a menos de 10 ha	6.678	10,4%
De 10 a menos de 50 ha	26.596	11,1%
De 50 a menos de 500 ha	23.960	12,7%
De 500 a menos de 2.500 ha	4.869	32,5%
De 2.500 ha e mais	936	57,3%
Total	63.039	14,0%

Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

4.3.1.8. Investimento e Financiamento

O percentual de estabelecimentos que obtiveram financiamento é registrado na tabela 23 a seguir. Segundo os dados apenas 13,5% do total de estabelecimentos registraram financiamentos. Nas propriedades maiores essa percentagem se aproxima dos 30%, indicando que há necessidade de capital para custeio da produção.

Tabela 23 - % Estabelecimentos que realizaram financiamento

Grupos de área total	Total	% Estabelecimentos que realizaram financiamento
Mais de 0 a menos de 10 ha	6.678	5,09%
De 10 a menos de 50 há	26.596	11,70%
De 50 a menos de 500 ha	23.960	15,91%
De 500 a menos de 2500 ha	4.869	20,87%
De 2.500 ha e mais	936	27,56%
Total	63.039	13,54%

Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

Figura 21 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Obtiveram Financiamento

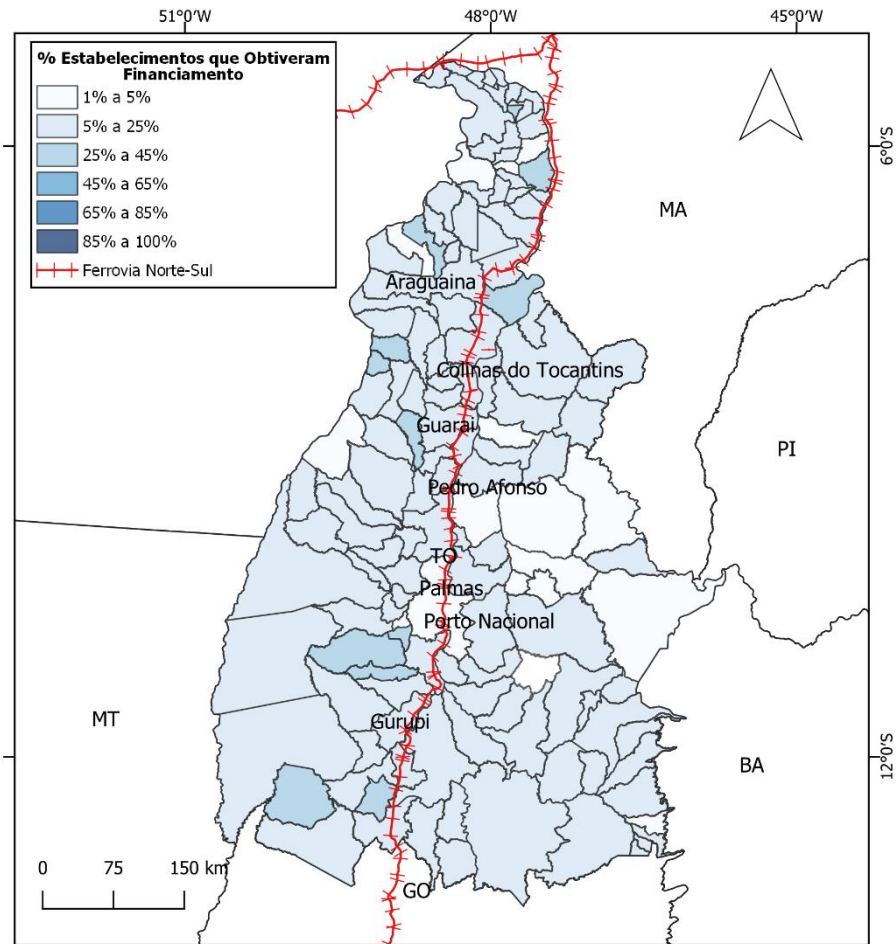
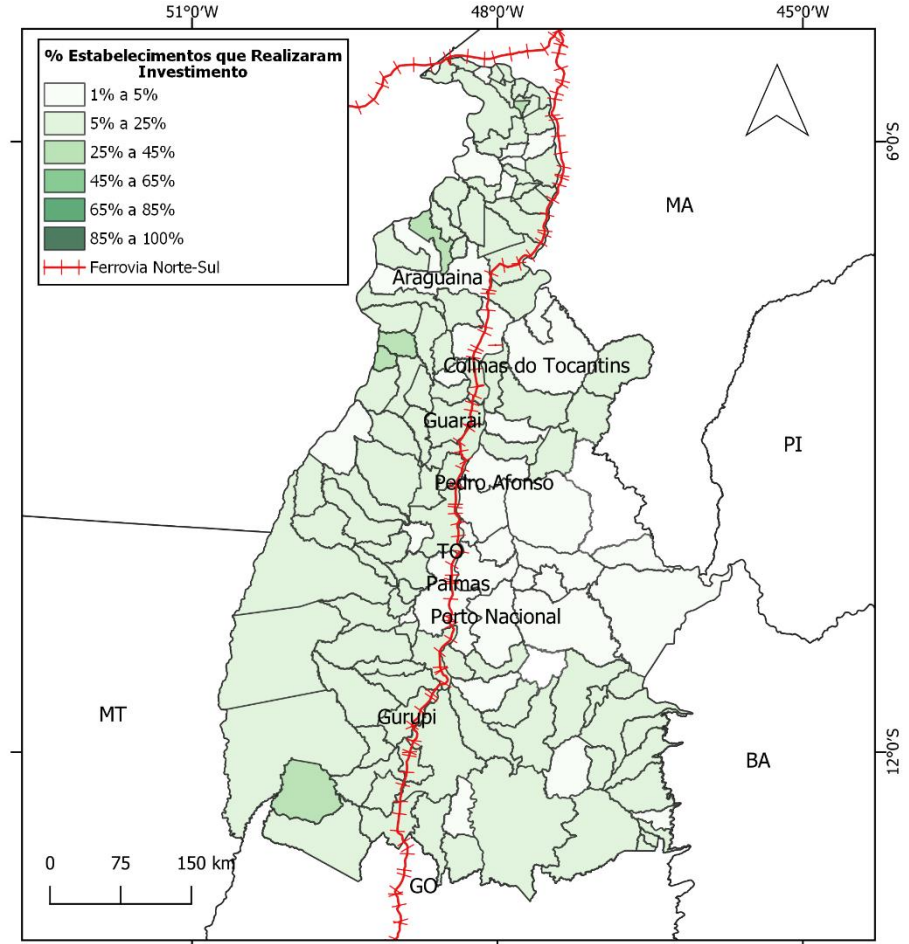


Figura 22 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários que Realizaram Investimento



A tabela a seguir demonstra que 94% dos financiamentos concedidos são intermediados por meio dos bancos. Embora há de se ressaltar que há presença de financiamentos concedidos por meio do governo e também de cooperativas de créditos.

Tabela 24 - Agentes financeiros responsáveis pelo financiamento

Agente financeiro responsável pelo financiamento	Qtde.	%
Bancos	8.058	94,20%
Cooperativas de crédito	128	1,50%
Governos	555	6,49%
Comerciantes de matéria-prima	6	0,07%
Fornecedores (insumos e/ou equipamentos)	19	0,22%
Empresa integradora	37	0,43%
Outras instituições financeiras (exceto bancos e cooperativas)	27	0,32%
Organização Não-Governamental - ONG	6	0,07%
Parentes ou amigos	31	0,36%
Outro agente	27	0,32%
Total	8.554	100,00%

Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

Para fins de captar o nível de investimento dos estabelecimentos em tecnologias, foram calculadas as percentagens de estabelecimentos que realizaram alguma atividade financeira com a finalidade de realizar investimento, no Tocantins, por grupos de área total. Investimentos em tecnologias tendem a representar um esforço de capital relevante do produtor para melhoria de processo ou gestão. Os resultados são apresentados na tabela 25, a seguir.

Tabela 25 - % Estabelecimentos que realizaram investimento

Grupos de área total	Total	% Estabelecimentos que realizaram investimento
Mais de 0 a menos de 10 ha	6.678	3,6%
De 10 a menos de 50 há	26.596	9,2%
De 50 a menos de 500 ha	23.960	12,0%
De 500 a menos de 2.500 ha	4.869	13,8%
De 2.500 ha e mais	936	18,1%
Total	63.039	10,2%

Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017)

A necessidade de capital é um relevante aspecto para a modernização do setor agrícola, de acordo com Souza Filho et al., (2011), a disponibilidade de crédito, é crucial para a adoção de novas tecnologias. Diante disso, é necessário ressaltar que o acesso a novas tecnologias e modernização da produção não depende somente da infraestrutura necessária ou políticas de

incentivo para o avanço tecnológico do setor, mas também de recursos financeiros disponíveis para investimentos em tecnologias.

No ano de 2006 apenas 2,5% dos estabelecimentos agropecuários realizaram algum tipo de investimento na produção, em 2017 este número subiu para 10% dos estabelecimentos agropecuários do estado. É necessário destacar que as políticas de crédito para o setor agropecuário contribuem como um importante mecanismo viabilizador da modernização e ampliação das estruturas produtivas do setor, contribuindo para melhoria da eficiência técnica do setor e acesso a novas tecnologias (FREITAS, CARLOS OTÁVIO DE; SILVA; TEIXEIRA, 2020).

4.3.2. Determinação dos pesos de cada eixo Análise Fatorial

Na pesquisa a análise fatorial foi utilizada com a finalidade de extrair os autovalores para cada componente da análise. O autovalor representa o percentual de variância explicada por fator (FÁVERO *et al.*, 2009), o qual foi utilizado na ponderação do índice tecnológico do agronegócio.

Para fins de execução dos cálculos foi utilizado o software estatístico IBM SPSS que contempla os pacotes necessários para realização da análise fatorial. A tabela 26 apresenta a estatística descritiva de todas as variáveis utilizadas no cálculo do índice.

Tabela 26 - Estatística Descritiva

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Disponibilidade de Internet	0,0000	0,8925	0,2007	0,1603
Armazéns	0,0000	0,3138	0,0166	0,0344
Sistema de irrigação	0,0000	0,1538	0,0204	0,0262
Uso de corretivos	0,0149	0,4231	0,1127	0,0776
Preparo do Solo	0,0907	0,9890	0,5241	0,1974
Defensivos Agrícolas	0,0025	0,7864	0,2489	0,1702
Sementes de Alto Rendimento	0,0000	0,3252	0,0396	0,0540
Orientação técnica	0,0000	0,6468	0,1491	0,1167
Financiamento	0,0038	0,3819	0,1380	0,0776
Investimento	0,0037	0,3580	0,1023	0,0677
Empregos	0,5129	18,0000	1,2169	1,5930
Exportações	0,0000	217,8217	1,8287	18,4750
Produção	0,0234	7,8352	1,3808	1,0820

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com Hair *et al.*, (2009) a análise fatorial possui duas suposições iniciais para que ela seja aplicada de forma adequada. A primeira diz respeito à normalidade e

linearidade dos dados e a segunda a garantia de que a matriz de correlações apresente valores elevados que justificam a aplicação da técnica. É necessário verificar os resultados da estatística KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) e o teste de esfericidade de Bartlett, o qual verifica a hipótese de a matriz das correlações ser a matriz identidade. De acordo com Fávero *et al.*, (2009), quanto maior os resultados da estatística KMO e, caso o teste de esfericidade de Bartlett seja significativo, a análise fatorial se torna válida.

A tabela 27 a seguir apresenta os resultados do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov ideal para amostras superiores a 30 observações.

Tabela 27 - Teste de Normalidade Kolmogorov-Smirnova

Variáveis	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estatística	df	Sig.	Estatística	df	Sig.
Disponibilidade de Internet	0,133	139	0,000	0,875	139	0,000
Armazéns	0,314	139	0,000	0,453	139	0,000
Sistema de irrigação	0,227	139	0,000	0,739	139	0,000
Uso de corretivos	0,141	139	0,000	0,887	139	0,000
Preparo do Solo	0,046	139	0,200	0,991	139	0,487
Defensivos Agrícolas	0,097	139	0,003	0,937	139	0,000
Sementes de Alto Rendimento	0,231	139	0,000	0,726	139	0,000
Orientação técnica	0,108	139	0,000	0,883	139	0,000
Financiamento	0,074	139	0,057	0,957	139	0,000
Investimento	0,089	139	0,009	0,909	139	0,000
Empregos	0,408	139	0,000	0,178	139	0,000
Exportações	0,462	139	0,000	0,071	139	0,000
Produção	0,170	139	0,000	0,756	139	0,000

Fonte: Dados da pesquisa

Na sequência, é necessário apresentar a matriz de correlações entre as variáveis presentes na análise fatorial. Para ser adequada a aplicação da técnica é necessário que existam correlações com valores superiores a 0,30 (FÁVERO *et al.*, 2009).

O valor encontrado no teste de Kaiser-Meyer-Olkin de adequação de amostragem corresponde a 0,5254 enquanto no Teste de esfericidade de Bartlett o X^2 aproximado foi de 472,4612 significativo a 1%. Com base dos resultados encontrados no teste de normalidade *Kolmogorov-Smirnova* bem como na matriz de correlações apresentada na tabela 35, em conjunto com os testes KMO e de Bartlett, pode-se afirmar que é consistente a aplicação da análise fatorial, tendo em vista que as suposições foram atendidas.

Tabela 28 - Matriz de Correlações das Variáveis - Análise Fatorial

Variáveis	Disponibilidade de Internet	Armazéns	Sistema de irrigação	Uso de corretivos	Não utiliza agrotóxicos	Preparo do Solo	Financiamento	Investimento	Orientação técnica	Pessoal ocupado	Crescimento da Produção	Exportações
Disponibilidade de Internet	1,000	0,131	0,290	-0,024	-0,474	0,014	0,159	0,128	0,180	-0,065	-0,171	0,047
Armazéns	0,131	1,000	0,249	0,113	-0,118	0,158	0,158	0,166	0,146	0,253	-0,075	0,356
Sistema de irrigação	0,290***	0,249***	1,000	0,318	-0,100	0,083	0,004	-0,053	0,371	0,165	-0,169	0,074
Uso de corretivos	-0,024	0,113	0,318***	1,000	0,087	0,048	0,111	-0,027	0,346	0,022	0,030	-0,084
Preparo do Solo	0,014	0,158*	0,083	0,048	-0,066	1,000	0,060	0,055	0,043	0,101	-0,008	0,003
Financiamento	0,159	0,158*	0,004	0,111	-0,186**	0,060	1,000	0,928	0,073	-0,178	0,003	0,046
Investimento	0,128	0,166*	-0,053	-0,027	-0,210**	0,055	0,928***	1,000	-0,061	-0,136	0,022	0,004
Orientação técnica	0,180**	0,146*	0,371***	0,346***	-0,100	0,043	0,073	-0,061	1,000	0,026	-0,114	0,043
Pessoal ocupado	-0,065	0,253***	0,165*	0,022	0,099	0,101	-0,178**	-0,136	0,026	1,000	0,075	0,052
Crescimento da Produção	-0,171	-0,075	-0,169*	0,030	0,120	-0,008	0,003	0,022	-0,114	0,075	1,000	-0,075
Exportações	0,047	0,356***	0,074	-0,084	-0,008	0,003	0,046	0,004	0,043	0,052	-0,075	1,000

Fonte: Dados da Pesquisa.

Obs.: ***, **, * significante a 1%, 5% e 10%, respectivamente.

A tabela 29 apresenta os resultados dos autovalores para cada fator, bem como os respectivos percentuais de variância explicada, os quais serão utilizados na ponderação do cálculo do índice tecnológico do agronegócio. A tabela indica que os 4 fatores extraídos conseguem explicar 62% da variância.

Tabela 29 - Autovalores e percentual de variância total explicada

Componente	Valores próprios iniciais			Somadas de extração de carregamentos ao quadrado		
	Total	% de variância	% cumulativa	Total	% de variância	% cumulativa
<i>Internet</i>	2,323	17,872	17,872	2,323	17,872	17,872
<i>Corretivos</i>	1,947	14,979	32,851	1,947	14,979	32,851
<i>Financiamento</i>	1,646	12,661	45,512	1,646	12,661	45,512
<i>Empregos</i>	1,175	9,038	54,550	1,175	9,038	54,550
<i>Exportações</i>	1,021	7,856	62,406	1,021	7,856	62,406
<i>Produção</i>	,985	7,575	69,981			
<i>Investimento</i>	,910	7,003	76,984			
<i>Orientação técnica</i>	,832	6,398	83,382			
<i>Sementes</i>	,704	5,418	88,800			
<i>Defensivos Agrícolas</i>	,550	4,229	93,030			
<i>Sistema de irrigação</i>	,463	3,559	96,589			
<i>Preparo do Solo</i>	,393	3,026	99,614			
<i>Armazéns</i>	,050	,386	100,000			

Fonte: Dados da pesquisa

Com base na extração dos autovalores é possível estabelecer os pesos que serão atribuídos a cada uma das variáveis e eixos do respectivo índice.

Tabela 30 - Distribuição dos Pesos

Eixo	Variáveis	Peso da Variável
<i>Infraestrutura</i>	% Estabelecimentos que possuem disponibilidade de Internet	18,0%
	% Estabelecimentos que possuem armazéns	1,0%
	% Estabelecimentos com sistema de irrigação	3,0%
	Peso do Eixo %	22,0%
<i>Tecnologia Produtiva</i>	% Estabelecimentos que fazem o uso de corretivos para o solo	15,0%
	% Estabelecimentos que realizam o preparo do solo	3,0%
	% Estabelecimentos que utilizam defensivos agrícolas	4,0%
	% Estabelecimentos que utilizam sementes de alto rendimento	5,0%
	% Estabelecimentos que receberam orientação técnica	6,0%
	Peso do Eixo %	33,0%
<i>Financiamento</i>	% Estabelecimentos que obtiveram financiamento	13,0%
	% Estabelecimentos que realizaram investimento	7,0%
	Peso do Eixo %	20,0%
<i>Produção</i>	% Evolução dos Empregos	9,0%
	% Evolução da produção agrícola	8,0%
	% Evolução das exportações agrícolas	8,0%
	Peso do Eixo %	25,0%
Total		100,0%

Fonte: Dados da pesquisa

Tendo como base as cargas fatoriais de cada um dos fatores foi possível identificar que as variáveis investimento e financiamento são melhor explicadas pelo fator 1. Já o fator 2 predomina para as variáveis: uso de corretivos, sementes de alto rendimento, sistema de irrigação e orientação técnica. As variáveis, disponibilidade de internet e defensivos agrícolas, são melhores explicadas pelo fator 3. O fator 4 explica o restante das variáveis: armazéns, preparo do solo, produção, exportação e empregos.

Tabela 31 - Matriz de Fatores

Variáveis	Fatores			
	1	2	3	4
Financiamento	0,95			
Investimento	0,94			
Uso de corretivos		0,79		
Orientação técnica		0,73		
Sementes de Alto Rendimento		0,68		
Sistema de irrigação		0,51		
Disponibilidade de Internet			0,83	
Defensivos Agrícolas			0,71	
Armazéns				0,59
Preparo do Solo				0,59
Produção				0,39
Exportações				0,48
Empregos				0,34

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme observado na matriz de fatores as variáveis se agruparam conforme a proposta do índice, as exceções foram as variáveis: armazéns e preparo do solo. Esse agrupamento de fatores identificado pela análise fatorial é um dos indícios do bom ajuste do modelo de índice proposto.

4.3.3. Cálculo do Índice

A seguir, na tabela 32, é demonstrada a estatística descritiva das variáveis utilizadas para cálculo do índice tecnológico do agronegócio, considerando todos os municípios do Tocantins, no ano 2017 e 2006. Nesta tabela, além da média e desvio-padrão, é apresentado o teste t para diferenças de médias entre os dois cenários o de 2017 e 2006. Na sequência são demonstrados os valores relativos à correlação entre as variáveis presentes no cálculo do índice, conforme tabela 33.

Tabela 32 - Média das variáveis presentes no ITA para os anos de 2006 e 2017

Variáveis	2017 (a)		2006 (b)		Diferença (a-b)	Teste t
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	
% Estabelecimentos com Internet	0,176	0,160	0,026	0,012	0,152***	12,812
% Estabelecimentos que possuem armazéns	0,017	0,034	0,002	0,007	0,015***	5,019
% Estabelecimentos com sistema de irrigação	0,035	0,048	0,027	0,049	0,008	1,055
% Estabelecimentos que utilizam corretivos de solo	0,113	0,078	0,074	0,076	0,039***	4,198
% Estabelecimentos que realizam o preparo do solo	0,524	0,197	0,333	0,196	0,191***	8,091
% Estabelecimentos que receberam orientação técnica	0,139	0,117	0,079	0,078	0,070***	5,883
% Estabelecimentos que obtiveram financiamento	0,138	0,078	0,098	0,079	0,039***	4,023
% Estabelecimentos que realizaram investimento	0,102	0,068	0,025	0,030	0,077***	12,250
% Crescimento Emprego	0,072	0,120	0,420	0,438	-0,348***	-9,038
% Crescimento das exportações agrícolas	0,083	0,462	0,021	0,116	0,062*	1,532
% Crescimento da produção agrícola	1,066	1,618	0,401	0,756	0,665***	4,387

Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2006 e 2017) e Dados da Pesquisa.

Obs.: ***, **, * significante a 1%, 5% e 10%, respectivamente, baseado no teste - t para diferenças de médias.

Tabela 33 - Correlação entre as variáveis do Índice (2017)

Variáveis	Internet	Armazéns	Irrigação	Corretivos	Não Agrotóxicos	Preparo do Solo	Financiamento	Investimento	Orientação	Pessoal	Produção	Plantação	Exportação	PIB per capita
Internet	1	0,131	0,290	-0,024	-0,474	0,014	0,159	0,128	0,180	-0,065	-0,171	-0,124	0,047	-0,136
Armazéns	0,131	1	0,249	0,113	-0,118	0,158	0,158	0,166	0,146	0,253	-0,075	-0,057	0,356	-0,004
Irrigação	0,290	0,249	1	0,318	-0,100	0,083	0,004	-0,053	0,371	0,165	-0,169	-0,075	0,074	-0,118
Corretivos	-0,024	0,113	0,318	1	0,087	0,048	0,111	-0,027	0,346	0,022	0,030	-0,050	-0,084	0,257
Preparo do Solo	0,014	0,158	0,083	0,048	-0,066	1	0,060	0,055	0,043	0,101	-0,008	-0,167	0,003	0,042
Financiamento	0,159	0,158	0,004	0,111	-0,186	0,060	1	0,928	0,073	-0,178	0,003	-0,117	0,046	0,027
Investimento	0,128	0,166	-0,053	-0,027	-0,210	0,055	0,928	1	-0,061	-0,136	0,022	-0,111	0,004	0,001
Orientação	0,180	0,146	0,371	0,346	-0,100	0,043	0,073	-0,061	1	0,026	-0,114	-0,102	0,043	0,041
Pessoal	-0,065	0,253	0,165	0,022	0,099	0,101	-0,178	-0,136	0,026	1	0,075	-0,002	0,052	0,073
Produção	-0,171	-0,075	-0,169	0,030	0,120	-0,008	0,003	0,022	-0,114	0,075	1	0,566	-0,075	0,021
Plantação	-0,124	-0,057	-0,075	-0,050	0,083	-0,167	-0,117	-0,111	-0,102	-0,002	0,566	1	0,003	0,037
Exportação	0,047	0,356	0,074	-0,084	-0,008	0,003	0,046	0,004	0,043	0,052	-0,075	0,003	1	0,012
PIB per capita	-0,136	-0,004	-0,118	0,257	0,089	0,042	0,027	0,001	0,041	0,073	0,021	0,037	0,012	1

Fonte: Adaptado com base nos dados do IBGE - Censo Agropecuário (2017) e Dados da Pesquisa

Para praticamente todas as variáveis do índice houve alteração significativa do cenário entre os anos de 2006 e 2017 no estado do Tocantins. A exceção diz respeito aos estabelecimentos que possuem sistema de irrigação, embora tenha ocorrido aumento na média dos estabelecimentos que contém o sistema, a mudança não foi significativa do ponto de vista estatístico.

Em relação às demais variáveis observa-se uma melhoria na média dos estabelecimentos que possuem acesso à internet, dispõem de armazéns, utilizaram corretivos, preparo de solo, obtiveram financiamento, realizaram investimento e receberam orientação técnica.

No primeiro momento foi realizado o cálculo da média de cada uma das variáveis identificadas e consideradas relevantes para a digitalização do agronegócio no estado do Tocantins. Após o cálculo de cada uma das médias das variáveis, elas foram ponderadas com base na relevância de cada eixo para o nível ideal de digitalização do setor. Essas ponderações foram definidas tendo como base a análise fatorial realizada.

No caso do Tocantins a disponibilidade de internet ainda é considerada baixa. Para os maiores estabelecimentos, com maior nível de recursos (capital), existe a possibilidade de utilização de internet rural, via rádio ou satélite, o que torna possível o acesso e utilização de tecnologias digitais. O que nem sempre é possível para as propriedades menores e com menos recursos disponíveis.

No que tange ao armazenamento (disponibilidade de unidade armazenadores) os níveis também são baixos, poucas propriedades dispõem de armazéns, os quais as tornam dependentes de um serviço logístico que atenda o transporte e armazenamento dos seus estoques de forma satisfatória. Atualmente no estado do Tocantins, de acordo com dados da Conab (2022), existem 183 unidades de unidades armazenadoras com uma capacidade estática de 2.453.150 ton. (91% granel sólido e o restante 9% convencional).

Por outro lado, há baixa utilização de sistemas de irrigação nos estabelecimentos do Tocantins. Indicando de fato a dependência dos períodos de chuva para as lavouras, a exemplo da soja, principal grão produzido no estado. A irrigação é um sistema com alto grau de digitalização, podendo trazer vários benefícios para os produtores, inclusive em termos de economia de recursos.

O uso de corretivos, defensivos agrícolas e o preparo do solo são práticas bem difundidas no estado. Devido ao solo do cerrado ser considerado ácido é necessário muitas das vezes intervenção com corretivos e preparação do solo para o plantio. O uso de corretivo é maior nas grandes propriedades, bem como a utilização de defensivos agrícolas.

A aplicação de recursos em investimentos está associada com ganhos de produtividade e melhoria de processos. Contudo, geralmente essas tecnologias só estão disponíveis para os estabelecimentos que possuem maior capacidade de obter recursos com esta finalidade. No Tocantins, verifica-se que os investimentos se concentram nos grandes produtores e ainda assim em um número baixo.

O setor agropecuário no Tocantins, demonstra ao longo dos anos crescimento constante na oferta de empregos, o que não é observado em outros setores no estado, por exemplo, construção, indústria e serviços. Com novas tecnologias é demandada mão de obra mais qualificada para trabalho no agronegócio. Alguns serviços poderão ser executados de forma remota, não demandando mão de obra para sua execução.

Por fim, após cálculo do indicador de desenvolvimento tecnológico do agronegócio no estado do Tocantins, o resultado encontrado em 2006 foi de 0,283, ou seja, à época o estado apresentava um baixo nível de desenvolvimento tecnológico do Agronegócio. Tal resultado é demonstrado na tabela 34.

Tabela 34 - Índice Tecnológico do Agronegócio para o estado do Tocantins (2006)

Eixo	Variáveis	Média	Peso	Resultado
Infraestrutura	% Estabelecimentos que possuem Internet (x_1)	0,010		0,122
	% Estabelecimentos que possuem armazéns (x_2)	0,005	22%	
	% Estabelecimentos com sistema de irrigação (x_3)	0,041		
Processos	% Estabelecimentos com o uso de corretivos para o solo (x_4)	0,034		0,357
	% Estabelecimentos que não utilizam agrotóxicos (x_5)	0,041	33%	
	% Estabelecimentos que realizam o preparo do solo (x_6)	0,025		
Investimento	% Estabelecimentos que obtiveram financiamento (x_7)	0,012		0,265
	% Estabelecimentos que realizaram investimento (x_8)	0,019	20%	
	% Estabelecimentos que receberam orientação técnica (x_9)	0,014		
Produção	% Crescimento do número de pessoas ocupadas (x_{10})	0,018		0,390
	% Crescimento da produção agrícola (x_{11})	0,012	25%	
	% Crescimento das exportações agrícolas (x_{12})	0,005		
Índice Tecnológico do Agronegócio				0,283

Fonte: Dados da pesquisa

Na sequência foi calculado o mesmo indicador para o ano de 2017 e o resultado encontrado foi de 0,48, ou seja, o Tocantins, de modo geral encontra-se em um estágio médio de desenvolvimento tecnológico para o agronegócio. O resultado é apresentado na tabela 35.

Tabela 35 - Índice Tecnológico do Agronegócio para o estado do Tocantins (2017)

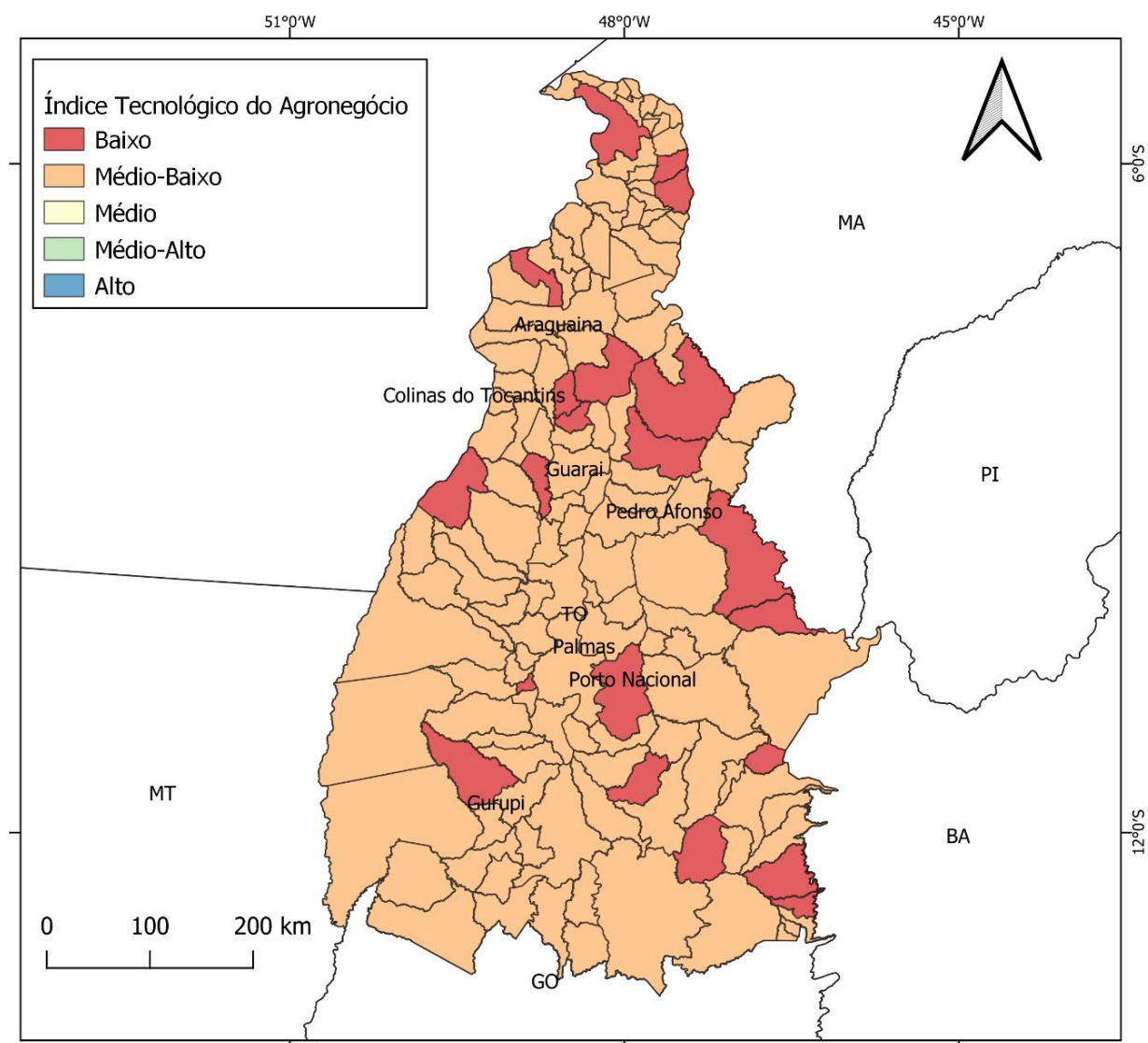
Eixo	Variáveis	Média	Peso	Resultado
	% Estabelecimentos que possuem Internet (x_1)	0,20	22%	0,04

Infraestrutura	% Estabelecimentos que possuem armazéns (x_2)	0,02		
	% Estabelecimentos com sistema de irrigação (x_3)	0,02		
Processos	% Estabelecimentos com o uso de corretivos para o solo (x_4)	0,11		
	% Estabelecimentos que realizam o preparo do solo (x_5)	0,52	33%	0,05
	% Estabelecimentos que utilizam defensivos agrícolas (x_7)	0,25		
	% Estabelecimentos que utilizam sementes de alto rendimento (x_6)	0,04		
Investimento	% Estabelecimentos que obtiveram financiamento (x_7)	0,14		
	% Estabelecimentos que realizaram investimento (x_8)	0,10	20%	0,03
	% Estabelecimentos que receberam orientação técnica (x_9)	0,15		
Produção	% Crescimento dos empregos (x_{10})	1,22		
	% Crescimento da produção agrícola (x_{11})	1,83	25%	0,37
	% Crescimento das exportações agrícolas (x_{12})	1,38		
Índice Tecnológico do Agronegócio				0,48

Fonte: Dados da pesquisa

Com base na comparação entre as figuras 23 e 24, apresentadas a seguir é possível verificar o desenvolvimento tecnológico do estado do Tocantins ao longo desses anos (2006-2017). Este resultado é corroborado pelo crescimento do agronegócio no Tocantins observado nos últimos anos. Aumento das áreas plantadas, aumento de produtividade, crescimento das exportações e do número de empregos no setor, bem como a utilização do modo ferroviário por meio da Ferrovia Norte-Sul. Aliado ainda à importância do setor para o crescimento do estado, conforme os modelos econométricos estimados anteriormente. Ainda existem gargalos no estado que, caso sejam mitigados, podem promover o avanço para que a digitalização do agronegócio no estado ocorra de forma mais eficiente e veloz.

Figura 23 – Distribuição do Índice Tecnológico do Agronegócio (2006)

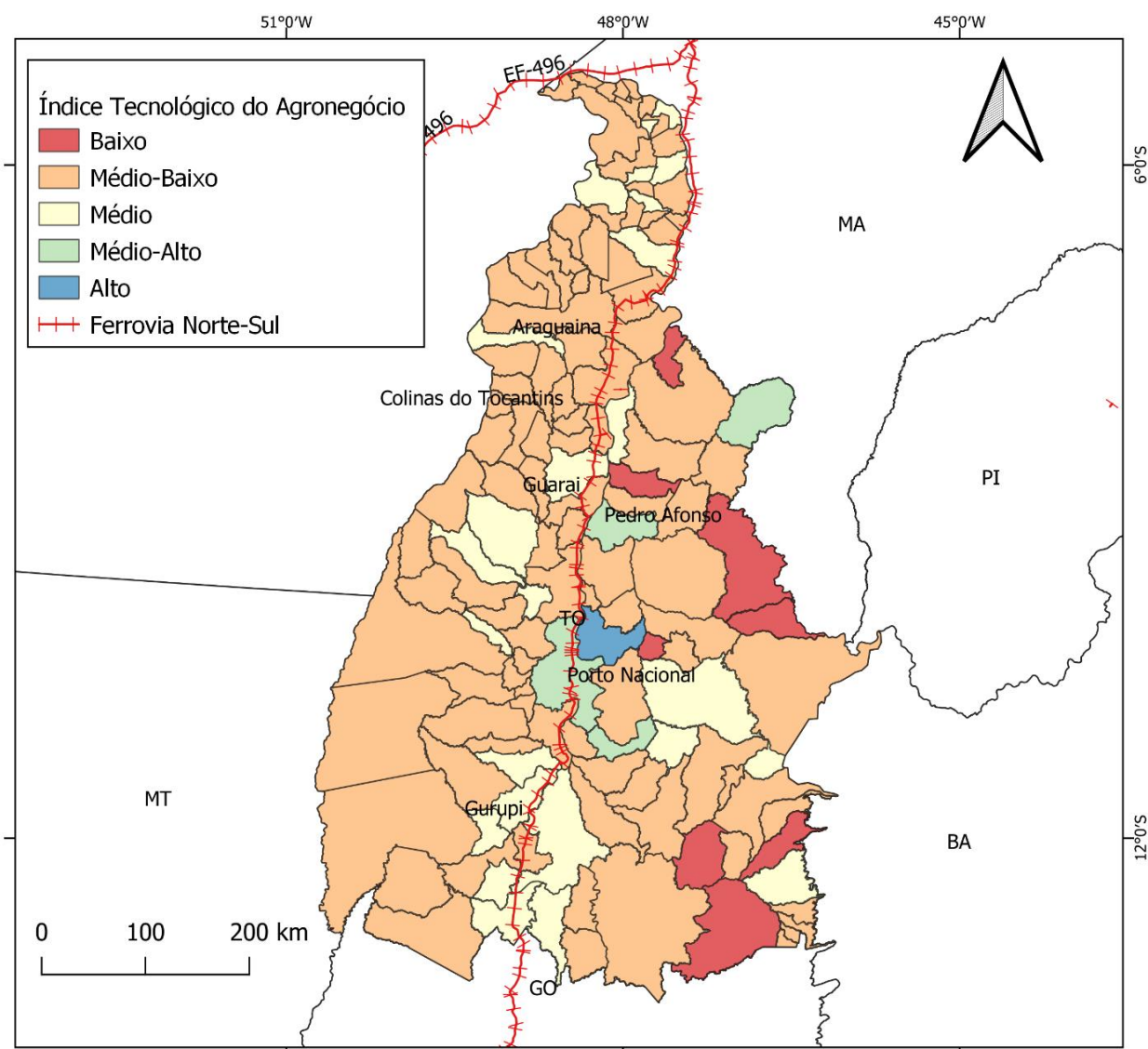


Fonte: Dados da Pesquisa

A figura 23 apresenta o nível de desenvolvimento tecnológico do agronegócio no Tocantins para o ano de 2006, observa-se que o estado se encontrava em uma situação de baixo nível de desenvolvimento. Situação essa alterada drasticamente em 2017 conforme evidenciado na figura 24 a seguir.

Conforme ilustrado na figura 24, a maioria dos municípios do estado do Tocantins apresentam um desenvolvimento tecnológico do agronegócio médio-baixo. Em relação ao ano de 2006 houve melhorias em termos de desenvolvimento tecnológico do agronegócio de modo geral no estado do Tocantins.

Figura 24 – Distribuição do Índice Tecnológico do Agronegócio (2017)



Fonte: Dados da Pesquisa

As cidades de Palmas, Pedro Afonso, Campos Lindos, Silvanópolis e Porto Nacional apresentaram um resultado superior a 0,60, indicando que estas regiões se encontram em um estágio médio-alto de desenvolvimento. Pedro Afonso abriga a usina produtora de açúcar e bioenergia Bunge, a qual foi instalada em 2011. É importante salientar que houve melhoria no nível de desenvolvimento tecnológico do agronegócio especialmente na região central do estado.

A tabela 36, apresentada no apêndice, demonstra de forma consolidada os resultados do índice tecnológico do agronegócio de todos os 139 municípios do estado do Tocantins.

4.4. Discussão dos Resultados

O agronegócio encontra-se em um processo de ruptura das tecnologias do paradigma atual de produção, para um modelo baseado na agricultura digital. Esse processo de mudança não contempla sua responsabilidade apenas perante o agricultor, a agricultura digital irá alterar substancialmente toda a cadeia. Iniciativas do setor público e de organizações são necessárias para preparação do setor agrícola diante das mudanças advindas com a agricultura digital.

Conforme os resultados do trabalho, há corroboração com a literatura prévia da relevância do agronegócio para o crescimento do PIB no estado. O aumento de área plantada no estado ocorreu em razão da expansão do cultivo para o cerrado brasileiro por meio de novas tecnologias que permitiram ao agricultor o plantio em solos ácidos, por exemplo. Por outro lado, aumentos de áreas plantadas podem restringir novos negócios, por isso avanços da agricultura digital, por meio da inteligência artificial, podem fornecer informações valiosas ao produtor, como por exemplo, reduzir ou manter a área plantada, com efeitos positivos na produção e na redução de custos e esforço (SOARES *et al.*, 2015).

É necessário salientar que o impacto positivo do agronegócio para o crescimento econômico do estado foi considerado de forma isolada. Cabe ressaltar que, ainda, grande parte da economia do estado é dependente da administração pública. Efeitos positivos da produção agrícola, aliado com os incrementos das exportações, contribuíram para o crescimento econômico do estado.

Houve melhoria no panorama do agronegócio no estado do Tocantins ao longo dos anos, considerando os cenários de 2006 e 2017. É importante lembrar que durante esse período, especialmente em 2010, o setor agrícola passou por um importante avanço, como por exemplo o funcionamento da Ferrovia Norte-Sul. No Tocantins, houve expansão da área plantada, quantidade produzida e exportações, devido principalmente à demanda internacional (China), considerado por muitos autores como “boom das *commodities*” (ESCHER; WILKINSON, 2019).

No caso do estado do Tocantins, segundo os dados apresentados ainda, persistem entraves para melhoria da infraestrutura utilizada pelo agronegócio. A disponibilidade de internet, tecnologia indispensável para a digitalização da agricultura, é precária no estado como um todo. Menos de 20% dos estabelecimentos agropecuários do estado possuem acesso à internet, sendo que, menos de 4% possuem acesso à banda larga. A situação ainda é menos favorável para as propriedades menores.

Sistemas de irrigação são altamente digitalizáveis, em relação ao estado do Tocantins ainda são poucas as propriedades que dispõem de sistema de irrigação. Existem projetos

específicos de irrigação idealizados pelo governo, por exemplo, o do Rio Formoso, o qual possui aproximadamente 28 mil hectares de área irrigável (SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE, 2007). É importante salientar que o Ministério Público do Estado já ingressou com várias medidas a respeito de captações, irregulares ou em períodos de secas, de águas no estado do Tocantins, especialmente nos rios Dueré, Xavante, Formoso e Araguaia (MPTO, 2020). A utilização de sensores pode promover uma melhoria considerável no sistema de captação de água, como forma de otimização do uso dos recursos hídricos de forma sustentável. Um exemplo de aplicação desse tipo tecnologia é o projeto de Gestão de Alto Nível dos Recursos Hídricos, do IAC-UFT⁴. O projeto consiste no monitoramento, em tempo real, da disponibilidade e demanda dos recursos hídricos (UFT, 2020).

De modo geral destaca-se o crescimento da relevância do agronegócio para o estado do Tocantins e diante disso é necessário enfatizar a importância de discussões a respeito da digitalização do agronegócio como forma de melhoria da competitividade do setor. São necessárias melhorias em termos de infraestrutura básica para novas tecnologias, bem como capacitação da mão-de-obra e conscientização do setor e sociedade civil dos impactos positivos e negativos da digitalização do setor.

Algumas regiões se destacam em termos de desenvolvimento tecnológico no estado do Tocantins. A região central do estado, com as cidades de Palmas, Porto Nacional e Silvanópolis, apresentaram índices avançados de tecnologias. Pedro Afonso e Campos Lindos também obtiveram índices superiores de tecnologia no agronegócio. A mensuração do índice tecnológico para o agronegócio pode contribuir especialmente para identificar as regiões que demandam maior atenção para modernização do setor. Por exemplo, algumas regiões, a exemplo da região sudoeste do estado, consideradas produtoras, em conformidade com índice, não tiveram o avanço verificado nas demais regiões.

Em termos de avanço foi observado melhoria considerável nos estabelecimentos que realizam o preparo do solo e a disponibilidade de internet. Por outro lado, tecnologias consideradas relevantes para o desenvolvimento do setor não tiveram uma evolução equiparada. A exemplo da utilização de sistemas de irrigação, a disponibilidade de armazéns e corretivos de solo. Observa-se ainda a necessidade de melhorias no que tange a disponibilidade de crédito ao setor e também na oferta de orientação técnica aos produtores. A orientação técnica é um importante determinante para avanço e adoção de novas tecnologias para o setor.

⁴ Projeto Gestão de Alto Nível dos Recursos Hídricos, do IAC-UFT, vence o Prêmio ANA 2020

5. CONCLUSÕES

O trabalho abordou a problemática relação existente entre agronegócio, crescimento econômico e desenvolvimento tecnológico de uma região. Estabelecer uma relação dialética entre estes três constructos culminou na necessidade de desenvolver um modelo de indicadores de avanço tecnológico para demonstrar que o aumento da inovação no agronegócio pode contribuir para o aumento da produtividade e para o crescimento econômico de uma região. Este tópico busca sintetizar os resultados identificados no presente trabalho de modo a permitir aos interessados que avancem a discussão da temática a partir das conclusões apresentadas a seguir.

Com a expansão da fronteira agrícola e desenvolvimento de novas tecnologias a partir do ano 2000, o cerrado passa a ser interessante para o cultivo de novas lavouras. Embora o estado seja considerado agrícola, o impacto do agronegócio e sua relação com o crescimento econômico no estado do Tocantins, passa a ter uma maior relevância após 2010.

A soja, especialmente, a partir de 2010 passa a ser cultivada de forma mais intensa pelos produtores da região. Há uma evolução considerável de crescimento da área plantada, bem como da produção de soja no Estado. Destaque para a produção de cana-de-açúcar na região de Pedro Afonso-TO a partir do ano de 2011. Em termos de exportação, a soja é o produto dominante em valores exportados pelo Tocantins, alcançando o montante de aproximadamente US\$ 850 mil em 2019.

Para demonstrar o impacto do agronegócio e sua contribuição para o crescimento econômico de uma região foi estimado um modelo econométrico. Com base nos resultados obtidos pelo trabalho durante o período de 2003 a 2018 é possível indicar que, de modo geral o agronegócio contribuiu de positivamente para o crescimento econômico do estado do Tocantins. Foram analisados aspectos relacionados a área plantada, produção e exportações do setor. O aumento da produção agrícola contribuiu de forma positiva para o crescimento econômico no estado do Tocantins. Inclusive considerando os efeitos da exportação, embora com menor impacto em relação à produção agrícola. Por outro lado, não foi possível observar efeitos de externalidades positivas oriundas da relação exportação/importação no PIB dos municípios.

O aumento da produção depende, não apenas do aumento da área plantada, mas também da tecnologia empregada na produção. Novas tecnologias podem permitir além do aumento da produtividade, a racionalidade no uso dos recursos, adaptação as mudanças climáticas e, redução do desperdício de alimentos. O presente trabalho adotou a hipótese de que

a criação de um conjunto de indicadores de avanço tecnológico pode auxiliar a diagnosticar o nível de maturidade tecnológica do agronegócio. Diante disso é possível indicar prioridades para o aumento da produtividade do agronegócio e crescimento econômico de uma região.

Para fins de construção do índice foram levadas em consideração diversas variáveis que buscam indicar um nível tecnológico do agronegócio em uma determinada região. O índice também foi calculado para cada município do estado, levando em consideração os dados obtidos. O modelo proposto baseia-se em variáveis que apresentam respaldo na literatura relacionada e, não somente um rol de variáveis disponíveis em banco de dados oficiais.

Em termos de tecnologias, foi constatado uma melhoria significativa entre o cenário do agronegócio tocantinense em 2006 com o de 2017. Destaca-se a melhoria em adoção da tecnologia de preparo de solo e a infraestrutura de disponibilidade de internet. Observou-se ainda a necessidade de melhorias relacionadas a políticas de crédito ao setor e também na oferta de orientação técnica aos produtores. A orientação técnica é um importante disseminador de novas tecnologias para o setor. Por outro lado, tecnologias consideradas relevantes para o desenvolvimento do setor não tiveram uma evolução satisfatória. A exemplo da utilização de sistemas de irrigação, a disponibilidade de armazéns e corretivos de solo. Estudos anteriores já constataram que a melhoria de armazenamento para a região norte pode acarretar vários benefícios, especialmente em termos de produtividade (FERREIRA; VIEIRA FILHO, 2020).

A disponibilidade de internet em alta velocidade, mesmo com melhoria, ainda é um dos principais gargalos para a digitalização da agricultura no Tocantins. Constatou-se que em muitos estabelecimentos não existe internet e, nos locais que ela existe não é de alta velocidade. A digitalização da agricultura precede de acesso a banco de dados on-line e utilização massiva de *cloud computing* para fins de tomada de decisão pelo produtor ou responsável pela lavoura.

Verifica-se que são poucos os estabelecimentos que utilizam algum sistema de irrigação. A agricultura digital pode-se valer de diversos sensores e tecnologias para melhoria do sistema de irrigação, especialmente com a utilização do uso de recursos naturais de forma mais racional e eficiente. Inclusive foi observado ao comparar os cenários de 2006 e 2017 que foi a única tecnologia que não apresentou mudança significativa, do ponto de vista estatístico, da sua utilização pelos estabelecimentos agropecuários do estado.

De modo geral o estado se encontra em um nível médio de desenvolvimento tecnológico para o agronegócio, o que indica ainda necessidade de maior espaço na agenda pública de discussão sobre os incentivos para o setor no que tange a digitalização da agricultura. Em termos práticos, indica que houve uma alteração substancial do cenário do agronegócio no

Tocantins de 2006 a 2017. E ainda é verificado o efeito positivo do setor para o crescimento econômico dos municípios do Tocantins.

O trabalho avança na discussão da temática para regiões do Matopiba, bem como a análise do agronegócio e seus impactos na economia da região. Entender a dinâmica do agronegócio e seu papel em espaços regionais bem definidos é relevante do ponto de vista acadêmico, em especial por possibilitar a elaboração resultados empíricos localizados. É fato a relevância do agronegócio para a economia brasileira, haja vista o impacto do setor no PIB brasileiro. Por outro lado, há uma cobrança do restante da sociedade do retorno do resultado desse mercado para a população. Por isso, torna-se necessário estabelecer quais são os efeitos do agronegócio nas regiões das quais ele se encontra inserido. Uma das principais críticas da sociedade diz respeito ao destino da produção do setor, pois a maioria do que é produzido é destinado à exportação, tendo em vista que são *commodities*, levando inclusive a dificuldades de obtenção de matérias-primas pelas agroindústrias nacionais.

Ressalta-se que uma das principais contribuições do trabalho reside no fato de permitir o desenvolvimento de uma proposta para a avaliação do desempenho tecnológico do agronegócio e seu impacto no crescimento econômico de uma determinada região. A metodologia proposta possibilita a aplicação em qualquer região brasileira, tendo em vista que os dados podem ser obtidos por meio de instituições públicas e estão disponibilizadas na internet.

Uma das principais limitações do trabalho diz respeito a não inserção no modelo de outros atores relevantes no setor, por exemplo, a ferrovia norte-sul, fornecedores, relação do agronegócio com outros setores da economia e efeitos exógenos que contribuem para o crescimento econômico. O trabalho limita-se a analisar o efeito do agronegócio (produção) no crescimento de uma determinada região.

Diante disso, como sugestão de trabalhos futuros, torna-se relevante a aplicação do modelo proposto a novos estados da federação, bem como a melhoria com a identificação e inserção de outros atores e fatores relevantes para a relação do agronegócio e crescimento econômico de uma região. Sugere-se ainda investigar os efeitos distributivos do agronegócio e o impacto do setor no desenvolvimento econômico. Torna-se relevante discutir o papel da ferrovia norte-sul no crescimento econômico do estado, logo até 2008 o Tocantins não dispunha de ferrovia, todo o escoamento da produção era feito por meio das rodovias. A partir de 2009 tem-se início as operações na Ferrovia Norte e Sul e em conjunto com a expansão de culturas para a região Norte do Brasil. Tais eventos em conjunto merecem ser investigados pelos pesquisadores da temática.

Em termos de política pública, o trabalho tende a recomendar ações de incentivo a digitalização da agricultura no estado. Por exemplo, a criação de grupos de trabalho com foco na agricultura digital, com representantes da Secretaria da Agricultura, Instituições de Ensino e Pesquisa e entidades do setor, tendo como principal objetivo introduzir a digitalização das pequenas, médias e grandes propriedades do estado. Bem como, assegurar que iniciativas para a digitalização da agricultura sejam exitosas e não ocorra sobreposição de esforços de instituições públicas ou privadas para a implementação da Agricultura Digital no Tocantins.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, R.; MARTINEZ, P.; AHMAD, R. The digitization of agricultural industry – a systematic literature review on agriculture 4.0. *Smart Agricultural Technology*, v. 2, p. 100-142, 2022.
- ABREU, I.; NUNES, J. M.; MESIAS, F. J. Can Rural Development Be Measured? Design and Application of a Synthetic Index to Portuguese Municipalities. *Social Indicators Research*, v. 145, n. 3, p. 1107–1123, 2019.
- ACEMOGLU, D. *Introduction to Modern Economic Growth*: Princeton University Press, 2007.
- ADEGBOLA, Y. U.; FISHER, P. R.; HODGES, A. W. Economic evaluation of transplant robots for plant cuttings. *Scientia Horticulturae*, v. 246, p. 237–243, fev. 2019.
- AHUAJI FILHO, M. A. S.; RAIHER, A. P. Exportações Por Intensidade Tecnológica dos Estados Brasileiros e Sua Importância no Crescimento Econômico. *Análise Econômica*, v. 36, n. 69, p. 139–171, 2018.
- AIREHROUR, D.; GUTIERREZ, J.; RAY, S. K. Secure routing for internet of things: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, v. 66, p. 198–213, 2016.
- AKHTAR, S. M. F. *Big data architect's handbook: a guide to building proficiency in tools and systems used by leading big data experts*. Birmingham Mumbai: Packt, 2018.
- ALBIERO, D. *et al.* Agriculture 4.0: a terminological introduction. *Revista Ciência Agronômica*, v. 51, n. Special Agriculture 4.0, p. 1–8, 2020.
- ALCANTARA, I. R. DE *et al.* Agriculture 4.0: Origin, features, and consequences in the world and Brazil. *Quaestum*, v. 2, p. 1–14, 2021.
- ALEMU, W. A. *The Impact of agriculture on economic growth in Sub-Saharan Africa*. 2015. KDI School of Public Policy and Management, 2015.
- ALMEIDA, C. A. DE; SELEME, R.; CARDOSO NETO, J. Rodovia Transoceânica: uma alternativa logística para o escoamento das exportações da soja brasileira com destino à China. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 51, n. 2, p. 351–368, 2013.
- ALVES, E.; CONTINI, E.; HAINZELIN, É. Transformações Da Agricultura Brasileira E Pesquisa Agropecuária. v. 22, n. 1, 2005.
- ARAÚJO, M. J. *Fundamentos de Agronegócios*. 6. ed. São Paulo - SP: Grupo Gen, 2022.
- ARAÚJO, M. L. S. DE *et al.* Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). *Land Use Policy*, v. 80, p. 57–67, 2019.
- ARAÚJO, W. V. DE *et al.* Crédito Rural: Política e Desempenho. *Uma Jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário*: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2020.
- ARBACHE, J. S. *Comércio internacional, competitividade e políticas públicas no Brasil*. 2002.
- ARBIX, G. Dilemas da Inovação no Brasil. *Políticas de apoio à inovação tecnológica no Brasil: avanços recentes, limitações e propostas de ações*. Brasília-DF: IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2017. p. 47–80.

- ASCHAUER, D. A. Is public expenditure productive? *Journal of Monetary Economics*, v. 23, n. 2, p. 177–200, 1989.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.
- AWOKUSE, T. O.; XIE, R. Does Agriculture Really Matter for Economic Growth in Developing Countries? *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*, v. 63, n. 1, p. 77–99, 2015.
- BACKLUND, F.; CHRONÉER, D.; SUNDQVIST, E. Project Management Maturity Models – A Critical Review: A Case Study within Swedish Engineering and Construction Organizations. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Croatia, 2013. v. 119, p. 837–846, 2014.
- BAIARDI, A.; COSTA, E. M. Solução Produtiva para o Nordeste. *Uma Jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário*: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2020.
- BALSADI, O. V. *et al.* Transformações tecnológicas e a força de Trabalho na agricultura brasileira no período 1990-2000. *Agric. São Paulo*, v. 1, n. 49, p. 23–40, 2002.
- BALSADI, O. V.; DELGROSSI, M. E. Labor and Employment in Brazilian Northeastern Agriculture: a look at the 2004-2014 period. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 56, n. 1, p. 19–34, 2018.
- BARRETO, L.; AMARAL, A.; PEREIRA, T. Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, v. 13, p. 1245–1252, 2017.
- BARRO, R. J. Government Spending in a Simple Model of Endogeneous Growth. *Journal of Political Economy*, v. 98, n. 5, Part 2, p. S103–S125, 1990.
- BARROS, G. S. DE C.; CASTRO, N. R.; ALMEIDA, F. M. DE S. Direções Do Crescimento Na Agricultura. *Uma Jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário*: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2020.
- BASSANINI, A.; SCARPETTA, S. he Driving Forces of Economic Growth: Panel Data Evidence for the OECD Countries. *OECD Economic Studies*, v. 33, n. 2, p. 9–56, 2001.
- BECKER, J.; KNACKSTEDT, R.; PÖPPELBUSS, J. Developing Maturity Models for IT Management. *Business & Information Systems Engineering*, v. 1, n. 3, p. 213–222, 2009.
- BELAUD, J.-P. *et al.* Big data for agri-food 4.0: Application to sustainability management for by-products supply chain. *Computers in Industry*, v. 111, p. 41–50, 2019.
- BEN-DAYA, M.; HASSINI, E.; BAHROUN, Z. Internet of things and supply chain management: a literature review. *International Journal of Production Research*, p. 1–24, 2017.
- BESSA, D. DA C. *Contribuições do agronegócio ao desenvolvimento econômico: três ensaios*. 2017. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis/SC, 2017.
- BLACK, W. R. An unpopular essay on transportation. *Journal of Transport Geography*, v. 9, n. 1, p. 1–11, 2001.
- BMW. *Digitising Manufacturing in the G20 – Initiatives, Best Practice and Policy Approaches*. Conference Report. Berlin, Germany: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi), 2017.
- BORGHI, E. *et al.* *Estado da arte da agricultura e pecuária do Estado do Tocantins*: Embrapa, 2015.

BRESSER-PEREIRA, L. C. O Modelo Harrod-Domar e a Substitutibilidade de Fatores. *Estudos Econômicos*, v. 5, n. 3, p. 7–36, 1975.

BUAINAIN, A. M.; SOUZA FILHO, H. M. DE. Censo Agropecuário e Política Agrícola. *Uma Jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário*: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2020.

CARLAW, K. I.; LIPSEY, R. G. Productivity, Technology and Economic Growth: What is the Relationship? *Journal of Economic Surveys*, v. 17, n. 3, p. 457–495, 2003.

CARMO, A. S. S. DO; RAIHER, A. P.; STEGE, A. L. O efeito das exportações no crescimento econômico das microrregiões brasileiras: uma análise espacial com dados em painel. *Estudos Econômicos (São Paulo)*, v. 47, n. 1, p. 153–183, 2017.

CASTRO, C. N. DE. O Agronegócio e os Desafios da Infraestrutura de Transporte na Região Centro-Oeste. *Desenvolvimento Regional no Brasil - Políticas, estratégias e perspectivas*. Brasília-DF: IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2016. p. 391.

CEPEA/ESALQ/USP. *PIB do Agronegócio Brasil*. 2020

CERQUEIRA, E. DA S. Agronegócio X Desenvolvimento: Espaços Estratégicos do Agronegócio no Estado do Tocantins e o Índice De Desenvolvimento Humano. *Produção Acadêmica*, v. 1, n. 2, p. 5–32, 2016.

CHEN, Y. Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers. *Engineering*, v. 3, n. 5, p. 588–595, 2017.

CNI. *Investimentos em indústria 4.0*. Brasília-DF: Confederação Nacional da Indústria, 2018.

CNI. Sondagem Especial - Indústria 4.0. *Indicadores CNI*, v. 17, n. 2, p. 13, 2016.

CONCEIÇÃO, J. C. P. R. DA; CONCEIÇÃO, P. H. Z. DA. *Agricultura: evolução e importância para a balança comercial brasileira*. Brasília - DF, 2014.

CONTO, S. M. DE; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V.; VACCARO, G. L. R. A inovação como fator de vantagem competitiva: estudo de uma cooperativa produtora de suco e vinho orgânicos. *Gestão & Produção*, v. 23, n. 2, p. 397–407, 2016.

CORNELL UNIVERSITY; INSEAD; WIPO. *Global Innovation Index 2019 - Creating Healthy Lives—The Future of Medical Innovation*, 2019

COUTINHO, E. S. *et al.* De Smith a Porter: um ensaio sobre as teorias de comércio exterior. *REGE - Revista de Gestão*, v. 12, n. 4, p. 101–113, 2005.

CRAFTS, N. The contribution of new technology to economic growth: lessons from economic history. *Revista de Historia Economica - Journal of Iberian and Latin American Economic History*, v. 28, n. 3, p. 409–440, 2010.

CRESPO CUARESMA, J.; WÖRZ, J. On Export Composition and Growth. *Review of World Economics*, v. 141, n. 1, p. 33–49, 2005.

CRUZ, A. A.. Dinâmica da produção de grãos nas microrregiões do Estado do Tocantins de 1990 a 2016. *Revista de Desenvolvimento e Políticas Públicas*, v. 2, n. 2, p. 158–180, 2018.

- CZIMBER, K.; GÁLOS, B. A new decision support system to analyse the impacts of climate change on the Hungarian forestry and agricultural sectors. *Scandinavian Journal of Forest Research*, v. 31, n. 7, p. 664–673, 2016.
- DAGAR, R.; SOM, S.; KHATRI, S. K. Smart Farming – IoT in Agriculture. In: 2018 International Conference On Inventive Research In Computing Applications (Icirca), 2018.
- DALKIR, K. *Knowledge management in theory and practice*. Amsterdam; Boston: Elsevier/Butterworth Heinemann, 2005.
- DATHEIN, R. *Desenvolvimentismo: o conceito, as bases teóricas e as políticas*: Editora da UFRGS, 2015.
- DE BRUIN, T. *et al.* Understanding the main phases of developing a maturity assessment model: 16th Australasian Conference on Information Systems, ACIS 2005. *ACIS 2005 Proceedings - 16th Australasian Conference on Information Systems*, 2005.
- DECANIO, S. J. Robots and humans – complements or substitutes? *Journal of Macroeconomics*, v. 49, p. 280–291, 2016.
- DELGROSSI, M. E.; BALSADI, O. V. Mercado De Trabalho e Agricultura No Brasil Contemporâneo. *Uma Jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário*: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2020.
- DONG, C. *et al.* Water Resources and Farmland Management in the Songhua River Watershed under Interval and Fuzzy Uncertainties. *Water Resources Management*, v. 32, n. 13, p. 4177–4200, 2018.
- DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0: Hit or Hype? [Industry Forum]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, v. 8, n. 2, p. 56–58, 2014.
- EMBRAPA. Visão 2014-2034: o futuro do desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira: síntese. p. 55, 2014.
- ESCHER, F.; WILKINSON, J. A economia política do complexo Soja-Carne Brasil-China. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 57, p. 656–678, 2019.
- FÁVERO, L. P. *et al.* *Análise de Dados: modelagem multivariada para tomadas de decisões*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- FEDER, G. On exports and economic growth. *Journal of Development Economics*, v. 12, n. 1–2, p. 59–73, 1983.
- FERENTINOS, K. P. Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 145, p. 311–318, 2018.
- FERREIRA, M. D. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Eficiência técnica na agropecuária: capacidade de armazenagem e densidade de rodovias. *Uma Jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário*: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2020.
- FERREIRA, P. C. Investimento em infra-estrutura no Brasil: fatos estilizados e relações de longo prazo. v. 26, n. 2, p. 231–252, 1996.
- FIELD, A. *Descobrendo a Estatística usando o SPSS*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- FIELKE, S.; TAYLOR, B.; JAKKU, E. Digitalisation of agricultural knowledge and advice networks: A state-of-the-art review. *Agricultural Systems*, v. 180, p. 102763, 2020.

FIETO. *Soja e milho: plano estratégico para as cadeias produtivas do agronegócio no Estado do Tocantins: 2018 - 2027*: Sistema FIETO.

FIRJAN. *Industria 4.0 no Brasil: Oportunidades, perspectivas e desafios*. Rio de Janeiro-RJ: Firjan – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, 2019.

FORNARO, A. C. *Logística E Agronegócio Globalizado No Estado Do Tocantins: Um Estudo Sobre A Expansão Das Fronteiras Agrícolas Modernas No Território Brasileiro*. 2012. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual De Campinas, Campinas-SP, 2012.

FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALA, N. F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, v. 210, p. 15–26, 2019.

FREITAS, CARLOS OTAVIO DE *et al.* Technical efficiency and farm size: an analysis based on the Brazilian agriculture and livestock census. *Italian Review of Agricultural Economics*, v. 74, n. 1, p. 33–48, 2019.

FREITAS, CARLOS OTÁVIO DE; SILVA, F. A.; TEIXEIRA, E. C. Crédito Rural e Desempenho Produtivo na Agropecuária Brasileira. *Uma Jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário*: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2020.

FREITAS, D. G. F.; KHAN, A. S.; SILVA, L. M. R. Nível tecnológico e rentabilidade de produção de mel de abelha (*Apis mellifera*) no Ceará. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 42, n. 1, p. 171–188, 2004.

FREITAS, R. E. *et al.* Expansão Agrícola no Brasil e a Participação da Soja: 20 anos. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 54, n. 3, p. 497–516, 2016.

FREITAS, R. E.; CASTRO, C. N. DE. O Pronaf no Nordeste. *Uma Jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário*: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2020.

GAITAN, B.; ROE, T. L. International trade, exhaustible-resource abundance and economic growth. *Review of Economic Dynamics*, v. 15, n. 1, p. 72–93, 2012.

GALIMBERTI, J. K.; CALDART, W. L. As exportações e o crescimento econômico: análise dos municípios do Corede Serra — 1997-04. *Ensaíos FEE*, v. 31, n. 1, 2010.

GASQUES, J. G. *et al.* Crescimento e produtividade da agricultura brasileira: uma análise do censo agropecuário. *Uma Jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário*: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2020.

GELINSKI JÚNIOR, E. *et al.* Sistema de Inovação do Agronegócio Brasileiro? Dualismo estrutural-tecnológico e desafios para o desenvolvimento do país. *Desenvolvimento em Questão*, v. 12, n. 28, p. 279–317, 2014.

GERALDELLO, C. S. *Agronegócio, comércio internacional e representação de interesses no Brasil: o caso das grandes indústrias citrícolas paulistas*. 2021. Universidade de São Paulo - USP, São Paulo - SP, 2021.

GIANEZINI, M. *et al.* Sustainability and Market Orientation in the Brazilian Beef Chain. *Journal of Agricultural Science and Technology B*, v. 4, n. 4, 2014.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5. ed. São Paulo - SP: Atlas, 2010.

- GOEL, R. K. *et al.* Smart agriculture – Urgent need of the day in developing countries. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, v. 30, p. 100512, 2021.
- GOLLIN, D.; PARENTE, S.; ROGERSON, R. The Role of Agriculture in Development. *American Economic Review*, v. 92, n. 2, p. 160–164, 2002.
- GONZALEZ, B. C. DE R.; COSTA, S. M. A. L. Agricultura Brasileira: Modernização e Desempenho. *Revista Teoria e Evidência Econômica*, v. 5, n. 10, 1998.
- GRAMLICH, E. M. Infrastructure Investment: A Review Essay. *Journal of Economic Literature*, v. 32, n. 3, p. 1176–1196, 1994.
- GUANZIROLI, C. E.; SABBATO, A. D.; BUAINAIN, A. M. Evolução Da Agricultura Familiar No Brasil (1996-2017). *Uma Jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário*: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2020.
- GUJARATI, D. *Econometria Básica*. 4. ed. Rio de Janeiro-RJ: Elsevier, 2006.
- HADDAD, P. R. Capitais intangíveis e desenvolvimento regional. *Revista de Economia*, v. 35, n. 3, p. 119–146, 2010.
- HAIR, J. F. *et al.* *Análise multivariada de dados*. 6. ed. São Paulo - SP: Bookman, 2009.
- HÅRSMAR, M. *Agriculture, Economic Growth and Poverty Reduction*. The Expert Group for Aid Studies (EBA), 2022.
- HORVAT, R.; WATANABE, M.; YAMAGUCHI, C. K. Fertilizer Consumption in the Region MATOPIBA and Their Reflections on Brazilian Soybean Production. *International Journal of Agriculture and Forestry*, v. 5, n. 1, p. 52–59, 2015.
- HWA, E.-C. The contribution of agriculture to economic growth: Some empirical evidence. *World Development*, v. 16, n. 11, p. 1329–1339, 1988.
- IBARRA, D.; GANZARAIN, J.; IGARTUA, J. I. Business model innovation through Industry 4.0: A review. *Procedia Manufacturing*, v. 22, p. 4–10, 2018.
- IEL. *Estudo de sistema produtivo: Agroindústria*. Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas. Brasília-DF: Instituto Eivaldo Lodi (IEL), 2018.
- IEL. *Síntese dos resultados. Volume 1 – Tecnologias disruptivas e indústria: Situação atual e avaliação prospectiva*, Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas. Brasília-DF: Instituto Eivaldo Lodi (IEL), 2018.
- IVANOV, D. Supply Chain Management and Structural Dynamics Control. In: IVANOV, D. *Structural Dynamics and Resilience in Supply Chain Risk Management*. International Series in Operations Research & Management Science. Cham: Springer International Publishing, 2018.
- IVIC, M. M. Economic Growth and Development. v. 3, p. 55–62, 2015.
- JANK, M. S.; NASSAR, A. M.; TACHINARDI, M. H. Agronegócio e comércio exterior brasileiro. *Revista USP*, n. 64, p. 14–27, 2005.
- JJULING, X.; JIANKANG, W.; HONGJIANG, Y. Study on maturity level transition mechanism of knowledge management. In: 2012 *International Conference On Information Management, Innovation Management And Industrial Engineering*, 2012. p. 325–328.

- JOHANNES, A. *et al.* Automatic plant disease diagnosis using mobile capture devices, applied on a wheat use case. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 138, p. 200–209, 2017.
- JOHNSON, N.; SANTOSH KUMAR, M. B.; DHANNIA, T. A study on the significance of smart IoT sensors and Data science in Digital agriculture. In: 2020 Advanced Computing and Communication Technologies For High Performance Applications (Accthp), jul. 2020, Cochin, India. *Anais... Cochin, India: IEEE*, jul. 2020. p. 80–88.
- JOHNSTON, B. F.; MELLOR, J. W. The Role of Agriculture in Economic Development. *The American Economic Review*, v. 51, n. 4, p. 566–593, 1961.
- JONES, C. I. *Introdução à Teoria do Crescimento Econômico*. [S.l.]: Campus, 1998.
- KAMBLE, S.; GUNASEKARAN, A.; ARHA, H. Understanding the Blockchain technology adoption in supply chains-Indian context. *International Journal of Production Research*, v. 57, n. 7, p. 2009–2033, 2019.
- KANG, H. S. *et al.* Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, v. 3, n. 1, p. 111–128, 2016.
- KAYACAN, E. *et al.* Towards agrobots: Identification of the yaw dynamics and trajectory tracking of an autonomous tractor. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 115, p. 78–87, 2015.
- KIEL, D. *et al.* Sustainable Industrial Value Creation: Benefits and Challenges of Industry 4.0. *International Journal of Innovation Management*, v. 21, n. 08, p. 1–34, 2017.
- KIM, Y.; EVANS, R. G.; IVERSEN, W. M. Remote Sensing and Control of an Irrigation System Using a Distributed Wireless Sensor Network. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, v. 57, n. 7, p. 1379–1387, 2008.
- KING, A. Technology: The Future of Agriculture. *Nature*, v. 544, n. 7651, p. S21–S23, 2017.
- KMOCH, L. *et al.* Using Local Agroecological Knowledge in Climate Change Adaptation: A Study of Tree-Based Options in Northern Morocco. *Sustainability*, v. 10, n. 10, 2018.
- KRASNOV, H. *et al.* The effect of local and landscape variables on Mediterranean fruit fly dynamics in citrus orchards utilizing the ecoinformatics approach. *Journal of Pest Science*, v. 92, n. 2, p. 453–463, 2019.
- KRÜGER, J. J. Productivity and Structural Change: A Review of the Literature. *Journal of Economic Surveys*, v. 22, n. 2, p. 330–363, 2008.
- KRUGMAN, P.; WELLS, R. *Introdução à economia*: Elsevier, 2007.
- LEAL, C. I. S.; FIGUEIREDO, P. N. Inovação tecnológica no Brasil: desafios e insumos para políticas públicas. *Revista de Administração Pública*, v. 55, p. 512–537, 2021.
- LEE, C. K. H. A GA-based optimisation model for big data analytics supporting anticipatory shipping in Retail 4.0. *International Journal of Production Research*, v. 55, n. 2, p. 593–605, 2017.
- LEE, J.; HAN, S.; YANG, J. Construction of a computer-simulated mixed reality environment for virtual factory layout planning. *Computers in Industry*, v. 62, n. 1, p. 86–98, 2011.
- LEE, K. *Schumpeterian Analysis of Economic Catch-up: Knowledge, Path-Creation, and the Middle-Income Trap*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

- LEZOCHE, M. *et al.* Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture. *Computers in Industry*, v. 117, p. 1–15, 2020.
- LI, C.; NIU, B. Design of smart agriculture based on big data and Internet of things. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, v. 16, n. 5, 2020.
- LI, F.-R. *et al.* Soil conservation effectiveness and energy efficiency of alternative rotations and continuous wheat cropping in the Loess Plateau of northwest China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 91, n. 1–3, p. 101–111, 2002.
- LIAO, Y. *et al.* Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, v. 55, n. 12, p. 3609–3629, 2017.
- LIMA, D. A. E. *A expansão da soja na fronteira agrícola moderna e as transformações do espaço agrário tocantinense*. 2014. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual De Campinas, Campinas-SP, 2014.
- LINS, F. E. *Mensurando a Inovação Tecnológica: Indicadores e Determinantes*. 2003. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- LIOUTAS, E. D.; CHARATSARI, C.; ROSA, M. D. Digitalization of agriculture: A way to solve the food problem or a trolley dilemma? *Technology in Society*, v. 67, 2021.
- LOBÃO, M. S. P.; STADUTO, J. A. R. Modernização agrícola na Amazônia brasileira. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 58, 2020.
- MAHESWARI, R. *et al.* Smart Village: Solar Based Smart Agriculture with IoT Enabled for Climatic Change and Fertilization of Soil. In: *2019 Ieee 5th International Conference On Mechatronics System And Robots (ICMSR)*, p. 102–105, 2019.
- MARANHÃO, R. L. A.; VIEIRA FILHO, J. E. R. *Inserção Internacional Do Agronegócio Brasileiro. Texto para Discussão*, 2017.
- MARESOVA, P. *et al.* Consequences of Industry 4.0 in Business and Economics. *Economies*, v. 6, n. 3, 2018.
- MATOS, D. A. S.; RODRIGUES, E. C. *Análise fatorial*. Brasília - DF: Enap, 2019.
- MAYER, J. *et al.* Productivity, quality and sustainability of winter wheat under long-term conventional and organic management in Switzerland. *European Journal of Agronomy*, v. 65, p. 27–39, 2015.
- MEGETO, G. A. S. *et al.* Artificial intelligence applications in the agriculture 4.0. *Revista Ciência Agronômica*, v. 51, p. 1–8, 2020.
- MELO, C. O. DE; PARRÉ, J. L. Índice de desenvolvimento rural dos municípios paranaenses: determinantes e hierarquização. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 45, p. 329–365, 2007.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. *Potencialidades e desafios do agro 4.0: GT III “Cadeias Produtivas e Desenvolvimento de Fornecedores*: Mapa/ACES. 2021
- MOEUF, A. *et al.* The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, v. 56, n. 3, p. 1118–1136, 2018.
- MOHANTY, S. P.; HUGHES, D. P.; SALATHÉ, M. Using Deep Learning for Image-Based Plant Disease Detection. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, p. 1–10, 2016.

- MPTO. *Justiça atende MPTO e mantém data limite para captações de água do rio Formoso para fins de irrigação*. Disponível em: <<https://mpto.mp.br/portal/2020/08/19/justica-atende-mpto-e-mantem-data-limite-para-captacoes-de-agua-do-rio-formoso-para-fins-de-irrigacao>>. Acesso em: 6 nov. 2022.
- MUHURI, P. K.; SHUKLA, A. K.; ABRAHAM, A. Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 78, p. 218–235, 2019.
- MÜLLER, J. M.; BULIGA, O.; VOIGT, K.-I. Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 132, p. 2–17, 2018.
- NAFCHI, M. Z.; MOHELSKÁ, H. Effects of Industry 4.0 on the Labor Markets of Iran and Japan. *Economies*, v. 6, n. 3, p. 39, 2018.
- NEGRI, F. Por Uma Nova Geração de Políticas de Inovação no Brasil. *Políticas de apoio à inovação tecnológica no Brasil: avanços recentes, limitações e propostas de ações*. Brasília-DF: IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2017.
- NEGRI, J. A. D. *et al.* *Mercado Formal de Trabalho: Comparação entre os Microdados da RAIS e da PNAD*. Brasília-DF, 2001.
- NEWTON, J. E.; NETTLE, R.; PRYCE, J. E. Farming smarter with big data: Insights from the case of Australia's national dairy herd milk recording scheme. *Agricultural Systems*, v. 181, 2020.
- O'CONNOR, N.; MEHTA, K. Modes of Greenhouse Water Savings. *Procedia Engineering*, v. 159, p. 259–266, 2016.
- OECD. *Manual de Oslo: Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação*: OECD, 2014.
- OECD; EUROPEAN UNION; JOINT RESEARCH CENTRE - EUROPEAN COMMISSION. *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*: OECD, 2008.
- OLIVEIRA, N. M. DE. *Desenvolvimento regional do território do Estado do Tocantins: implicações e alternativas*. 2015. Tese de Doutorado – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste/ Campus de Toledo, Paraná, 2015.
- OLIVEIRA, N. M. DE. Produção Agropecuária Agregada: Uma Aplicação Para o Estado do Tocantins. *DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, v. 5, n. 1, p. 135–147, 2018.
- OREIRO, J. L. Progresso tecnológico, crescimento econômico e as diferenças internacionais nas taxas de crescimento da renda per capita. Uma crítica aos modelos neoclássicos de crescimento. *Economia e Sociedade*, p. 41–67, 1999.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA. *Digital Technologies in Agriculture and Rural Areas*: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2019.
- OUAFIQ, E. M. *et al.* AI-based modeling and data-driven evaluation for smart farming-oriented big data architecture using IoT with energy harvesting capabilities. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 52, 2022.
- PEIXOTO, M. Assistência Técnica e Extensão Rural: Grandes Deficiências Ainda Persistem. *Uma Jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário*: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2020.

- PIACENTI, C. A.; ALVES, L. R.; LIMA, J. F. DE. O perfil locacional do emprego setorial no Brasil. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 39, n. 3, p. 482–502, 2008.
- PORTER, M. E. *A vantagem competitiva das nações*. Rio de Janeiro: Elsevier, 1989.
- PORTER, M. E. *Competição: estratégias competitivas essenciais*: Gulf Professional Publishing, 1999.
- PORTER, M. E. *Competitive advantage: creating and sustaining superior performance*. New York: London: Free Press ; Collier Macmillan, 1985.
- POSADAS, B. B.; GILBERT, J. E. Regulating Big Data in Agriculture. *IEEE Technology and Society Magazine*, v. 39, n. 3, p. 86–92, set. 2020.
- POURMOAYED, R.; NIELSEN, L. R.; KRISTENSEN, A. R. A hierarchical Markov decision process modeling feeding and marketing decisions of growing pigs. *European Journal of Operational Research*, v. 250, n. 3, p. 925–938, 2016.
- PRESTON, J. Integrating transport with socio-economic activity – a research agenda for the new millennium. *Journal of Transport Geography*, v. 9, n. 1, p. 13–24, mar. 2001.
- PRIMAVESI, A. C. *Características de corretivos agrícolas*: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004
- PROENÇA, D.; BORBINHA, J. Maturity Models for Information Systems - A State of the Art. *Procedia Computer Science*, v. 100, p. 1042–1049, 2016.
- RAFAEL, L. D. *et al.* An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 159, 2020.
- RAHMAN, M. M.; ALAM, K. Exploring the driving factors of economic growth in the world's largest economies. *Heliyon*, v. 7, n. 5, 2021.
- RAJNAI, Z.; KOCSIS, I. Labor market risks of industry 4.0, digitization, robots and AI. 2017, Sérvia. *Anais...*, p. 343–346, 2017.
- RAM, R. Exports and Economic Growth in Developing Countries: Evidence from Time-Series and Cross-Section Data. *Economic Development and Cultural Change*, v. 36, n. 1, p. 51–72, 1987.
- RAPELA, M. A. *Fostering Innovation for Agriculture 4.0: A Comprehensive Plant Germplasm System*. Buenos Aires, Argentina: Springer International Publishing, 2019.
- RAUTENBERG, S.; CARMO, P. R. V. DO. Big data e ciência de dados | Brazilian Journal of Information Science: research trends. *Brazilian Journal of Information Science: research trends*, v. 13, n. 1, p. 56–67, 2019.
- REISCHAUER, G. Industry 4.0 as policy-driven discourse to institutionalize innovation systems in manufacturing. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 132, p. 26–33, 2018.
- REYNA, E. F.; BRAGA, M. J.; MORAIS, G. A. DE S. Impactos Do Uso De Agrotóxicos Sobre A Eficiência Técnica Na Agricultura Brasileira. *Uma Jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário*: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2020.
- RIBEIRO, L. C. DE S. *et al.* Padrões de crescimento econômico dos municípios do MATOPIBA. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 58, n. 3, p. 1–17, 2020.
- RODRIGUES, W. *et al.* Análise das estratégias de financiamento e comercialização dos produtores de soja da região de Santa Rosa do Tocantins/TO. *Informe GEPEC*, v. 14, n. 2, p. 6–21, 2010.

- RODRIGUES, W.; VASCONCELOS, S. J.; BARBIERO, A. K. Análise da Efetividade Socioeconômica do Prodecer III No Município De Pedro Afonso, Tocantins. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, p. 301–306, 2009.
- RÖGLINGER, M.; PÖPPELBUSS, J.; BECKER, J. Maturity models in business process management. *Business Process Management Journal*, v. 18, n. 2, p. 328–346, 2012.
- ROMER, P. M. Increasing Returns and Long-Run Growth. *Journal of Political Economy*, v. 94, n. 5, p. 1002–1037, 1986.
- ROSSETTO, M.; PEÑA, C. R. A Produtividade e o Impacto da Logística de Distribuição na Eficiência da Sojicultura Brasileira. *Revista de Economia e Agronegócio*, v. 16, n. 1, p. 92–116, 2018.
- ROZADOS, H. B. F. *Indicadores como ferramenta para gestão de serviços de informação tecnológica*. 2004. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2004.
- RUZZANTE, S.; LABARTA, R.; BILTON, A. Adoption of agricultural technology in the developing world: A meta-analysis of the empirical literature. *World Development*, v. 146, 2021.
- SÁ, H. A.; MORAIS, L.; CAMPOS, C. S. S. Que desenvolvimento é esse? Análise da expansão do agronegócio da soja na área do MATOPIBA a partir de uma perspectiva furtadiana. In: XXI Congresso Brasileiro De Economia, 2015, Brasília - DF. *Anais...* Brasília - DF: Corecon, 2015.
- SANJUÁN-LÓPEZ, A. I.; DAWSON, P. J. Agricultural Exports and Economic Growth in Developing Countries: A Panel Cointegration Approach. *Journal of Agricultural Economics*, v. 61, n. 3, p. 565–583, 2010.
- SANTANA, C. A. M.; GASQUES, J. G. O Estado e a agricultura brasileira: seis décadas de evolução. *A economia agropecuária do Brasil: a grande transformação*. 1. ed. São Paulo - SP: Baraúna, 2020. p. 224.
- SANTANA, R. DA S.; SORDI, V. F. Adoção Tecnológica No Agronegócio Inteligente: facilitadores e barreiras. *Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN)*, v. 4, n. 1, 2020.
- SANTOS, D. F. L. *et al.* Inovação e Desempenho no Agronegócio: Evidências em uma Microrregião do Estado de São Paulo. *Desenvolvimento em Questão*, v. 16, n. 42, p. 442–483, 2018.
- SANTOS, E. C. DO C. Índice estadual de Ciência, Tecnologia e Inovação como contribuição à melhoria da capacidade de gestão pública. *Nova Economia*, v. 21, p. 399–421, 2011.
- SANTOS, L. P. DOS *et al.* Agronegócio brasileiro no comércio internacional. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 39, n. 1, p. 54–69, 2016.
- SANTOS, N. C. A. DOS. Indicador de desenvolvimento rural para as regiões de integração do estado do Pará. 2016.
- SCHUMPETER, J. A. *Teoria do Desenvolvimento Econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico*. Tradução Maria Sílvia Possas. São Paulo - SP: Editora Nova Cultural Ltda, 1997.
- SCOLARI, D. D. G. Inovação tecnológica e desenvolvimento do agronegócio. *Revista de Política Agrícola*, v. 15, n. 4, p. 59-73, 2006.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE. *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Formoso – PBH Rio Formoso, no Estado Do Tocantins*, 2007.

SEFAZ. *Indicadores Socioeconômicos do Estado do Tocantins*: Secretaria da Fazenda e Planejamento (SEFAZ), 2019

SENA, A. L. D. S. *et al.* Avaliação do Nível Tecnológico dos Produtores de Leite na Região Oeste do Estado do Pará. *Revista de Economia e Agronegócio*, v. 10, n. 3, p. 397–418, 2015.

SEPLAN. *Perfil do Agronegócio Tocantinense*, 2016.

SILVA FILHO, G. E. DA; CARVALHO, E. B. S. A Teoria do Crescimento Endógeno e o Desenvolvimento Endógeno Regional: Investigação das Convergências em um Cenário Pós-Cepalino. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 32, n. Especial, p. 467–482, 2001.

SILVA NETO, R.; REIS FILHO, P. G. Índice Municipal de Ciência, Tecnologia e Inovação: Avaliação dos Municípios do Estado do Rio de Janeiro. *Cadernos do Desenvolvimento Fluminense*, v. 17, n. 2, p. 27–44, 2019.

SILVA NETO, W. A. DA; SANTOS, T. L. O Déficit na Capacidade Estática de Armazenamento nas Regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil. *Revista de Economia e Agronegócio*, v. 17, n. 3, p. 507–530, 2019.

SILVA, D. S.; QUINTINO, H. M. DA S.; SANTANA, J. R. DE. Proposição De Indicadores Subnacionais de Ciência, Tecnologia e Inovação: Uma Aplicação Aos Estados Brasileiros. *RDE - Revista de Desenvolvimento Econômico*, v. 3, n. 41, 2019.

SILVA, M. L. DA *et al.* Padrão de especialização do comércio internacional agrícola brasileiro: uma análise por meio de indicadores de competitividade. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 11, n. 2, p. 385–408, 2018.

SILVA, R. G. DA; FERNANDES, E. A. ÍNDICE RELATIVO DE MODERNIZAÇÃO AGRÍCOLA NA REGIÃO NORTE. *Revista de Economia e Agronegócio*, v. 3, n. 1, 2005.

SIMIONATO, R. *et al.* Survey on connectivity and cloud computing technologies: State-of-the-art applied to Agriculture 4.0. *Revista Ciência Agronômica*, v. 51, n. SPE, p. 1–19, 2020.

SOARES, F. C. *et al.* Corn crop production prediction using artificial neural network. *Ciência Rural*, v. 45, p. 1987–1993, 2015.

SOLOW, R. M. A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, v. 70, n. 1, p. 65–94, 1956.

SOSSA, C. O.; DUARTE, L. B. Análise da Competitividade Internacional do Agronegócio Brasileiro no Período de 2003 a 2013. *Desenvolvimento em Questão*, v. 17, n. 49, p. 59–78, 2019.

SOUZA FILHO, H. M. DE *et al.* Condicionantes Da Adoção De Inovações Tecnológicas Na Agricultura. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 28, n. 1, p. 223–255, 2011.

SPARROW, R.; HOWARD, M. Robots in agriculture: prospects, impacts, ethics, and policy. *Precision Agriculture*, v. 22, n. 3, p. 818–833, 2021.

SPOLADOR, H. F. S.; ROE, T. L. The Role of Agriculture on the Recent Brazilian Economic Growth: How Agriculture Competes for Resources. *The Developing Economies*, v. 51, n. 4, p. 333–359, 2013.

- STOCK, T. *et al.* Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 118, p. 254–267, 2018.
- STRANDHAGEN, J. O. *et al.* Logistics 4.0 and emerging sustainable business models. *Advances in Manufacturing*, v. 5, n. 4, p. 359–369, 2017.
- STRANGE, R.; ZUCHELLA, A. Industry 4.0, global value chains and international business. *Multinational Business Review*, v. 25, n. 3, p. 174–184, 2017.
- TANG, C. S.; VEELANTURF, L. P. The strategic role of logistics in the industry 4.0 era. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 129, p. 1–11, 2019.
- TARHAN, A.; TURETKEN, O.; REIJERS, H. A. Business process maturity models: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, v. 75, p. 122–134, 2016.
- THIRTLE, C.; LIN, L.; PIESSE, J. The Impact of Research-Led Agricultural Productivity Growth on Poverty Reduction in Africa, Asia and Latin America. *World Development*, v. 31, n. 12, p. 1959–1975, 2003.
- THOBEN, K.-D. *et al.* “Industrie 4.0” and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples. *International Journal of Automation Technology*, v. 11, n. 1, p. 4–16, 2017.
- TIGRE, P. B. Inovação e Teorias da Firma em Três Paradigmas. *REVISTA DE ECONOMIA CONTEMPORÂNEA*, v. 3, p. 45, 1998.
- TILL, E. R. The Role of Agriculture in Economic Development. *Agriculture for Economic Development in Africa: Evidence from Ethiopia*. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 9–17.
- TJAHJONO, B. *et al.* What does Industry 4.0 mean to Supply Chain? *Procedia Manufacturing*, Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017, Vigo (Pontevedra), Spain. v. 13, p. 1175–1182, 2017.
- UDIAS, A. *et al.* A decision support tool to enhance agricultural growth in the Mékrou river basin (West Africa). *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 154, p. 467–481, 2018.
- VAN EVERT, F. K. *et al.* Big Data for weed control and crop protection. *Weed Research*, v. 57, n. 4, p. 218–233, 2017.
- VENTUROSOS, L. J.; PEDRO FILHO, F. DE S. Estudo de Caso da Bovinocultura de Corte em Rolim de Moura, Mediante Análise Swot. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 3, n. 2, p. 211–235, 2010.
- VERÍSSIMO, M. P.; XAVIER, C. L. Taxa de câmbio, exportações e crescimento: uma investigação sobre a hipótese de doença holandesa no Brasil. *Brazilian Journal of Political Economy*, v. 33, p. 82–101, 2013.
- VIEIRA FILHO, J. E. R. A Fronteira Agropecuária Brasileira: Redistribuição Produtiva, Efeito Poupa-Terra e Desafios Estruturais Logísticos. *Agricultura, Transformação Produtiva e Sustentabilidade*. Brasília-DF: IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2016.
- VIEIRA FILHO, J. E. R.; FISHLOW, A. Perspectiva Histórica da Agricultura Brasileira. *Agricultura e Indústria no Brasil: inovação e competitividade*. Brasília - DR: Ipea, p. 63–94, 2017.

WANG, S. *et al.* Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, v. 12, n. 1, 2016.

WINKELHAUS, S.; GROSSE, E. H. Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system. *International Journal of Production Research*, v. 58, n. 1, p. 18–43, 2020.

WOOLDRIDGE, J. M. *Introdução à Econometria: uma abordagem moderna*. 4. ed. São Paulo - SP: Cengage Learning, 2012.

XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, v. 56, n. 8, p. 2941–2962, 2018.

YAVAS, V.; OZKAN-OZEN, Y. D. Logistics centers in the new industrial era: A proposed framework for logistics center 4.0. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 135, p. 1–18, 2020.

YAZGAN, Ş.; YALÇINKAYA, Ö. The Effects of Research and Development (R&D) Investments on Sustainable Economic Growth: Evidence from OECD Countries (1996-2015). *Review of Economic Perspectives*, v. 18, p. 3–23, 2018.

YOUNUS, A. Technological Advancement And Economic Growth For The Business Sector. *Technological Advancement And Economic Growth For The Business Sector*, v. 10, p. 56–62, 2021.

YUAN, J. *et al.* Urbanization, rural development and environmental health in China. *Environmental Development*, v. 28, p. 101–110, 2018.

ZHAI, Z. *et al.* Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 170, 2020.

ZHONG, R. Y. *et al.* Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, v. 3, n. 5, p. 616–630, 2017.

APÊNDICES

Tabela 36 - Índice Tecnológico do Agronegócio por Município (2006 e 2017)

Município	Índice 2006	Índice 2017	Município	Índice 2006	Índice 2017
Abreulândia	0,24	0,41	Luzinópolis	0,31	0,33
Aguiarnópolis	0,34	0,38	Marianópolis do Tocantins	0,28	0,32
Aliança do Tocantins	0,30	0,42	Mateiros	0,32	0,27
Almas	0,32	0,33	Maurilândia do Tocantins	0,12	0,43
Alvorada	0,28	0,54	Miracema do Tocantins	0,30	0,28
Ananás	0,29	0,50	Miranorte	0,23	0,38
Angico	0,37	0,38	Monte do Carmo	0,20	0,26
Aparecida do Rio Negro	0,32	0,29	Monte Santo do Tocantins	0,26	0,25
Aragominas	0,30	0,27	Palmeiras do Tocantins	0,34	0,38
Araguacema	0,20	0,35	Muricilândia	0,17	0,25
Araguaçu	0,26	0,36	Natividade	0,24	0,24
Araguaína	0,30	0,30	Nazaré	0,28	0,58
Araguanã	0,29	0,24	Nova Olinda	0,26	0,32
Araguatins	0,18	0,28	Nova Rosalândia	0,26	0,34
Arapoema	0,34	0,28	Novo Acordo	0,27	0,33
Arraias	0,30	0,19	Novo Alegre	0,28	0,32
Augustinópolis	0,29	0,35	Novo Jardim	0,28	0,26
Aurora do Tocantins	0,20	0,23	Oliveira de Fátima	0,18	0,22
Axixá do Tocantins	0,26	0,41	Palmeirante	0,17	0,23
Babaçulândia	0,30	0,23	Palmeirópolis	0,33	0,36
Bandeirantes do Tocantins	0,29	0,33	Paraíso do Tocantins	0,28	0,38
Barra do Ouro	0,31	0,18	Paraná	0,21	0,23
Barrolândia	0,30	0,48	Pau D'Arco	0,30	0,55
Bernardo Sayão	0,29	0,33	Pedro Afonso	0,21	0,79
Bom Jesus do Tocantins	0,25	0,29	Peixe	0,29	0,50
Brasilândia do Tocantins	0,17	0,23	Pequizeiro	0,21	0,35
Brejinho de Nazaré	0,29	0,33	Colmeia	0,20	0,35
Buriti do Tocantins	0,28	0,40	Pindorama do Tocantins	0,27	0,50
Cachoeirinha	0,27	0,42	Piraquê	0,30	0,24
Campos Lindos	0,40	0,73	Pium	0,34	0,27
Cariri do Tocantins	0,29	0,48	Ponte Alta do Bom Jesus	0,22	0,19
Carmolândia	0,31	0,30	Ponte Alta do Tocantins	0,22	0,46
Carrasco Bonito	0,29	0,27	Porto Alegre do Tocantins	0,30	0,26
Caseara	0,32	0,22	Porto Nacional	0,28	0,67
Centenário	0,24	0,25	Praia Norte	0,28	0,32
Chapada de Areia	0,33	0,46	Presidente Kennedy	0,29	0,22
Chapada da Natividade	0,18	0,25	Pugmil	0,36	0,29
Colinas do Tocantins	0,17	0,31	Recursolândia	0,28	0,24
Combinado	0,32	0,35	Riachinho	0,31	0,26
Conceição do Tocantins	0,18	0,20	Rio da Conceição	0,18	0,48
Couto Magalhães	0,29	0,33	Rio dos Bois	0,31	0,31
Cristalândia	0,27	0,32	Rio Sono	0,24	0,22
Crixás do Tocantins	0,32	0,36	Sampaio	0,31	0,28
Darcinópolis	0,37	0,43	Sandolândia	0,29	0,31
Dianópolis	0,27	0,34	Santa Fé do Araguaia	0,25	0,27
Divinópolis do Tocantins	0,28	0,33	Santa Maria do Tocantins	0,33	0,20
Dois Irmãos do Tocantins	0,30	0,53	Santa Rita do Tocantins	0,28	0,36

Dueré	0,20	0,30	Santa Rosa do Tocantins	0,28	0,35
Esperantina	0,25	0,21	Santa Tereza do Tocantins	0,25	0,20
Fátima	0,24	0,40	Santa Terezinha do Tocantins	0,30	0,26
Figueirópolis	0,24	0,33	São Bento do Tocantins	0,33	0,31
Filadélfia	0,32	0,21	São Félix do Tocantins	0,10	0,16
Formoso do Araguaia	0,27	0,36	São Miguel do Tocantins	0,30	0,59
Fortaleza do Tabocão	0,25	0,39	São Salvador do Tocantins	0,29	0,28
Goianorte	0,30	0,37	São Sebastião do Tocantins	0,23	0,21
Goiatins	0,20	0,22	São Valério	0,26	0,40
Guaraí	0,28	0,45	Silvanópolis	0,35	0,70
Gurupi	0,25	0,55	Sítio Novo do Tocantins	0,31	0,37
Ipueiras	0,26	0,26	Sucupira	0,28	0,38
Itacajá	0,19	0,30	Taguatinga	0,19	0,45
Itaguatins	0,30	0,31	Taipas do Tocantins	0,27	0,23
Itapiratins	0,30	0,41	Talismã	0,32	0,45
Itaporã do Tocantins	0,33	0,22	Palmas	0,29	0,82
Jaú do Tocantins	0,21	0,46	Tocantínia	0,30	0,27
Juarina	0,23	0,33	Tocantinópolis	0,20	0,37
Lagoa da Confusão	0,29	0,37	Tupirama	0,27	0,38
Lagoa do Tocantins	0,24	0,27	Tupiratins	0,28	0,32
Lajeado	0,30	0,29	Wanderlândia	0,34	0,35
Lavandeira	0,31	0,30	Xambioá	0,23	0,31
Lizarda	0,12	0,16	Tocantins	0,28	0,48

Dados Socioeconômicos do Tocantins de 2002 a 2019

Ano	Pib	Pib per Capita	Área Plantada	Produção Total (ton)	Exportação (US\$)	Emprego	Renda	População Estimada
2002	5.322.563	4.344	363.223	1.200.830	7.498.252	133.227	86.462.798	1.207.014
2003	6.612.339	5.281	416.776	1.830.195	49.494.557	146.192	104.549.412	1.230.181
2004	7.251.580	5.743	548.622	1.929.914	115.359.325	159.695	125.652.335	1.262.644
2005	7.707.340	5.903	694.340	2.250.379	145.033.972	168.851	146.613.695	1.305.728
2006	8.655.613	6.496	603.749	1.960.611	158.370.573	185.791	182.824.679	1.332.441
2007	10.192.844	8.196	590.994	2.063.998	128.328.980	203.599	217.651.121	1.358.889
2008	12.116.393	9.462	653.554	2.497.761	297.068.041	213.125	246.679.200	1.280.513
2009	13.689.804	10.595	619.555	2.796.012	267.048.121	228.259	293.338.344	1.292.051
2010	16.404.816	11.858	669.974	3.048.340	342.273.652	238.955	339.003.597	1.383.445
2011	18.345.688	13.096	712.276	4.708.755	506.946.355	242.769	407.137.930	1.400.892
2012	20.684.430	14.590	737.451	4.409.146	651.048.903	246.360	454.228.558	1.417.694
2013	23.796.656	16.099	839.562	5.057.279	699.989.427	257.536	484.990.085	1.478.164
2014	26.189.323	17.496	1.038.966	6.375.942	962.568.571	275.913	595.738.840	1.496.880
2015	28.930.291	19.094	1.203.703	7.151.066	926.551.838	274.645	651.563.309	1.515.126
2016	31.584.816	20.605	1.232.549	6.563.712	697.898.552	264.230	669.044.939	1.532.902
2017	34.108.132	22.002	1.282.545	7.511.138	986.026.445	281.474	748.368.031	1.550.194
2018	35.666.183	22.933	1.361.447	7.913.436	744.134.522	283.083	777.436.124	1.555.229
2019			1.427.218	8.143.693	1.049.084.084	276.551	785.935.746	1.572.866