PROJETO DE GRADUAÇÃO

AUTOMAÇÃO INTELIGENTE NO AGRO 5.0: *ROADMAP* PARA A AUTOMATIZAÇÃO DOS PROCESSOS DO SETOR DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO

Por,

Isabela Meireles
190088958

Brasília, 10 de fevereiro de 2025.

UNIVERSIDADE DE BRASILIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UNIVERSIDADE DE BRASILIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

PROJETO DE GRADUAÇÃO

AUTOMAÇÃO INTELIGENTE NO AGRO 5.0: *ROADMAP* PARA A AUTOMATIZAÇÃO DOS PROCESSOS DO SETOR DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO

Por,

Isabela Meireles
190088958

Relatório submetido como requisito parcial para
obtenção do grau de Engenheiro de Produção

Banca Examinadora

Prof. Simone Borges Simão Monteiro, Ph.D. - UnB/ EPR(Orientador) _____

Prof. Rodrigo Gomes, UnB/EPR _____

Mariana Pereira Melo, RNP _____

Brasília, 10 de fevereiro de 2025.

‘O conhecimento é a única riqueza que ninguém pode tirar de você.’

Albert Einstein

RESUMO

A transição para a Agricultura 5.0 (Agro 5.0) é um momento crucial no agronegócio brasileiro, caracterizado pela integração avançada de tecnologias como Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT) e métodos inovadores de otimização de processos. A aplicação dessas tecnologias no contexto do Agro 5.0 visa maximizar a eficiência produtiva e a sustentabilidade ambiental. A IA e a IoT podem ser estrategicamente integradas para revolucionar as práticas no agronegócio, abrangendo desde a etapa de identificação do processo, gestão e qualificação dos dados até a implementação efetiva.

O presente trabalho apresenta uma revisão sistemática da literatura fundamentada no método TEMAC (Teoria do Enfoque Meta-Analítico Consolidado), sendo o objetivo do estudo analisar como a Inteligência Artificial está sendo implementada e tem revolucionado a Agricultura 5.0 e, a partir dessa análise, propor um passo-a-passo para que as fazendas possam implementá-la com sucesso. Adicionalmente, é realizada uma análise aprofundada das dinâmicas e tendências de pesquisa por meio de um modelo integrador, evidenciando as interconexões entre os estudos e as influências teóricas predominantes no campo. Os resultados destacam que a crescente adoção de tecnologias avançadas não apenas aprimora a eficiência operacional no agronegócio, mas também contribui para uma produção mais sustentável e socialmente responsável.

A metodologia adotada neste trabalho consiste em uma abordagem qualitativa, utilizando o método de pesquisa de revisão sistemática e estudos de múltiplos casos. A revisão sistemática foi empregada para identificar, analisar e sintetizar as principais publicações e tendências sobre o uso de tecnologias de informação no contexto do Agro 5.0, permitindo uma compreensão ampla e aprofundada das soluções tecnológicas adotadas no setor do agronegócio. Além disso, foram realizados estudos de múltiplos casos em fazendas e iniciativas relevantes, com o objetivo de examinar de forma detalhada as práticas, desafios e resultados obtidos com a implementação de tecnologias digitais no campo.

A análise revelou que, apesar de a implementação de Inteligência Artificial no agronegócio brasileiro apresentar desafios significativos, tais como barreiras tecnológicas, econômicas e de infraestrutura, as oportunidades para aumentar a produtividade e a sustentabilidade são expressivas. O trabalho apresenta as etapas necessárias para a adoção eficiente dessas tecnologias, ressaltando a relevância de uma estratégia integrada que envolva todos os processos e fases para uma implementação eficaz e alinhada às necessidades do setor.

Palavras-chave: Inteligência Artificial, IoT, Otimização de Processos, Agro 5.0, Transformação Digital no Agronegócio, Automação de Processos.

ABSTRACT

The transition to Agriculture 5.0 (Agro 5.0) is a crucial moment for Brazilian agribusiness, characterized by the advanced integration of technologies such as Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), and innovative process optimization methods. This study analyzes the application of these technologies in the context of Agro 5.0, focusing on maximizing productive efficiency and environmental sustainability. The research investigates how AI and IoT can be strategically integrated to revolutionize agribusiness practices, covering everything from process identification, data management, and qualification to effective implementation.

This study presents a systematic literature review based on the TEMAC method (Theory of Consolidated Meta-Analytical Approach). The primary objective is to analyze how Artificial Intelligence is being implemented and has been transforming Agriculture 5.0. Based on this analysis, the study proposes a step-by-step framework to guide farms in successfully adopting these technologies. Additionally, an in-depth analysis of research dynamics and trends is conducted through an integrative model, highlighting the interconnections among studies and the predominant theoretical influences in the field. The findings emphasize that the increasing adoption of advanced technologies not only enhances operational efficiency in agribusiness but also contributes to more sustainable and socially responsible production.

The methodology adopted in this study consists of a qualitative approach, employing systematic literature review and multiple case studies. The systematic review was used to identify, analyze, and synthesize the key publications and trends regarding the use of information technologies in the context of Agro 5.0, allowing for a broad and in-depth understanding of the technological solutions adopted in the agribusiness sector. Additionally, multiple case studies were conducted on farms and relevant initiatives to examine in detail the practices, challenges, and results achieved through the implementation of digital technologies in the field.

The analysis revealed that, although the implementation of Artificial Intelligence in Brazilian agribusiness presents significant challenges, such as technological, economic, and infrastructure barriers, the opportunities for increasing productivity and sustainability are substantial. This study outlines the necessary steps for the efficient adoption of these technologies, emphasizing the importance of an integrated strategy that encompasses all processes and phases to ensure effective implementation aligned with the sector's needs.

Keywords: Artificial Intelligence, IoT, Process Optimization, Agro 5.0, Digital Transformation in Agribusiness, Process Automation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12

1.1 Problema da Pesquisa 13

1.2 Justificativa 14

1.3 Objetivos 15

1.2.1 Objetivo Geral 15

1.2.2 Objetivo Específico 15

1.4 Estruturação da Pesquisa 15

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO 17

2.1 Agro 5.0 17

2.3 Aplicações das Tecnologias no Agro 5.0 20

3. METODOLOGIA 25

3.1 Classificação da Pesquisa 25

3.2 Métodos de Pesquisa 26

3.2.1 Teoria do Enfoque Meta-Analítico Consolidado (TEMAC) 26

3.2.2 Análise de Aplicabilidade 28

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 31

4.1 Preparação da Pesquisa 31

4.2 Apresentação e Inter-Relação de Dados 34

4.2.1 Áreas de Pesquisa 34

4.2.2 Países que mais publicaram 36

4.2.3 Evolução temporal das publicações 37

4.2.4. Principais autores 38

4.2.5 Documentos mais citados 41

4.2.6 Outros 43

4.3 Análise Dados Embrapa 43

4.3.1 Filtro de Pesquisa 44

4.3.2 Publicações por Ano 44

4.3.3 Idioma de Publicação 45

4.3.4 Segmento de Pesquisa Embrapa 45

4.3.5 Aplicação da Inteligência Artificial em Culturas Específicas 46

4.3.6 Cidades mais fortes no Agronegócio **47**

4.4 Análise da Relação de Dados 49

4.4.1 Evolução da Agricultura **50**

4.4.2 Análises **51**

4.5 Detalhamento, Modelo Integrador e Validação por Evidências 52

4.5.1 Co-citação **52**

4.5.2 Acoplamento Bibliográfico **55**

4.5.3 Outras análises **59**

4.5.4 Modelo Integrador **61**

5. EXEMPLOS PRÁTICOS DE AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS DO SETOR DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO **69**

5.1 Análises de Aplicações Práticas 69

5.1.1 Estudo de Caso 1: Fazenda Harmonia – Agropecuária Rialma **70**

5.1.2 Estudo de Caso 2: SLC Agrícola **73**

5.1.3 Estudo de Caso 3: Embrapa Agricultura Digital **79**

5.2 Análises de Aplicações Através de Artigos 81

6. AGRO 5.0: *ROADMAP* PARA IMPLEMENTAÇÃO **84**

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS **91**

8. REFERÊNCIAS **93**

APÊNDICES **99**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principais desafios e oportunidades na transformação digital da agricultura brasileira. 19
Figura 2: Etapas TEMAC..... 27
Figura 3: Etapas de Análise de Aplicabilidade 29
Figura 4: Resultado do refinamento final na base de dados do *Web of Science*. 33
Figura 5: Resultado do refinamento final na base de dados do *Scopus*. 33
Figura 6: Áreas de pesquisa - WoS. 34
Figura 7: Áreas de pesquisa - *Scopus*. 35
Figura 8: Países com maiores publicações - WoS..... 36
Figura 9: Países com maiores publicações - *Scopus*. 36
Figura 10: Evolução temporal - WoS..... 37
Figura 11: Evolução temporal – *Scopus*. 38
Figura 12: Principais autores - WoS. 39
Figura 13: Principais autores - *Scopus*. 40
Figura 14: Filtros base de dados - Embrapa. 44
Figura 15: Publicações por ano - Embrapa. 45
Figura 16: Idioma de publicações - Embrapa..... 45
Figura 17: Segmentos de pesquisa - Embrapa. 46
Figura 18: Aplicação IA em culturas específicas. 47
Figura 19: Aplicação IA em culturas específicas. 48
Figura 20: Evolução da Agricultura. 50
Figura 21: Mapa de co-citações - WoS. 52
Figura 22: Mapa de co-citações - *Scopus*. 54
Figura 23: Mapa de *coupling* - WoS. 56
Figura 24: Mapa de *coupling* - *Scopus*. 57
Figura 25: Co-ocorrência Palavras-Chaves WoS. 59
Figura 26: Co-ocorrência Palavras-Chaves *Scopus*. 60
Figura 27: Passo a Passo da Metodologia SMARTAG..... 66
Figura 28: Passo a Passo implementação IA..... 68
Figura 29: Tecnologias Implementadas na Fazenda Harmonia. 70
Figura 30: Etapas de Implementação Fazenda Harmonia. 72
Figura 31: Etapas de Implementação Fazenda SL 74
Figura 32: Agricultura Digital Fazenda SLC. 75

Figura 33: Ciclo de Produção Fazenda SLC. 76
Figura 34: Continuação Ciclo de Produção Fazenda SLC. 76
Figura 35: Tecnologias Implementadas Fazenda SLC. 77
Figura 36: Continuação Tecnologias Implementadas Fazenda SLC. 77
Figura 37: Últimas Tecnologias Implementadas Fazenda SLC. 78
Figura 38: Etapas de Implementação da Embrapa. 80
Figura 39: Comparação Metodologia Brini, (2023). 82
Figura 40: Comparação Metodologia Manfredo Neto, (2023). 82
Figura 41: *Roadmap* da Metodologia AGRO-INOVA. 84
Figura 42: Comparação Metodologia AGRO-INOVA. 89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Comparativo entre áreas com e sem tecnologia. 21
Quadro 2: Principais IA implementadas. 62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultado das bases de dados com refinamento temporal. 31
Tabela 2: Citações *Web of Science*..... 41
Tabela 3: Citações *Scopus*..... 42

1. INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) tem influenciado diversas áreas e, no contexto do agronegócio, é aplicada com o objetivo de aumentar a eficiência das operações, elevar a produtividade e reduzir os impactos ambientais. A utilização de tecnologias avançadas tem causado mudanças significativas na forma como a agricultura brasileira é conduzida, sendo uma das maiores economias do país. O conceito de Agricultura 5.0 (Agro 5.0) surge como um paradigma que combina IA, Internet das Coisas (IoT) e automação avançada, visando aumentar a eficiência e a sustentabilidade das operações do agronegócio. De acordo com o Ag*tech Report* (2023), estima-se que o uso da IA no agronegócio cresça 300% até o final do ano, impulsionando uma nova era de inovação e eficiência no setor.

Embora o termo "Agro 5.0" seja amplamente associado à agricultura, outras cadeias do agronegócio, como a pecuária, a suinocultura e a aquicultura, também estão implementando novas tecnologias. No entanto, para essas cadeias, ainda não existe uma nomenclatura padronizada equivalente ao "5.0", sendo comuns termos como "Pecuária de Precisão" e "Suinocultura Digital". Essas áreas estão em processo de transformação tecnológica e tendem a acompanhar o conceito mais amplo do Agro 5.0. De acordo com Banhazi et al. (2012), a Pecuária de Precisão devidamente implementada tem o potencial para melhorar e documentar objetivamente os parâmetros de bem-estar animal nas propriedades, reduzir a emissão de gases de efeito estufa e melhorar os aspectos ambientais dos diferentes sistemas de produção agropecuários.

Neste trabalho, serão apresentados estudos de múltiplos casos, sendo dois na área da agricultura e um na área da pecuária. Além disso, será conduzido um estudo de caso na área da pecuária para explorar as diferenças e identificar quais tecnologias em comum estão sendo implementadas em ambas as cadeias. Essa abordagem permitirá compreender como as inovações tecnológicas estão impactando o setor do agronegócio como um todo, destacando as especificidades e as convergências entre agricultura e pecuária dentro do conceito de Agro 5.0.

Brini (2023) salienta que a implementação de soluções de Agro 5.0 exige uma análise aprofundada das necessidades do setor e a integração das tecnologias digitais nos processos agrícolas. Isso destaca a necessidade de uma abordagem integrada para digitalizar a agricultura, garantindo que as inovações tecnológicas sejam acessíveis e aplicáveis. Apesar do progresso acelerado na digitalização e integração da IA em diversos setores, o setor agrícola brasileiro ainda apresenta um estágio incipiente de maturidade tecnológica. “Estudos recentes mostram que apenas uma pequena parte das companhias agrícolas atingiu uma maturidade tecnológica avançada, o que requer uma análise criteriosa das estratégias de implantação de tecnologias digitais” (Brini, 2023).

A governança de dados é um dos pilares cruciais para a implementação efetiva da Inteligência Artificial no campo. A capacidade de coletar, analisar e aplicar dados é essencial para a transição do Agro 4.0 para o Agro 5.0 (Adli et al., 2023). Entretanto, muitos ainda enfrentam desafios na gestão desses dados e na implementação eficaz da IA. A integração de novas tecnologias de Inteligência Artificial e Inteligência Artificial das Coisas tem impulsionado uma nova onda de inovações, conhecida como *AIoT*, que promete revolucionar o cenário tradicional da agricultura. "A convergência tecnológica oferece novas oportunidades para otimizar processos, desde o plantio até a colheita, passando pela distribuição de produtos agrícolas e o monitoramento de operações" (Manfredo Neto, 2023).

No entanto, a utilização dessas tecnologias não é isenta de dificuldades. Há obstáculos significativos, tais como questões de segurança, formas de implementação, análise e privacidade de dados, além da necessidade de uma constante adaptação tecnológica, que devem ser superados para assegurar uma transição eficiente para o Agro 5.0 (Kubota & Rosa, 2024).

A convergência entre a Inteligência Artificial e a IoT no Agro 5.0 não é apenas uma questão tecnológica, mas também uma oportunidade para rever as práticas agrícolas, promovendo uma agricultura mais sustentável e responsável. Esse é um ponto crucial para assegurar que o progresso tecnológico esteja alinhado com os objetivos de sustentabilidade ambiental e responsabilidade social. Ademais, a literatura sobre o uso de Inteligência Artificial na agricultura será revisada para identificar as práticas mais promissoras e os aprendizados adquiridos em outros contextos. O uso de automação e Inteligência Artificial em outros países pode fornecer dados relevantes para a aplicação dessas tecnologias no Brasil.

Dessa forma, este estudo visa aprofundar o conhecimento sobre o Agro 5.0, apresentando um panorama abrangente das tecnologias emergentes e suas aplicações práticas, além de discutir as formas de implementação efetiva no Brasil. A agricultura inteligente é altamente tecnológica e requer a compreensão das tendências globais e a adaptação ao contexto local, considerando as particularidades e desafios específicos do agronegócio nacional, bem como as técnicas de otimização utilizadas pela Engenharia de Produção.

1.1 Problema da Pesquisa

A evolução tecnológica tem impulsionado transformações significativas no setor agroindustrial, especialmente com a ascensão do Agro 5.0, que integra Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT) e automação para otimizar processos produtivos. A adoção dessas tecnologias promete ganhos expressivos em eficiência, sustentabilidade e qualidade dos produtos agropecuários, possibilitando uma gestão mais precisa e inovadora no campo. No entanto, a implementação da IA no agronegócio brasileiro ainda enfrenta desafios consideráveis, como a

necessidade de infraestrutura adequada, qualificação de profissionais, altos investimentos iniciais e resistência à adoção de novas soluções tecnológicas. Além disso, a governança de dados e a adaptação das tecnologias às particularidades do setor são questões cruciais para garantir uma transição eficaz para o Agro 5.0. Diante desse cenário, este estudo busca responder à seguinte questão: **como implementar a Inteligência Artificial no Agro 5.0, analisando os desafios e oportunidades para sua adoção no setor do agronegócio brasileiro?**

1.2 Justificativa

O presente estudo tem como foco explorar a aplicação da Inteligência Artificial (IA) no contexto do Agro 5.0 no Brasil. Apesar do grande potencial dessa tecnologia para transformar o setor, há uma escassez significativa de literatura específica que analise, de forma detalhada, os passos necessários para sua implementação gradual no agronegócio. A transição da Agricultura 4.0 para a 5.0 visa incorporar tecnologias ainda mais avançadas, como IA, IoT e automação, com o objetivo de aumentar a eficiência, produtividade e sustentabilidade. No entanto, faltam estudos que aprofundem os estágios práticos dessa evolução no Brasil, além de orientar sobre as melhores práticas para sua adoção adequada.

Klerkx et al. (2019) e Rose et al. (2020) destacam os benefícios da digitalização na agricultura, embora com um enfoque mais conceitual sobre a Agricultura 4.0. Por outro lado, Zambon et al. (2019) e Zhai et al. (2020) apontam que, enquanto outros setores avançam rapidamente em inovação tecnológica, a agricultura apresenta um ritmo mais lento de adoção, evidenciando a necessidade de análises mais aprofundadas para o desenvolvimento e implementação eficaz do Agro 5.0.

O presente estudo aborda a aplicação da Inteligência Artificial (IA) no contexto do Agro 5.0 no Brasil, destacando a importância de tecnologias como IA, IoT e automação na transição da Agricultura 4.0 para um modelo ainda mais avançado e sustentável. Apesar do grande potencial dessas inovações, há uma notável carência de estudos que detalhem os estágios práticos para sua implementação no agronegócio brasileiro, limitando-se, muitas vezes, à teoria sobre suas capacidades tecnológicas.

Além disso, observa-se uma deficiência de metodologias específicas e orientações práticas na literatura que possam apoiar a adoção efetiva dessas tecnologias no Agro 5.0. Isso reforça a necessidade de pesquisas que, além de explorar o potencial teórico, ofereçam diretrizes claras e aplicáveis para a integração da Inteligência Artificial no setor.

Dessa forma, este estudo tem como objetivo preencher essa lacuna ao contribuir significativamente para o campo da engenharia de produção e tecnologia agrícola. Busca

compreender os desafios, oportunidades e benefícios práticos da Inteligência Artificial no Agro 5.0, promovendo uma transformação que vai além da tecnologia e inclui aspectos estratégicos e operacionais. A pesquisa visa documentar o processo de integração da IA no agronegócio brasileiro, fornecendo um modelo de passo a passo prático e replicável para futuras implementações no setor.

1.3 Objetivos

Este tópico tem como finalidade apresentar os objetivos principais que norteiam o desenvolvimento da pesquisa. A partir da análise das tecnologias avançadas aplicadas ao Agro 5.0, a pesquisa busca entender as possibilidades de implementação e os impactos dessas inovações no agronegócio.

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar como a Inteligência Artificial está sendo implementada e tem revolucionado a Agricultura 5.0 e, a partir dessa análise, propor um passo-a-passo para que as fazendas possam implementá-la com sucesso.

1.2.2 Objetivo Específico

- Realizar um levantamento da literatura atual, para analisar as principais tecnologias com Inteligência Artificial que estão sendo aplicadas na Agricultura 5.0;
- Examinar múltiplos casos em diferentes segmentos do agronegócio, avaliando a implementação da Inteligência Artificial.
- Propor metodologias de implementação da Inteligência Artificial na Agricultura 5.0;
- Desenvolver um *roadmap* para implementar Inteligência Artificial no agronegócio.

1.4 Estruturação da Pesquisa

O presente estudo foi estruturado em cinco seções principais, cada uma delineada para examinar aspectos distintos da implementação da Inteligência Artificial (IA) no contexto do Agro 5.0 no Brasil. A organização do trabalho é apresentada conforme descrito abaixo:

A Introdução estabelece o contexto e a relevância da pesquisa, enfatizando o cenário investigativo, as motivações que impulsionaram o estudo e os objetivos específicos a serem alcançados. Essa seção fornece uma visão geral que norteia o desenvolvimento do trabalho.

O Referencial Teórico constitui a base conceitual e intelectual da pesquisa, abordando os principais conceitos relacionados à aplicação da IA no agronegócio. Essa seção analisa criticamente a literatura existente, destacando as contribuições de acadêmicos e especialistas no campo, além de apresentar o arcabouço teórico que fundamenta a investigação.

A seção de Metodologia detalha o desenho e a abordagem da pesquisa, incluindo sua natureza, objetivos, procedimentos metodológicos e técnicas de coleta de dados empregadas. O modelo de revisão sistemática utilizado é descrito com base na abordagem TEMAC (Teoria do Enfoque Meta-Analítico Consolidado), que orienta a análise criteriosa e estruturada da literatura científica.

Em Resultados e Discussões, são apresentados os achados obtidos a partir da metodologia aplicada. Essa seção analisa e interpreta os dados à luz do referencial teórico, explorando as principais descobertas, tendências emergentes e o impacto potencial da IA no setor do agronegócio brasileiro. As implicações dos resultados para a eficiência, sustentabilidade e inovação no agronegócio são amplamente discutidas.

Por fim, as Considerações Finais sintetizam os principais resultados do estudo, destacando sua contribuição para o campo da Engenharia de Produção e da tecnologia agrícola. Essa seção também reflete sobre as limitações da pesquisa, apresenta recomendações para futuros estudos e discute como os resultados podem influenciar políticas públicas e práticas no setor agropecuário.

Essa estrutura busca garantir uma análise abrangente e rigorosa, fornecendo um suporte teórico e metodológico sólido para compreender a aplicação da IA no Agro 5.0 e seu potencial transformador no agronegócio brasileiro.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo apresentar o referencial teórico que fundamenta a pesquisa sobre a implementação de tecnologias avançadas no contexto do Agro 5.0. A partir da análise de estudos e conceitos chave, este capítulo aborda as principais inovações tecnológicas que estão transformando o setor agrícola, como a Inteligência Artificial (IA), a Internet das Coisas (IoT), a robótica e a automação. Além disso, explora os impactos dessas tecnologias na otimização dos processos produtivos, na sustentabilidade e na eficiência operacional. A partir dos estudos de autores como Jha et al. (2019), Barnes e Toma (2021), e Kumar e Singh (2023), são discutidos os benefícios, desafios e as implicações da adoção dessas inovações para o futuro do agronegócio, destacando a importância da gestão da mudança e da adaptação tecnológica para a evolução do setor agrícola.

2.1 Agro 5.0

A implementação de processos automatizados em contextos do Agro 5.0 requer a integração de tecnologias avançadas, tais como a Inteligência Artificial (IA), a Internet das Coisas (IoT) e a robótica, com o objetivo de otimizar todas as etapas da produção agrícola. De acordo com Jha et al. (2019), a adoção dessas tecnologias requer uma compreensão ampla dos processos existentes para garantir uma transição tranquila e eficaz. A gestão da mudança, como salienta Taylor (2020), é crucial para minimizar as resistências e aumentar a adoção.

O conceito de Agro 5.0 representa a integração de tecnologias avançadas, como Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT) e automação, visando otimizar os processos agrícolas. Nesse contexto, as inovações permitem uma gestão mais precisa de recursos e uma tomada de decisões aprimorada. Empresas, têm utilizado tecnologias como drones e imagens de satélite para melhorar a saúde das culturas, promovendo maior eficiência no uso de insumos e gerando impactos ambientais mais baixos (VEJA, 2025).

No contexto do Agro 5.0, a capacidade de transformar grandes volumes de dados em insights acionáveis representa um avanço significativo na agricultura. Especialistas afirmam que essa capacidade é essencial para a tomada de decisões práticas, pois permite analisar dados e convertê-los em estratégias que aumentam a eficiência e a produtividade. A integração da Inteligência Artificial à agricultura torna possível essa transformação, marcando uma nova era em que a tecnologia e a análise de dados são fundamentais para o desenvolvimento do setor agrícola (AGROADVANCE, 2025).

Barnes e Toma (2021) exploram como o Agro 5.0 pode facilitar práticas agrícolas mais sustentáveis, utilizando sensores e drones para monitoramento em tempo real das condições de cultivo, o que permite intervenções precisas e minimiza o impacto ambiental. Essa integração de

tecnologias, segundo os autores, não só melhora a produtividade, mas também ajuda na conservação ambiental.

Kumar e Singh (2023) discutem o potencial da IA em transformar dados em *insights* valiosos que podem prever tendências de mercado e comportamento de culturas, proporcionando uma base sólida para decisões agronômicas mais informadas. Essa capacidade de previsão e adaptação é fundamental para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente demanda por alimentos.

A conceituação do Agro 5.0 abrange uma vasta gama de tecnologias avançadas que visam modificar de forma significativa a agricultura moderna. Essas tecnologias têm como objetivo otimizar a produção, aumentar a sustentabilidade e aumentar a eficiência operacional.

Algumas tecnologias que estão sendo implementadas no Agro 5.0, podem ser caracterizadas como:

A Inteligência Artificial (IA) e os sensores de Internet das Coisas (IoT) são tecnologias essenciais para a transformação digital no agronegócio. A IA possibilita a análise avançada de grandes volumes de dados agrícolas, permitindo decisões estratégicas baseadas em informações confiáveis. Suas aplicações incluem previsão de padrões climáticos, otimização de recursos, detecção precoce de doenças em plantas e animais, além da automação de processos como plantio, irrigação e colheita.

Os sensores IoT, por sua vez, monitoram em tempo real variáveis críticas como umidade do solo, temperatura, desenvolvimento das plantas e saúde animal. Essas informações, integradas à agricultura de precisão, viabilizam ajustes específicos nas operações, aumentando a eficiência e a produtividade, enquanto promovem o uso sustentável dos recursos naturais.

Na parte de robótica e automação, existem robôs e máquinas automatizadas que são utilizados para executar tarefas repetitivas ou perigosas, como colheita, poda e aplicação de pesticidas. Essas tecnologias proporcionam uma redução da necessidade de trabalho humano pesado e aumentam a precisão e eficiência das operações agrícolas.

Os drones são usados para mapeamento de terrenos, monitoramento de culturas e pulverização precisa de insumos agrícolas. Eles proporcionam uma visão aérea que auxilia na identificação de problemas que não são facilmente visíveis ao nível do solo.

A capacidade de coletar, armazenar e analisar grandes volumes de dados é crucial no Agro 5.0. A *big data* auxilia os agricultores e gestores agrícolas a compreenderem melhor as tendências, a otimizarem os ciclos de produção e a diminuírem os riscos através de modelos preditivos e análises prescritivas.

A computação em nuvem torna possível armazenar e acessar dados agrícolas de qualquer lugar, o que torna possível a colaboração e o compartilhamento de dados em tempo real entre agricultores, consultores, cientistas e outros agentes.

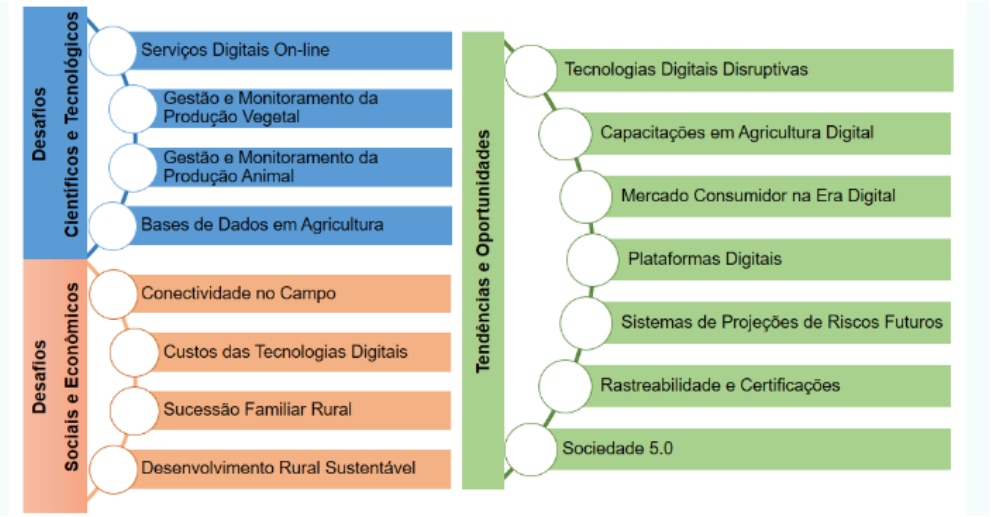
A tecnologia *blockchain* é usada para rastrear a origem dos produtos agrícolas, garantindo a transparência e a segurança alimentar desde a fazenda até a mesa do consumidor. a *blockchain* também pode ser usada para administrar transações financeiras e contratos inteligentes dentro da cadeia de suprimentos.

A realidade aumentada (RA) e a realidade virtual (RV) são tecnologias emergentes com grande potencial para transformar o setor agrícola. Elas podem ser aplicadas de diversas formas, como no treinamento avançado de agricultores, na manutenção de equipamentos e na simulação de cenários de mudanças ambientais que impactam a produção agrícola. Essas tecnologias oferecem uma experiência interativa e imersiva, permitindo que os agricultores visualizem e compreendam de maneira mais precisa as operações e processos agrícolas, otimizando a gestão das atividades no campo.

Quando combinadas, a RA e à RV constituem pilares fundamentais do Agro 5.0, proporcionando uma abordagem integrada e sistêmica que não só aprimora a eficiência das operações, mas também favorece a sustentabilidade e resiliência da agricultura. O uso de tecnologias inovadoras está moldando um novo paradigma para o agronegócio, tornando-o mais preparado para enfrentar os desafios do século XXI, como as mudanças climáticas, o aumento da demanda por alimentos e a necessidade de práticas de produção mais sustentáveis e eficientes.

As principais tendências e oportunidades desse cenário são apresentadas de forma resumida na Figura 1, desenvolvida por Bolfe *et al.* (2020a), que ilustra o impacto transformador das tecnologias no desenvolvimento do Agro 5.0.

Figura 1: Principais desafios e oportunidades na transformação digital da agricultura brasileira.



Fonte: Bolfe et al. (2020a).

A Figura 1 organiza os desafios enfrentados pelo setor em duas principais vertentes: sociais e econômicos e científicos e tecnológicos. Por outro lado, também apresenta as tendências e oportunidades emergentes, destacando, por exemplo, a capacitação em Agricultura Digital, que desempenha um papel crucial na gestão e monitoramento da produção, contribuindo para o aprimoramento da eficiência e sustentabilidade das operações do agronegócio.

2.2 Aplicações das Tecnologias no Agro 5.0

O Agro 5.0 se caracteriza pela integração de tecnologias avançadas que visam otimizar a produção agrícola e promover a sustentabilidade. A Inteligência Artificial (IA) desempenha um papel essencial na análise de grandes volumes de dados, permitindo que os agricultores tomem decisões mais informadas e precisas. Segundo Kumar e Singh (2023), a IA oferece soluções capazes de prever tendências de mercado e comportamentos das culturas, aspectos fundamentais para enfrentar desafios como as mudanças climáticas e a crescente demanda por alimentos. Além disso, a IA pode ser aplicada para prever padrões climáticos, detectar doenças em plantas e animais, otimizar o uso de recursos e automatizar processos, como o plantio e a irrigação.

A Internet das Coisas (IoT) também se destaca no Agro 5.0, sendo amplamente utilizada para o monitoramento em tempo real de variáveis essenciais, como a umidade do solo, a temperatura e a saúde das plantas. De acordo com Barnes e Toma (2021), os sensores IoT possibilitam ajustes imediatos nas operações agrícolas, aumentando a eficiência e promovendo o uso sustentável dos recursos naturais. A aplicação de sensores conectados à rede IoT também viabiliza a agricultura de precisão, permitindo o gerenciamento individualizado das plantações e a redução de desperdícios.

A robótica e a automação desempenham um papel crucial no Agro 5.0, possibilitando a realização de tarefas repetitivas e perigosas com maior precisão e eficiência. Conforme Jha et al. (2019), o uso de robôs para atividades como colheita, poda e aplicação de pesticidas diminui a necessidade de trabalho humano intensivo e melhora a precisão das operações. Esses sistemas são programados para executar funções específicas com alta eficiência, permitindo que os agricultores se concentrem em tarefas mais estratégicas e contribuindo para a redução dos custos operacionais.

Os drones têm se tornado ferramentas indispensáveis no monitoramento das condições das culturas agrícolas. Equipados com câmeras de alta resolução e sensores avançados, esses dispositivos proporcionam uma visão aérea detalhada das plantações, facilitando a detecção de problemas, como pragas ou deficiências nutricionais, que muitas vezes não são visíveis a partir do solo. Essa capacidade de monitoramento aprimora a gestão das lavouras e favorece uma tomada de decisões mais assertiva (DRONESAFRA, 2025).

Além disso, a integração de tecnologias como computação em nuvem e *big data* tem transformado a agricultura moderna. A análise de grandes volumes de dados, juntamente com modelos preditivos e análises prescritivas, oferece insights valiosos para otimizar os ciclos de produção. Essas tecnologias possibilitam o acesso a informações em tempo real, facilitando a colaboração com outros profissionais da cadeia produtiva e aprimorando a gestão de recursos, além de contribuir para a redução de riscos (AGROADVANCE, 2025).

Por fim, a tecnologia *blockchain* surge como uma ferramenta importante no Agro 5.0, garantindo transparência e segurança alimentar. Como afirmado por Taylor (2020), a *blockchain* possibilita o rastreamento da origem dos produtos agrícolas, desde a fazenda até a mesa do consumidor, assegurando a autenticidade e qualidade dos alimentos. Além disso, essa tecnologia pode ser aplicada para administrar transações financeiras e contratos inteligentes dentro da cadeia de suprimentos, promovendo maior confiança e eficiência nos processos de comercialização agrícola.

A integração dessas tecnologias, combinada com uma infraestrutura robusta, é fundamental para tornar o Agro 5.0 uma realidade eficaz e transformadora no setor agrícola. O Quadro 1 ilustra a diferença entre as áreas do agronegócio com e sem o uso dessas tecnologias.

Quadro 1: Comparativo entre áreas com e sem tecnologia.

ÁREA DO AGRONEGÓCIO	COM TECNOLOGIA (AGRO 5.0)	SEM TECNOLOGIA (MÉTODOS TRADICIONAIS)
Monitoramento de Culturas	Uso de drones, sensores IoT e IA para monitoramento em tempo real da saúde das plantas e condições climáticas.	Monitoramento manual e visual das plantas, sem a coleta automatizada de dados em tempo real.
Irrigação	Sistemas de irrigação inteligentes, com sensores IoT que monitoram a umidade do solo e controlam o fluxo de água automaticamente.	Irrigação manual ou sistemas com controle básico, sem monitoramento constante das condições do solo.
Previsão Climática	IA e modelos preditivos para análise de dados climáticos, proporcionando previsões precisas e personalizadas para a fazenda.	Previsões climáticas tradicionais baseadas em informações de fontes externas ou observações limitadas.
Controle de Pragas e Doenças	Sensores, drones e IA para monitoramento e diagnóstico precoce de pragas e doenças. Sistemas automatizados para aplicação de defensivos.	Controle manual e aplicação preventiva de pesticidas, sem a detecção antecipada de problemas.

Continua

Continua

ÁREA DO AGRONEGÓCIO	COM TECNOLOGIA (AGRO 5.0)	SEM TECNOLOGIA (MÉTODOS TRADICIONAIS)
Colheita	Robôs e máquinas automatizadas para colheita, com sensores que garantem a precisão e reduzem a necessidade de trabalho manual.	Colheita manual, dependente de força de trabalho humana e com possibilidade de menor precisão e maior tempo de operação.
Análise de Solo e Nutrientes	Sensores IoT para monitoramento em tempo real da umidade, pH, nutrientes do solo, com sistemas que ajustam automaticamente a fertilização.	Análises periódicas em laboratório, com base em amostras coletadas manualmente e sem acompanhamento em tempo real.
Gestão de Dados Agrícolas	*Big data* e computação em nuvem para coletar, armazenar e analisar dados em tempo real, proporcionando decisões baseadas em dados precisos.	Registros manuais ou dispersos, sem um sistema centralizado de dados e com dificuldade de análise integrada.
Logística e Transporte	Uso de IA e GPS para otimização de rotas de transporte e rastreamento em tempo real dos produtos e maquinários.	Planejamento logístico manual, com rotas menos otimizadas e dificuldade de acompanhamento da localização e status.
Rastreamento de Produtos	*Blockchain* para garantir a rastreabilidade desde a produção até o consumidor final, aumentando a transparência e segurança.	Falta de rastreabilidade precisa, com registros manuais ou sistemas tradicionais sem a integração de dados para rastreamento.
Planejamento da Produção	Uso de IA para prever a demanda de mercado e ajustar a produção de acordo com as condições climáticas e tendências.	Planejamento baseado em dados históricos e informações limitadas, sem previsão precisa ou ajuste em tempo real.
Análise de Rentabilidade	Ferramentas de análise financeira e IA para calcular a rentabilidade de diferentes culturas, maximizando o lucro e minimizando custos.	Análise financeira baseada em dados manuais e projeções menos precisas, com difícil adaptação a mudanças rápidas no mercado.
Saúde Animal	Monitoramento de saúde animal com sensores IoT e IA para detectar doenças precocemente e otimizar tratamentos.	Monitoramento manual da saúde dos animais, com diagnósticos baseados em observações diretas e sinais visíveis de doenças.
Gestão de Insumos	IA e plataformas digitais para controlar a quantidade e o tipo de insumos necessários, garantindo a precisão no uso de fertilizantes e pesticidas.	Controle manual dos insumos, sem integração entre estoque e necessidades de cultivo, levando a desperdícios e uso ineficiente.
Manutenção de Equipamentos	Sensores IoT para monitoramento e manutenção preditiva de máquinas e equipamentos agrícolas, evitando falhas inesperadas.	Manutenção realizada com base em cronogramas fixos ou quando há falhas visíveis nos equipamentos, sem monitoramento remoto.

ÁREA DO AGRONEGÓCIO	COM TECNOLOGIA (AGRO 5.0)	SEM TECNOLOGIA (MÉTODOS TRADICIONAIS)
Treinamento de Colaboradores	Realidade aumentada (AR) e simuladores virtuais para treinamento de operadores de máquinas e técnicas de cultivo.	Treinamento manual, com base em experiência prática e tutoriais básicos, sem imersão ou simulação de cenários complexos.
Gestão Ambiental	Sensores IoT para monitoramento em tempo real da qualidade da água, do ar e do solo, possibilitando a gestão sustentável de recursos.	Monitoramento ambiental com base em relatórios periódicos e inspeções físicas, sem dados contínuos ou automatizados.
Gestão de Risco Climático	Modelos de IA para prever eventos climáticos extremos e estratégias de mitigação de riscos, como inundações e secas.	Planejamento de risco climático com base em informações gerais e históricos climáticos, sem previsão precisa de eventos futuros.
Marketing e Vendas	Análise preditiva e plataformas digitais para segmentação de mercado, otimizando a venda e distribuição de produtos agrícolas.	Estratégias de marketing baseadas em métodos tradicionais, como feiras ou contatos diretos com compradores.
Monitoramento de Culturas	Uso de drones, sensores IoT e IA para monitoramento em tempo real da saúde das plantas e condições climáticas.	Monitoramento manual e visual das plantas, sem a coleta automatizada de dados em tempo real.
Irrigação	Sistemas de irrigação inteligentes, com sensores IoT que monitoram a umidade do solo e controlam o fluxo de água automaticamente.	Irrigação manual ou sistemas com controle básico, sem monitoramento constante das condições do solo.

Fonte: Autoral, (2024).

O Quadro 1 ilustra as distinções entre áreas do agronegócio que fazem uso de tecnologias avançadas e aquelas que ainda dependem de métodos tradicionais. Enquanto as áreas tecnológicas estão se beneficiando das inovações proporcionadas pelo Agro 5.0, como IA, IoT, automação, drones e *blockchain*, as operações tradicionais ainda enfrentam desafios significativos em termos de eficiência e sustentabilidade.

A integração de tecnologias como sensores de solo e monitoramento climático em tempo real permite um controle mais preciso sobre as condições do ambiente de cultivo, enquanto nas áreas sem tecnologia, o monitoramento e a gestão das condições ambientais muitas vezes dependem de métodos manuais e decisões subjetivas. Além disso, a automação das tarefas no campo, como colheita e poda, oferece ganhos de produtividade e precisão nas áreas que adotaram

essas soluções, contrastando com a dependência de trabalho humano intensivo nas áreas tradicionais.

A utilização de drones e ferramentas de monitoramento também facilita a detecção precoce de problemas nas culturas, permitindo ajustes rápidos e eficazes. Em contraste, as práticas convencionais podem não identificar problemas de forma tão ágil, impactando o rendimento das colheitas e a saúde das plantas. O uso de tecnologias como a IA e a análise de *big data* permite uma tomada de decisão mais estratégica e baseada em dados, ao passo que as áreas tradicionais muitas vezes seguem uma abordagem empírica e menos informada.

Por fim, a implementação de tecnologias como *blockchain* nas áreas avançadas do agronegócio proporciona uma rastreabilidade mais eficaz e transparente, o que não é sempre viável nas operações tradicionais, onde o processo de rastreamento pode ser limitado ou impreciso. Esse cenário revela como a adoção do Agro 5.0 está transformando as práticas no campo, tornando as operações mais eficientes, precisas e sustentáveis, ao mesmo tempo em que as áreas sem tecnologia enfrentam limitações em sua capacidade de inovar e otimizar os processos.

3. METODOLOGIA

A metodologia descreve a estruturação e os procedimentos empregados para investigar o uso de tecnologias de informação no Agro 5.0, com enfoque em uma abordagem qualitativa. A análise dos dados será baseada na interpretação detalhada de informações coletadas, buscando compreender os fenômenos em profundidade e fornecer uma visão contextualizada sobre o tema. Por fim, será realizado estudo de múltiplos casos, utilizado como estratégia para explorar e validar as reflexões e *insights* emergentes da literatura, garantindo a robustez e a confiabilidade dos resultados.

3.1 Classificação da Pesquisa

A escolha pela abordagem qualitativa neste estudo é fundamentada na necessidade de compreender as complexidades e os desafios da implementação de novas tecnologias no agronegócio, especialmente no contexto do Agro 5.0. Segundo Maxwell (2013), a pesquisa qualitativa permite uma compreensão mais profunda do contexto, dos valores e das experiências dos participantes, facilitando a análise das dinâmicas de adaptação e adoção de tecnologias avançadas. Além disso, Denzin e Lincoln (2011) ressaltam a capacidade da pesquisa qualitativa de gerar um conhecimento detalhado sobre práticas sociais e condições institucionais, algo essencial para a análise do setor agropecuário.

Quanto à natureza da pesquisa, trata-se de uma pesquisa aplicada, conforme definida por Gerhardt e Silveira (2009), pois visa gerar conhecimentos para aplicação prática, buscando soluções para problemas específicos encontrados na adoção de Inteligência Artificial no agronegócio brasileiro. O estudo tem como objetivo explorar e descrever as dificuldades e as oportunidades relacionadas à implementação dessas tecnologias no setor.

A estratégia adotada foi um estudo de múltiplos casos, o que permite a análise detalhada de diferentes contextos e realidades no uso de Inteligência Artificial no agronegócio. As informações foram coletadas por meio de entrevistas semi-estruturadas com profissionais-chave e líderes das organizações estudadas, o que possibilitou uma compreensão profunda dos processos e dos impactos dessas tecnologias.

A pesquisa foi conduzida em duas localidades brasileiras: Luziânia (GO) e Brasília (DF). Luziânia, com uma população de aproximadamente 200.000 habitantes, está situada no entorno de Brasília e tem grande importância no setor agropecuário da região. Já Brasília, com uma população superior a 3 milhões de habitantes, é a capital do Brasil e um centro de negócios e inovação. Essas cidades foram escolhidas por sua relevância no setor agropecuário e pela presença de importantes empresas e centros de pesquisa.

O objeto de estudo envolve três importantes organizações no setor agropecuário brasileiro:

Rialma Agropecuária, um grupo privado com forte participação no agronegócio, atuando em áreas como o melhoramento genético de bovinos e equinos, além da fruticultura. A empresa está presente em alguns estados brasileiros e diversos municípios, sendo responsável pelo fornecimento de 8.100 toneladas de carne por ano, que atendem cerca de 240 mil pessoas anualmente.

Embrapa, uma instituição pública de pesquisa agrícola com centros de pesquisa espalhados pelo Brasil. Um dos seus centros está localizado em Jaguariúna (SP), que possui infraestrutura e expertise voltadas para o desenvolvimento de tecnologias para o setor agropecuário, sendo um dos maiores centros de inovação do país.

SLC Agrícola, uma das maiores empresas de agronegócio do Brasil, com operações que abrangem diversos estados, e um dos principais exemplos de adoção de tecnologias digitais e automação no campo. A SLC Agrícola é reconhecida pela sua capacidade de integrar inovações tecnológicas em suas operações.

3.2 Métodos de Pesquisa

De acordo com Tranfield et al. (2003), a revisão sistemática permite uma análise criteriosa e repetível da literatura existente, fornecendo um panorama confiável do estado da arte. Este método tem como objetivo identificar, avaliar e sintetizar as evidências existentes, permitindo uma análise objetiva das contribuições e lacunas no campo do Agro 5.0.

3.2.1 Teoria do Enfoque Meta-Analítico Consolidado (TEMAC)

A Teoria do Enfoque Meta-Analítico Consolidado (TEMAC) desenvolvida por Mariano e Rocha (2017) é uma abordagem inovadora para revisões sistemáticas, com foco na integração eficiente de resultados de diversas pesquisas. Esta técnica se destaca pela capacidade de realizar uma busca inteligente e abrangente sobre o estado atual, utilizando as principais bases de dados disponíveis para pesquisadores. O TEMAC é dividido em três etapas principais, como mostra a Figura 2, e cada uma fundamentada em seis atributos fundamentais para a avaliação da qualidade de documentos científicos, como propõem Abramo e D’Angelo (2011): precisão, robustez, validade, funcionalidade, eficiência temporal e custo-efetividade.

Figura 2: Etapas TEMAC



Fonte: Adaptado, Mariano e Rocha, (2017).

- Preparação: Nesta etapa, são definidas as palavras-chave, o período de tempo a ser avaliado, as bases de dados a serem consultadas e as áreas do conhecimento relevantes. O objetivo é aprimorar e otimizar a busca, assegurando que apenas os dados mais relevantes sejam analisados.
- Apresentação e Inter-relação dos Dados: Esta etapa tem como objetivo fornecer uma visão geral do tema, destacando sua evolução ao longo do tempo e inter-relacionando dados e conceitos extraídos. Ferramentas como a análise das tendências de publicação, a identificação de autores e instituições relevantes e a frequência de palavras-chave são usadas para traçar a trajetória e o impacto do tema estudado.
- Utilização de técnicas de análise bibliométrica: Como cocitação, *coupling*, coautoria e coocorrência, para explorar as relações entre autores, obras e conceitos. Esta etapa é crucial para identificar as principais correntes de pensamento e validar os resultados através de evidências consistentes, fornecendo uma base sólida para conclusões e recomendações futuras.
- Modelo Integrador: Por fim, será aplicado o modelo integrador, que se baseia em uma análise aprofundada das evidências disponíveis, com o objetivo de identificar e apresentar as principais tecnologias de Inteligência Artificial utilizadas no Agro 5.0. Esse modelo também busca demonstrar os benefícios da integração dessas tecnologias no setor, destacando suas contribuições para a eficiência, produtividade e sustentabilidade das operações do agronegócio.

Neste trabalho será utilizada duas principais bases de dados, que são a *Web of Science* (WoS) e *Scopus*, que serão complementadas pelos dados fornecidos pela Embrapa. Todas juntas, tem o objetivo de utilizar todas as etapas, bem definidas e apoiadas em teorias bibliométricas, que tornam o TEMAC uma ferramenta poderosa para reunir conhecimentos e identificar as direções mais promissoras para pesquisas futuras em qualquer campo científico, como o Agro 5.0 e a implementação de tecnologias de Inteligência Artificial.

3.2.2 Análise de Aplicabilidade

Para atender ao objetivo de explorar as aplicações da Inteligência Artificial no contexto do Agro 5.0, este trabalho adotou uma abordagem estruturada que incluiu a seleção de duas metodologias propostas por autores relevantes, utilizando a ferramenta TEMAC para filtrar a literatura acadêmica. Paralelamente, foram realizadas pesquisas em sites de empresas e institutos de pesquisa brasileira, utilizando termos como "Inteligência Artificial no Agronegócio", "Fazendas Digitais" e "Agricultura de Precisão". Essas buscas visaram identificar produtos e soluções inovadoras já desenvolvidos no país, os quais podem servir como ponto de partida para o passo a passo proposto na implementação da Inteligência Artificial no setor do agronegócio.

Além das análises documentais, também foram conduzidas entrevistas dinâmicas, sem um roteiro estabelecido, com três responsáveis pela implementação de tecnologias em fazendas brasileiras. O objetivo foi comparar as experiências práticas dessas propriedades com as metodologias propostas na literatura científica, buscando identificar convergências, lacunas e boas práticas aplicáveis ao contexto nacional. Esses diferentes métodos de investigação forneceram uma visão ampla e multidimensional sobre o estado atual e as possibilidades de integração da Inteligência Artificial no agronegócio brasileiro.

A Figura 3 sintetiza essas etapas, destacando o alinhamento entre a revisão de literatura, as análises de mercado e as entrevistas realizadas. Essa integração metodológica permitiu desenvolver um panorama detalhado sobre as oportunidades e desafios na adoção de tecnologias inteligentes no Agro 5.0, consolidando diretrizes para uma implementação eficaz no setor.

Figura 3: Etapas de Análise de Aplicabilidade



Fonte: Autoral, (2024).

Desta forma, o trabalho seguiu as seguintes etapas metodológicas para atingir seus objetivos e compreender a aplicação de tecnologias de Inteligência Artificial (IA) no Agro 5.0:

1) SELEÇÃO DE ARTIGOS POR MEIO DO TEMAC

A primeira etapa consistiu na seleção de artigos científicos a partir de buscas realizadas com a ferramenta TEMAC. O objetivo foi identificar materiais que contribuíssem para a compreensão das aplicações práticas de IA no agronegócio. Os artigos selecionados abordaram dois focos principais: o primeiro tratava de como implementar a agricultura digital, enquanto o segundo era um estudo de caso aplicado ao agronegócio brasileiro. As buscas foram realizadas nas bases indexadas utilizando as palavras-chave *"Artificial Intelligence in Agriculture"*, *"Agricultural Process Optimization"*, *"Agrobusiness"*, *"Agro 4.0"*, *"Agriculture 5.0"*, *"Implementation"* e *"Process"*. A seleção priorizou artigos que apresentavam exemplos concretos de aplicação de tecnologias habilitadoras no setor.

2) PESQUISA EM SITES DE EMPRESAS E INSTITUTOS DE PESQUISA

Simultaneamente, foi realizada uma pesquisa em sites de empresas e institutos de pesquisa brasileiros, visando identificar formas práticas de implementar as tecnologias habilitadoras do Agro 5.0. O objetivo era compreender como essas tecnologias podem ser utilizadas para monitorar e gerenciar as operações agrícolas. Para isso, foi adotada uma amostra por conveniência, com foco em institutos que ofereciam facilidade de acesso às informações. Essa etapa foi essencial para

identificar soluções tecnológicas disponíveis no mercado e como elas podem servir de base para o desenvolvimento de um *roadmap* de implementação.

3) ESTUDO DE MÚLTIPLOS CASOS SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA

Optou-se pela adoção do estudo de múltiplos casos como método de pesquisa, uma abordagem que permite a análise comparativa de diferentes realidades, proporcionando uma compreensão mais ampla e aprofundada sobre a implementação de tecnologias no agronegócio. Esse método possibilita a identificação de padrões, desafios e variabilidades entre os casos analisados, contribuindo para uma visão mais estruturada da aplicação da Inteligência Artificial e de outras inovações no setor rural.

A coleta de dados foi realizada por meio de entrevistas semi-estruturadas, com o objetivo de obter o máximo de informações possíveis sobre os processos de adoção tecnológica em diferentes propriedades rurais. Para isso, foram entrevistados três responsáveis pela implementação de tecnologias em fazendas brasileiras, permitindo a análise das diferenças entre as metodologias descritas na literatura acadêmica e a realidade prática das propriedades rurais, que variam em porte, localização e tipo de produção.

As entrevistas foram conduzidas de forma flexível, sem um roteiro rígido, mas seguindo um esquema orientador que garantiu a captação de informações essenciais para o estudo. O roteiro detalhado utilizado como base encontra-se disponível no Apêndice A. Essa abordagem possibilitou uma compreensão mais precisa dos desafios enfrentados no campo, destacando como as fazendas adaptam as inovações tecnológicas às suas necessidades operacionais e estratégicas.

4) ELABORAÇÃO DE UM *ROADMAP* PARA IMPLEMENTAÇÃO DE IA NO AGRONEGÓCIO

Com base nos dados coletados nas etapas anteriores, foi desenvolvido um *roadmap* que descreve, em formato de passo a passo, as etapas necessárias para a implementação de IA no agronegócio, independentemente do tipo de cultura ou porte da propriedade. Esse *roadmap* consolida as informações teóricas e práticas, destacando as principais etapas, como o planejamento estratégico, análise de infraestrutura, capacitação de equipes e monitoramento contínuo dos resultados.

Essas etapas integradas permitiram uma análise abrangente do tema, combinando fundamentos teóricos da literatura científica com exemplos práticos do mercado e experiências reais do campo, oferecendo uma base sólida para a proposição de um modelo de implementação tecnológica no setor do agronegócio brasileiro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Preparação da Pesquisa

Para a realização deste estudo sobre a implementação de Inteligência Artificial no Agro 5.0, foram utilizadas as principais bases de dados *Scopus* e *Web of Science.* As palavras-chave escolhidas para a pesquisa incluíram termos como *"Artificial Intelligence in Agriculture", "Agricultural Process Optimization", Agrobusiness,* "Agro 4.0", *"Agriculture 5.0", "Agricultural Process Optimization", Implementation, "Artificial Intelligence"* e *Process.*

Essas palavras-chave foram escolhidas para abranger tanto a tecnologia de Inteligência Artificial quanto seu contexto de aplicação no setor agronegócio moderno, além disso utilizou-se combinações originado das palavras-chaves. A utilização de aspas duplas tem como objetivo assegurar uma busca mais precisa por termos compostos, concentrando-se nos processos e inovações mais recentes no campo da agricultura inteligente.

Inicialmente, a busca foi realizada sem restrições de tempo para obter uma visão geral do desenvolvimento e aplicação da Inteligência Artificial no setor agrícola ao longo dos anos. Os resultados preliminares foram organizados para destacar os artigos mais recentes e mais citados que relacionam a Inteligência Artificial com a otimização de processos agrícolas e a transição para a Agro 5.0, refletindo os progressos e tendências atuais na indústria.

Este método de seleção e análise de fontes tem como objetivo assegurar que a pesquisa seja fundamentada em dados seguros e representativos das dinâmicas atuais e futuras no campo da agricultura digital.

A partir da primeira pesquisa, foram seguidas as etapas do TEMAC e aplicado o primeiro filtro com restrição temporal. Este filtro abrangeu o período de 2020 a 2025, sendo o ano de 2025 incluído devido ao fato de estar no primeiro mês, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1: Resultado das bases de dados com refinamento temporal.

Palavras-Chaves	**Base de Dados**	
	WoS	***Scopus***
"Artificial Intelligence in Agriculture"	261	6.778
"Agricultural Process Optimization"	1	2
Agrobusiness	228	457
"Agro 4.0"	10	66
"Agriculture 5.0"	43	4.062

Continua

Palavras-Chaves	Base de Dados	
	WoS	***Scopus***
Implementation AND *"Artificial Intelligence"* AND *"Agriculture 5.0"*	3	388
Process AND "*Artificial Intelligence*" AND "*Agriculture 5.0*"	7	377
"*Artificial Intelligence*" AND "*Agriculture 5.0*"	15	653
Process AND "*Agriculture 5.0*"	15	569

Fonte: Autoral, (2025).

Por fim, com objetivo de aprofundar a pesquisa e assegurar que ela se concentre nas interfaces tecnológica e agricultura, foram selecionadas áreas de pesquisa mais especializadas nas plataformas *Scopus* e *Web of Science*. As áreas que foram incluídas foram:

Engineering Electrical Electronic: estudo de engenharia elétrica e eletrônica, fundamental para compreender a aplicação de tecnologias avançadas na agricultura, como sensores e sistemas automatizados. O desenvolvimento de *software* e algoritmos que sustentam as aplicações de IA no campo é crucial.

Engineering Multidisciplinar: permite uma compreensão mais ampla de como diversas disciplinas de engenharia estão relacionadas à solução de problemas complexos na agricultura moderna.

Agricultural Engineering: É relevante, pois trata das aplicações da engenharia na agricultura, incluindo maquinário e tecnologias de automação.

Engineering Environmental: É crucial compreender como as tecnologias de engenharia são usadas para preservar ou melhorar a sustentabilidade ambiental no campo agrícola.

Computer Science Artificial Intelligence: O objetivo é aprofundar o estudo da Inteligência Artificial, seu desenvolvimento e aplicações práticas na agricultura.

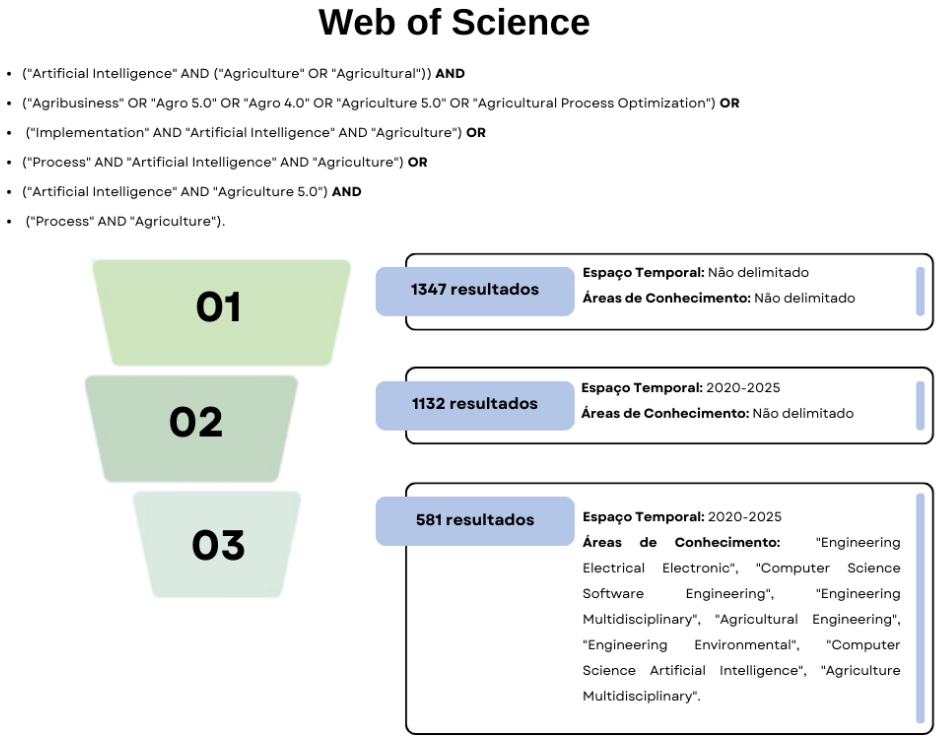
A Agricultura Multidisciplinar oferece uma visão integrada e multidisciplinar da agricultura, combinando tecnologia, práticas agrícolas e impactos sociais.

Os estudos biológicos são fundamentais para a inovação em práticas agrícolas e gestão de recursos naturais.

A seleção criteriosa de áreas de pesquisa assegura que a revisão sistemática capture uma variedade de perspectivas e inovações tecnológicas relevantes para o Agro 5.0. As Figuras 4 e 5 demonstram como os resultados foram sendo aprimorados de forma gradual nas duas plataformas,

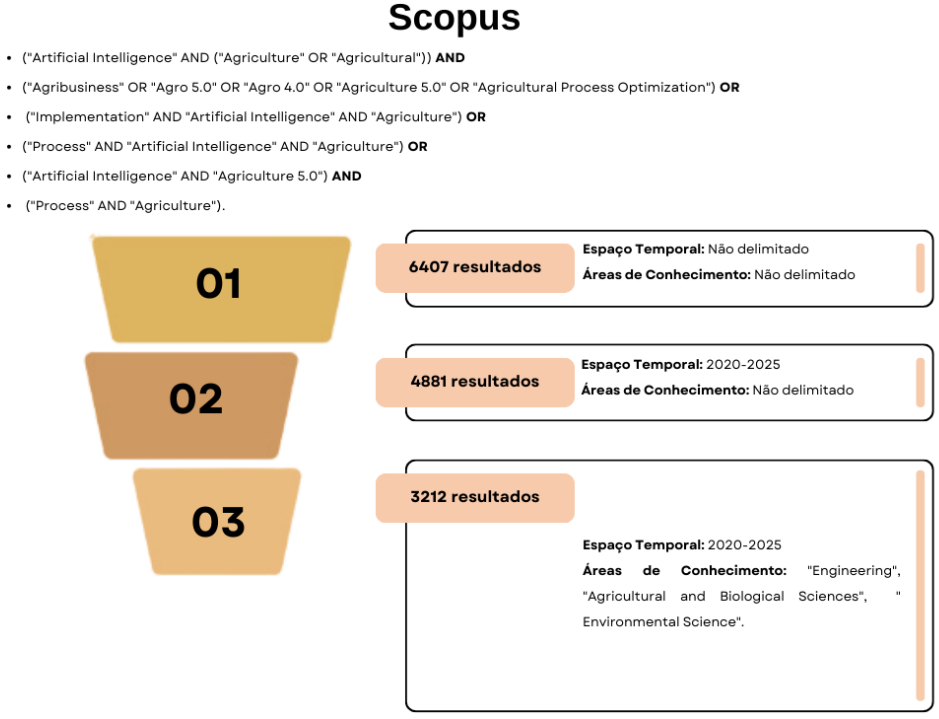
permitindo uma filtragem eficiente e uma análise concentrada nos avanços recentes e impactantes na interface entre engenharia e agricultura. Essa metodologia ajuda a assegurar que os *insights* derivados sejam tão amplos quanto profundos nas tecnologias emergentes que moldam o futuro da agricultura digital.

Figura 4: Resultado do refinamento final na base de dados do *Web of Science*.



Fonte: Autoral, (2025).

Figura 5: Resultado do refinamento final na base de dados do *Scopus*.



Fonte: Autoral, (2025).

Após o processo de refinamento, foram identificados 581 resultados na base de dados *Web of Science* e 3212 resultados na *Scopus*, o que possibilitou a obtenção de conteúdos relevantes que contribuíram significativamente para o desenvolvimento deste estudo. Para assegurar a qualidade e a pertinência do material analisado, foi realizada uma leitura criteriosa dos resumos, resultando na seleção de seis artigos mais relevantes, dos quais dois foram utilizados como base para a construção das metodologias aplicadas. Essa abordagem garantiu que as informações extraídas fossem consistentes e alinhadas aos objetivos da pesquisa.

4.2 Apresentação e Inter-Relação de Dados

As análises dos resultados das buscas nas bases de dados apresentadas nas Figuras 4 e 5 permitem uma análise mais aprofundada das tendências e focos predominantes no campo do Agro 5.0 e tecnologias relacionadas. A presente seção tem como objetivo sistematizar e discutir as áreas de pesquisa mais relevantes, os países líderes em publicações, a evolução das publicações ao longo do tempo, os autores mais influentes e os documentos que receberam o maior número de citações.

Esta abordagem metódica e detalhada da apresentação e inter-relação dos dados coletados nas bases *Scopus* e *Web of Science* proporciona uma compreensão ampla e abrangente das dinâmicas atuais e futuras na interface entre engenharia, ciência da computação e práticas agrícolas, o que contribui significativamente para a discussão sobre a implementação e o impacto da Inteligência Artificial no agro 5.0.

4.2.1 Áreas de Pesquisa

A identificação das áreas de pesquisa mais relevantes fornece uma compreensão clara das disciplinas que estão na vanguarda do desenvolvimento tecnológico na agricultura, indicando os temas que estão recebendo maior atenção acadêmica e prática.

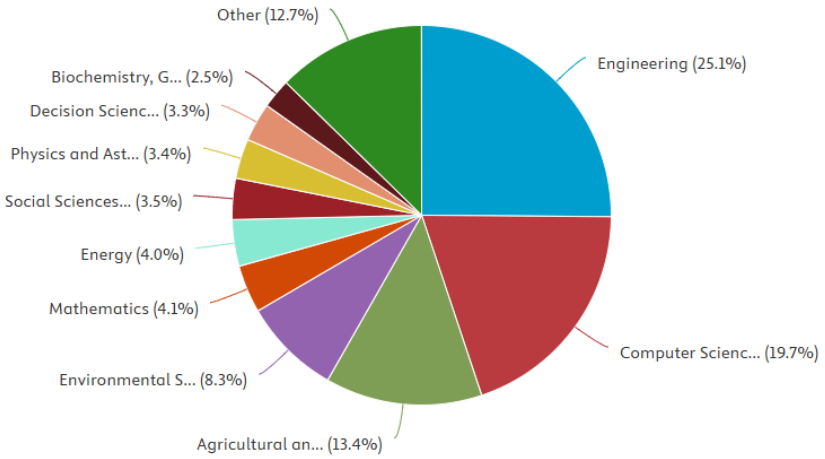
Figura 6: Áreas de pesquisa - WoS.



Fonte: *Web of Science*, (2025).

Na WoS, a área "Agricultura Multidisciplinar" se destaca, como mostra a Figura 6, apresentando uma abordagem multidisciplinar que abrange diversas disciplinas para otimizar a produção agrícola. Além disso, tem tendência para projetos que abordam de forma integrada. Se olhar a segunda área, *"Computer Science Artificial Intelligence"*, está mais focada em algoritmos, ou seja, aprendizado de máquinas, sendo IA aplicada.

Figura 7: Áreas de pesquisa - *Scopus*.



Fonte: *Scopus*, (2025).

A área de *"Engineering"* no *Scopus* é frequentemente considerada uma das mais relevantes, como ilustrado na Figura 7, devido à sua ampla abrangência e ao impacto significativo em diversas indústrias e setores. A engenharia está diretamente vinculada ao desenvolvimento de novas tecnologias, processos e soluções para enfrentar desafios globais. Em razão disso, pesquisadores e profissionais da área estão constantemente em busca de avanços que possam transformar a sociedade e a economia. Em segundo lugar, encontra-se a área de *"Computer Science"*, que se relaciona estreitamente com todas as áreas mencionadas e possui uma forte correlação com a engenharia, especialmente no desenvolvimento de tecnologias emergentes e soluções inovadoras.

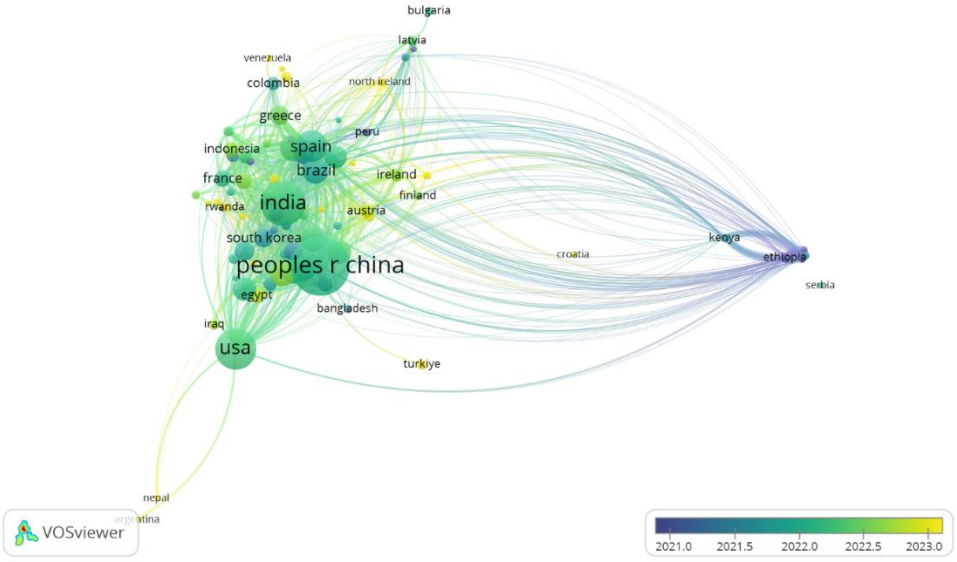
Além disso, ao relacionar as duas bases de dados a presença da ciência da computação em ambas as visualizações demonstra sua importância crucial em diversas disciplinas. A Inteligência Artificial e os sistemas de informação são fundamentais para o progresso em áreas como a agricultura de precisão, em que tecnologias inteligentes são aplicadas para otimizar a produção agrícola. Ademais, pode-se pontuar a engenharia que é uma área central em ambas as visões, o que demonstra sua relevância em criar soluções tecnológicas avançadas. A ciência ambiental

também apresenta sua evidência, onde vem levantando uma preocupação crescente com a sustentabilidade e a mitigação de impactos ambientais.

4.2.2 Países que mais publicaram

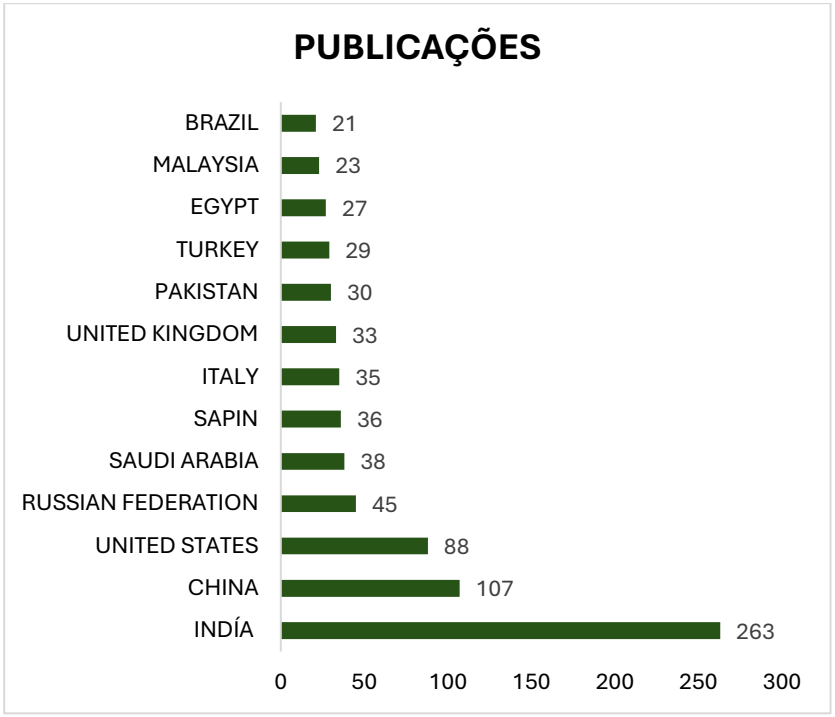
A análise dos países que mais contribuem para essas áreas revela os centros globais de excelência e inovação, fornecendo uma perspectiva de como diferentes regiões estão se desenvolvendo no campo da Inteligência Artificial aplicada ao agro.

Figura 8: Países com maiores publicações - WoS.



Fonte: Autoral, adaptado *VOSviewer*, (2025).

Figura 9: Países com maiores publicações - *Scopus*.



Fonte: Autoral, *Scopus*, (2025).

A China é a líder em publicações, o que é consequência do seu grande investimento em tecnologia agrícola, de acordo com a base de dados *WoS*, como mostra a Figura 8. Mas, na *Scopus*, Figura 9, a Índia se destaca, o que pode indicar um maior foco em inovações tecnológicas para superar desafios agrícolas. Ambos os países são líderes em pesquisa e tecnologia agrícola por diversos motivos. Com enfoque, que os dois países têm motivações e estratégias únicas que os impulsionam a liderar neste campo.

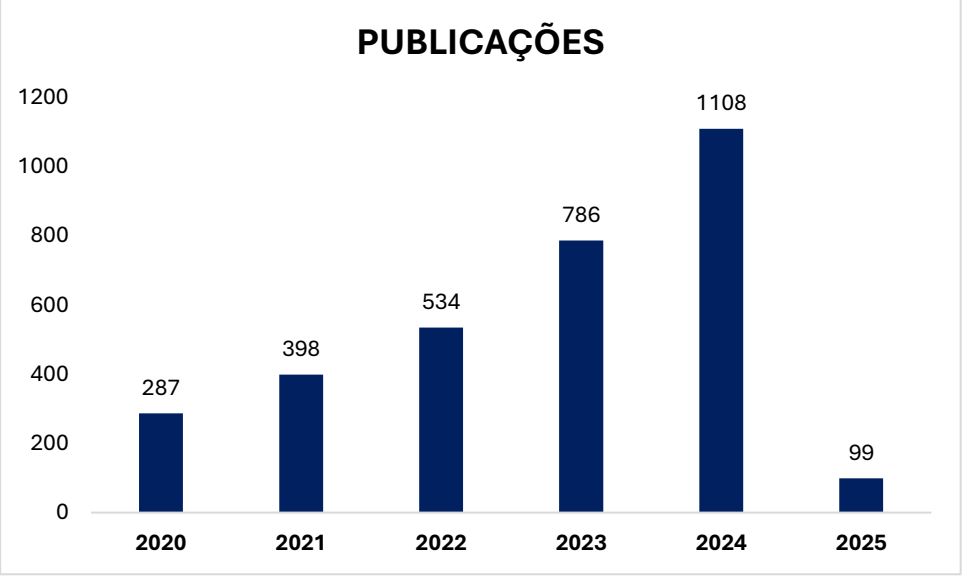
A China tem feito grandes investimentos em pesquisa e desenvolvimento agrícola. Isso compreende financiamentos para universidades, instituições de pesquisa e inovações do setor privado focadas em tecnologia agrícola. Iniciativas estratégicas do governo chinês, como o plano "*Made in China* 2025", enfatizam a necessidade de modernizar a agricultura através da tecnologia.

Ademais, a Índia enfrenta problemas significativos, como a escassez de água, as propriedades rurais fragmentadas e a necessidade de aumentar a produtividade para atender à demanda de uma população crescente. A Índia tem se concentrado em inovações tecnológicas na agricultura, como o desenvolvimento de cultivos resistentes à seca, a agricultura de precisão e sistemas de irrigação eficientes.

4.2.3 Evolução temporal das publicações

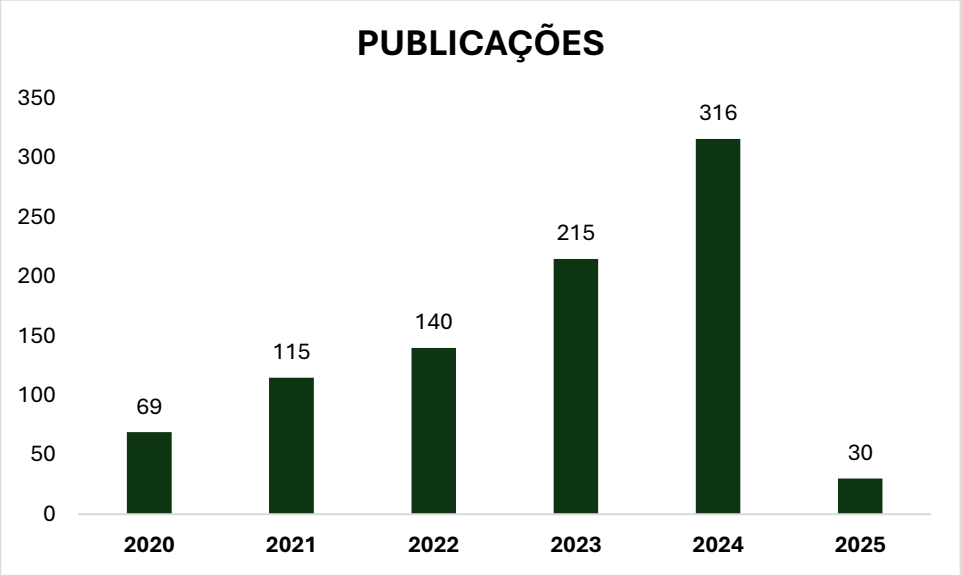
As publicações são analisadas para identificar as tendências de crescimento ou declínio na pesquisa, o que reflete as mudanças nas prioridades de financiamento, interesse acadêmico e demandas de mercado. Este aspecto da análise é importante para identificar padrões de evolução da pesquisa e possíveis lacunas no conhecimento atual. A Figura 10 apresenta a evolução temporal da *WoS* e a Figura 11 da *Scopus*.

Figura 10: Evolução temporal - WoS.



Fonte: *Web of Science*, (2025).

Figura 11: Evolução temporal – *Scopus*.



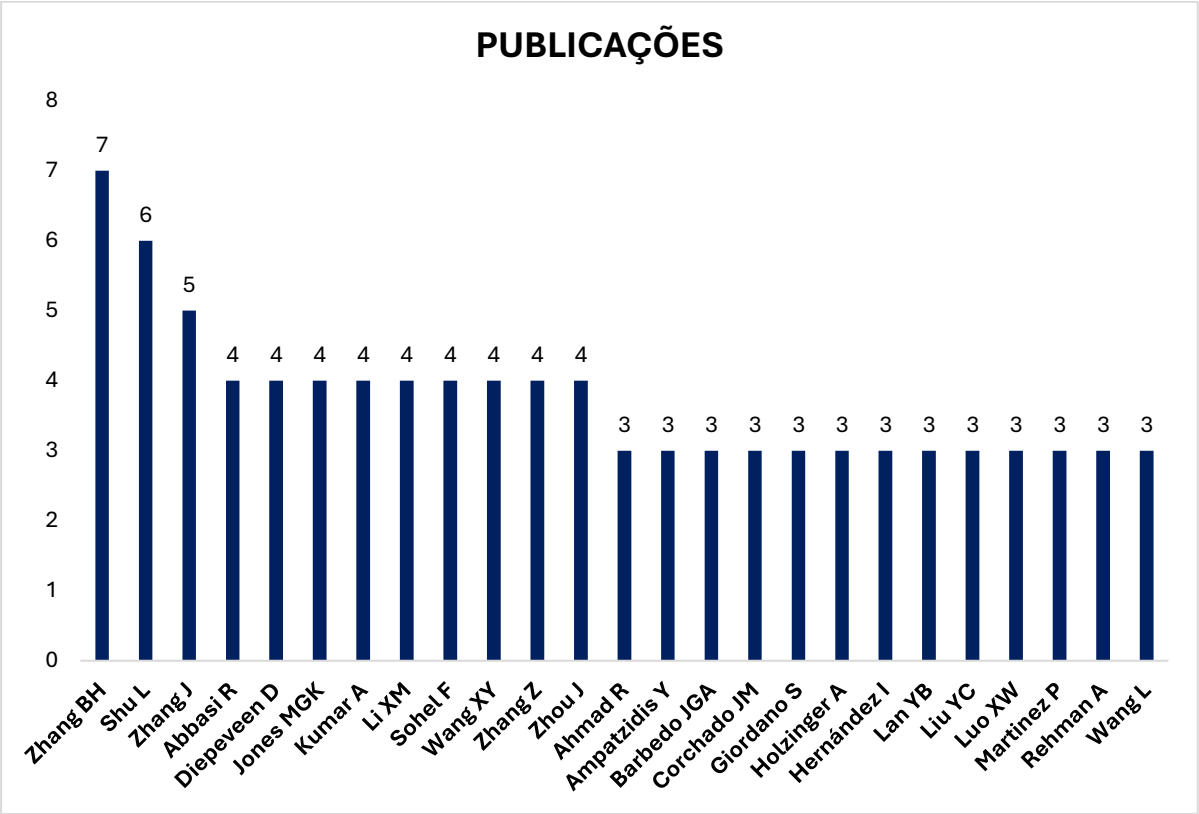
Fonte: *Scopus*, (2025).

Em 2024, observou-se um aumento significativo no número de publicações relacionadas à aplicação de Inteligência Artificial na agricultura, conforme ilustrado nas Figuras 10 e 11. Esse crescimento reflete o interesse crescente e o desenvolvimento contínuo no setor. Nesse período, investimentos substanciais em pesquisa e desenvolvimento agrícola foram registrados, contribuindo para o aumento das publicações. A BASF, por exemplo, anunciou planos para lançar 24 novos produtos de proteção de cultivos no Brasil até 2035, incluindo fungicidas, inseticidas, herbicidas e tratamentos de sementes, além de novas variedades de sementes de soja, algodão e arroz. Esses esforços visam enfrentar desafios como o controle de pragas e a resistência a condições adversas, como a seca. Embora em 2025 o número de publicações ainda seja limitado devido ao início do ano, espera-se que esse número aumente progressivamente nos próximos meses.

4.2.4. Principais autores

Ao destacar os principais autores no campo do Agro 5.0 e tecnologias relacionadas, é possível identificar os líderes de pensamento cujas pesquisas e publicações têm influenciado o desenvolvimento e aplicação da Inteligência Artificial na agricultura. Esta análise não apenas reconhece as contribuições relevantes desses acadêmicos, como também esclarece como suas inovações e teorias influenciam as práticas atuais e futuras. Além disso, analisar os principais autores facilita a compreensão das redes de colaboração e influência acadêmica, revelando as conexões que potencializam os progressos no campo.

Figura 12: Principais autores - WoS.

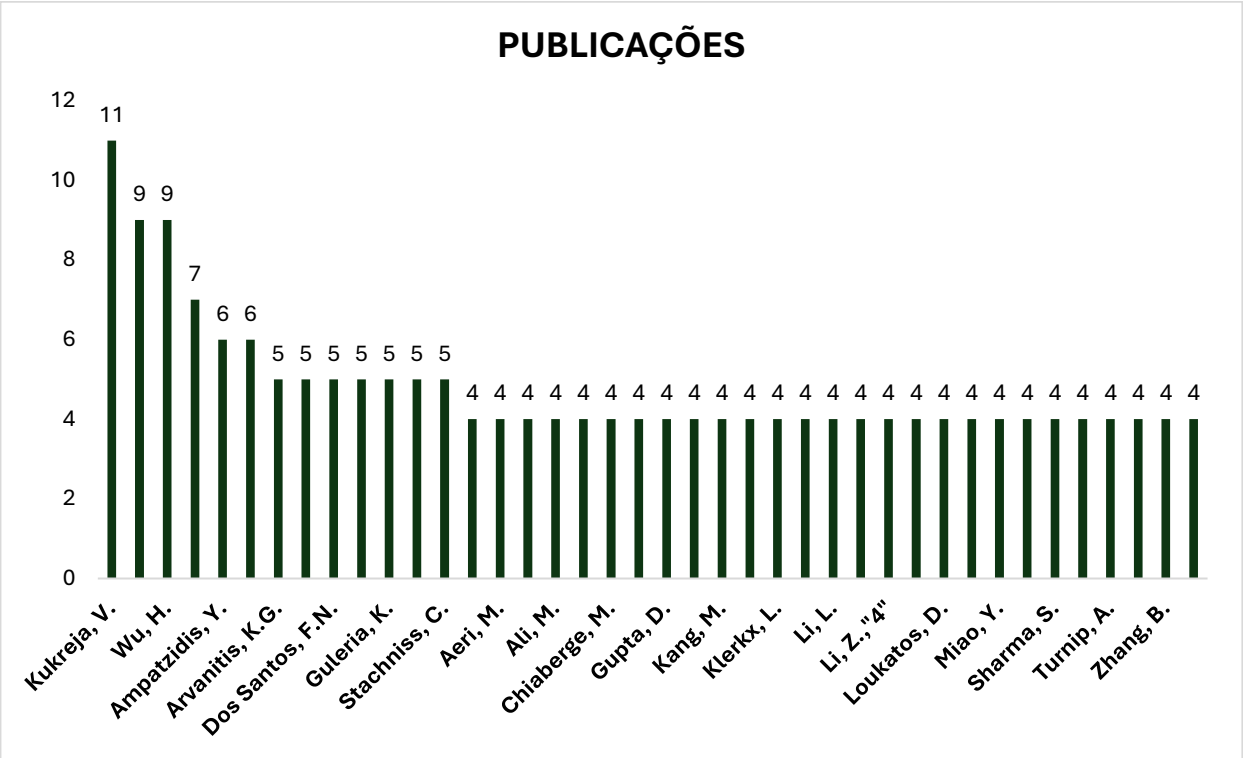


Fonte: *Web of Science*, (2025).

Baohua Zhang é pesquisador vinculado ao *College of Engineering* e *ao College of Artificial Intelligence da Nanjing Agricultural University*, na China. Sua pesquisa concentra-se na aplicação de Inteligência Artificial, aprendizado de máquina e visão computacional para aprimorar a agricultura de precisão. Suas contribuições incluem o desenvolvimento de algoritmos avançados para segmentação e reconhecimento de culturas agrícolas, modelos baseados em redes neurais profundas para manipulação robótica de frutas e vegetais delicados e estratégias de fusão de múltiplas redes para otimizar sistemas agrícolas automatizados.

Na base *Web of Science*, a China se destacou como o país com o maior número de publicações relacionadas à área de pesquisa de Baohua Zhang. Esse dado reflete o intenso investimento do país em inovação tecnológica e sua posição de liderança global na agricultura digital. A China tem sido um dos principais polos mundiais na aplicação de Inteligência Artificial e automação no setor agrícola, impulsionando estudos que viabilizam a modernização da produção rural. A atuação de Zhang está diretamente inserida nesse cenário de avanços tecnológicos, contribuindo significativamente para o desenvolvimento da agricultura de precisão e influenciando a adoção dessas tecnologias em diversas regiões do mundo.

Figura 13: Principais autores - *Scopus*.



Fonte: *Scopus*, (2025).

Vinay Kukreja é um pesquisador e professor na *Chitkara University*, localizada em Punjab, Índia, onde atua como diretor de pesquisa. Com mais de 17 anos de experiência acadêmica, ele se destaca na aplicação de Inteligência Artificial e aprendizado de máquina no setor agrícola. Sua produção científica inclui mais de 120 artigos indexados na base *Scopus* e mais de 40 patentes, consolidando sua influência na pesquisa e inovação tecnológica voltada para a agricultura de precisão e detecção de doenças em plantas tem sido fundamental no desenvolvimento de modelos avançados de aprendizado profundo (*Deep Learning*) para o monitoramento e classificação de doenças agrícolas. Ele contribuiu significativamente para a criação de redes neurais especializadas, como VGG16, VGG19 e ResNet, aplicadas na identificação de doenças em videiras, girassóis, mangueiras e outras culturas. Além disso, Kukreja tem explorado modelos federados de aprendizado de máquina, uma abordagem inovadora que permite a descentralização da análise de dados, aumentando a eficiência e segurança dos sistemas inteligentes aplicados à agricultura.

A Índia é o país com o maior número de publicações na base *Scopus* relacionadas à área de pesquisa de Kukreja, refletindo o crescimento expressivo da pesquisa em Inteligência Artificial, aprendizado de máquina e automação agrícola no país. Esse avanço é impulsionado pelo aumento da demanda por tecnologias agrícolas eficientes para enfrentar desafios como mudanças climáticas, controle de pragas e otimização do uso de insumos. Kukreja tem sido um dos principais responsáveis por alavancar essas pesquisas, desenvolvendo modelos de redes neurais

convolucionais (CNNs) aprimoradas para classificação de doenças e técnicas de visão computacional para avaliar a qualidade de produtos agrícolas.

Além de sua atuação acadêmica, Kukreja tem participado de projetos de inovação tecnológica e parcerias industriais, ampliando a aplicação prática de suas pesquisas na modernização da agricultura indiana. Seu impacto na comunidade científica é evidenciado pelo grande número de citações de seus trabalhos e pela relevância de suas publicações em periódicos de alto impacto na área de agricultura digital e Inteligência Artificial aplicada.

4.2.5 Documentos mais citados

Os documentos mais citados são a base para o conhecimento atual na área de Inteligência Artificial aplicada à agricultura. Esses trabalhos definem o estado da arte e, muitas vezes, são o fundamento para novas pesquisas ou aplicações práticas no campo. A análise destes documentos permite não somente reconhecer as contribuições relevantes da comunidade científica, como também fornece informações sobre as tendências temáticas e metodológicas mais relevantes e reconhecidas pelo campo acadêmico e profissional.

Tabela 2: Citações *Web of Science*, (2025).

TÍTULO DO DOCUMENTO	AUTOR(ES)	TÍTULO DA FONTE	TOTAL CITAÇÕES
Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture	Lezoche, Mario; Hernandez, Jorge E.; Alemany Diaz, Maria del Mar Eva; Panetto, Herve; Kacprzyk, Janusz	COMPUTERS IN INDUSTRY	**317**
A Comprehensive Review on Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete	Wang, Bo; Yan, Libo; Fu, Qiuni; Kasal, Bohumil	RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING	**290**
From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges	Liu, Ye; Ma, Xiaoyuan; Shu, Lei; Hancke, Gerhard Petrus; Abu-Mahfouz, Adnan M.	IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS	**258**
Empowering Things With Intelligence: A Survey of the Progress, Challenges, and Opportunities in Artificial Intelligence of Things	Zhang, Jing; Tao, Dacheng	IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL	**243**
Automation in Agriculture by Machine and Deep Learning Techniques: A Review of Recent Developments	Saleem, Muhammad Hammad; Potgieter, Johan; Arif, Khalid Mahmood	PRECISION AGRICULTURE	**114**
Multi-stream hybrid architecture based on cross-level fusion strategy for fine-grained crop species recognition in precision agriculture	Kong, Jianlei; Wang, Hongxing; Wang, Xiaoyi; Jin, Xuebo; Fang, Xing; Lin, Seng	COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE	**90**
Deep Learning in the Industrial Internet of Things: Potentials, Challenges, and Emerging Applications	Khalil, Ruhul Amin; Saeed, Nasir; Masood, Mudassir; Fard, Yasaman Moradi; Alouini, Mohamed-Slim; Al-Naffouri, Tareq Y.	IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL	**87**

Continua

TÍTULO DO DOCUMENTO	AUTOR(ES)	TÍTULO DA FONTE	TOTAL CITAÇÕES
Rice diseases detection and classification using attention based neural network and bayesian optimization	Wang, Yibin; Wang, Haifeng; Peng, Zhaohua	EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS	**87**
Agroview: Cloud-based application to process, analyze and visualize UAV-collected data for precision agriculture applications utilizing artificial intelligence	Ampatzidis, Yiannis; Partel, Victor; Costa, Lucas	COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE	**82**
Tough and super-stretchable conductive double network hydrogels with multiple sensations and moisture-electric generation	He, Peng; Guo, Runsheng; Hu, Kui; Liu, Kai; Lin, Shan; Wu, Hui; Huang, Liulian; Chen, Lihui; Ni, Yonghao	CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL	**79**

Fonte: *Web of Science*, (2025).

Tabela 3: Citações *Scopus*, (2025).

TÍTULO DO DOCUMENTO	AUTOR(ES)	TÍTULO DA FONTE	TOTAL CITAÇÕES
From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management	Saiz-Rubio V., Rovira-Mas F.	Agronomy	**440**
From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges	Liu Y., Ma X., Shu L., Hancke G.P., Abu-Mahfouz A.M	IEEE Transactions on Industrial Informatics	**349**
Digitalization to achieve sustainable development goals: Steps towards a Smart Green Planet	Mondejar M.E., Avtar R., Diaz H.L.B., Dubey R.K., Esteban J., Gomez-Morales A., Hallam B., Mbungu N.T., Okolo C.C., Prasad K.A., She Q., Garcia-Segura S.	Science of the Total Environment	**297**
2020,"Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?	Klerkx L., Rose D.	Global Food Security	**296**
Industry 5.0: Prospect and retrospect	Leng J., Sha W., Wang B., Zheng P., Zhuang C., Liu Q., Wuest T., Mourtzis D., Wang L.	Journal of Manufacturing Systems	**264**
Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas	Adel A.	Journal of Cloud Computing	**179**
6G Wireless Communications Networks: A Comprehensive Survey	Alsabah M., Naser M.A., Mahmmod B.M., Abdulhussain S.H., Eissa M.R., Al-Baidhani A., Noordin N.K., Sait S.M., Al-Utaibi K.A., Hashim F.	IEEE Access	**169**
Smart Secure Sensing for IoT-Based Agriculture: *Blockchain* Perspective	Vangala A., Das A.K., Kumar N., Alazab M.	IEEE Sensors Journal	**132**

Continua

TÍTULO DO DOCUMENTO	AUTOR(ES)	TÍTULO DA FONTE	TOTAL CITAÇÕES
The digitization of agricultural industry – a systematic literature review on agriculture 4.0	Abbasi R., Martinez P., Ahmad R.	Smart Agricultural Technology	**120**
Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies	Javaid M., Haleem A., Singh R.P., Suman R.	International Journal of Intelligent Networks	**116**

Fonte: *Scopus*, (2025).

"Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture" foi o item mais citado na WoS e sugere uma análise mais aprofundada das cadeias de suprimentos e tecnologias emergentes. Na *Scopus*, *"From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management"* destaca a relevância da gestão de dados de cultivo na evolução para o Agro 5.0.

4.2.6 Outros

A relevância das agências de financiamento no campo da pesquisa acadêmica e tecnológica, especialmente em áreas relacionados a Inteligência Artificial aplicada à agricultura, pode ser destacada de diversas maneiras. No que diz respeito ao suporte a pesquisas inovadoras, desempenham um papel crucial ao fornecer os recursos necessários para a condução de pesquisas inovadoras. Esses fundos permitem que pesquisadores analisem novas tecnologias, criem soluções avançadas e aprimorem práticas agrícolas por meio da Inteligência Artificial.

Dessa forma, é relevante salientar a *National Natural Science Foundation of China NSFC*, que apresenta um incentivo maior na base de dados da *WoS* e *European Commission* na base *Scopus*. Sendo assim, mostra que elas são as que mais demonstram interesse na área de Inteligência Artificial no agronegócio.

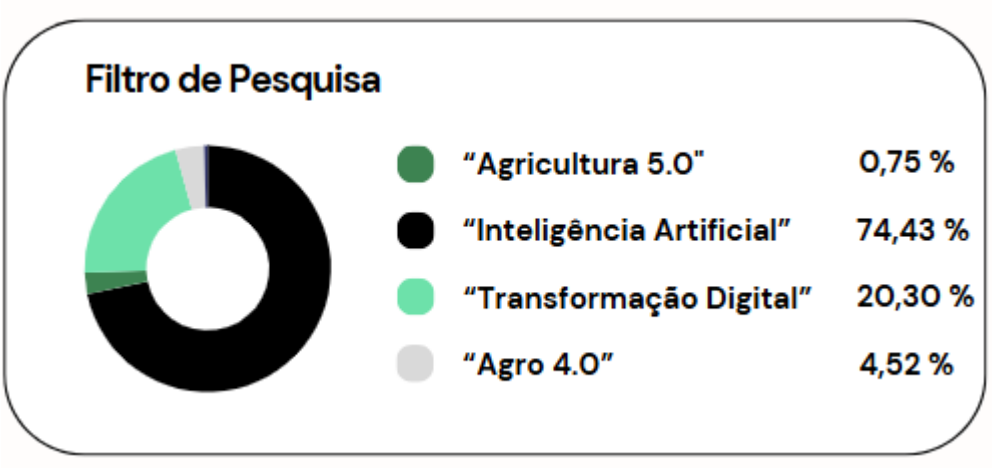
4.3 Análise Dados Embrapa

A Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) é uma importante instituição para o desenvolvimento da agricultura brasileira, tendo um papel fundamental na inovação e na pesquisa agrícola. Para compreender a contribuição desta instituição para o Agro 5.0, uma análise aprofundada dos seus dados foi realizada. Esta análise foi dividida em diversas subseções com o objetivo de descrever as características e as tendências das pesquisas realizadas pela Embrapa.

4.3.1 Filtro de Pesquisa

Para a coleta dos dados, foram aplicados filtros específicos nas bases acadêmicas que incluem publicações da Embrapa. Os critérios de filtro foram estabelecidos para capturar publicações relacionadas à "Inteligência Artificial", "Agricultura 5.0", e outras tecnologias emergentes no setor agro. Esses filtros ajudam a refinar a busca, garantindo que apenas as publicações mais relevantes para o estudo sejam consideradas.

Figura 14: Filtros base de dados - Embrapa.



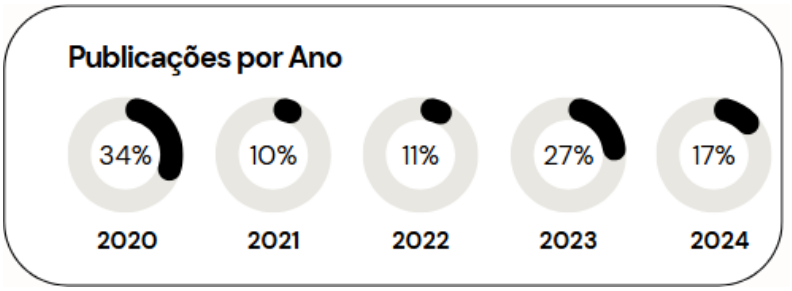
Fonte: Autoral, (2024).

A Inteligência Artificial foi o tema predominante nas pesquisas, como mostra a Figura 14, refletindo sua relevância crescente no setor agrícola e o maior alvo de pesquisas também.

4.3.2 Publicações por Ano

Esta subseção analisa a distribuição temporal das publicações da Embrapa, fornecendo uma visão da evolução do foco de pesquisa ao longo do tempo. A análise temporal revela tendências relevantes, como estudos relacionados à Inteligência Artificial e outras tecnologias digitais nos últimos anos, o que reflete o crescente interesse e investimento em soluções tecnológicas avançadas na agricultura.

Figura 15: Publicações por ano - Embrapa.



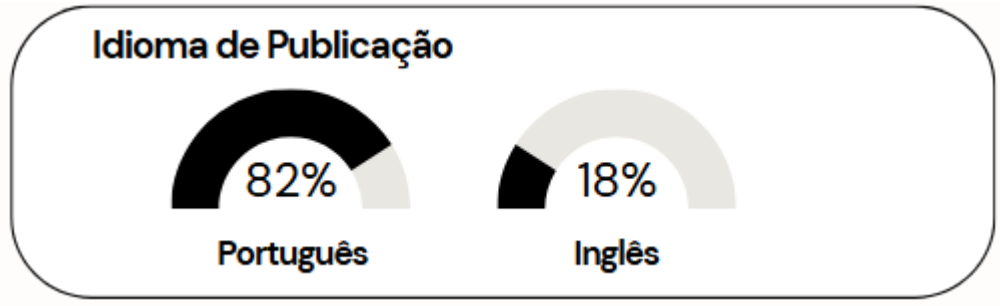
Fonte: Autoral, (2024).

A redução nas publicações sobre temas como Inteligência Artificial, Agricultura 5.0, Transformação Digital, Agro 4.0 e Agro 5.0 na Base de Dados da Pesquisa Agropecuária (BDPA) da Embrapa pode ser atribuída a diversos fatores, como alterações nas prioridades de pesquisa da instituição, possíveis restrições orçamentárias ou mudanças nas políticas de financiamento público, que podem ter limitado os recursos destinados à pesquisa e à produção científica. Contudo, não há uma explicação conclusiva ou detalhada que esclareça de forma precisa as razões para essa diminuição.

4.3.3 Idioma de Publicação

A análise dos idiomas utilizados nas publicações da Embrapa proporciona informações sobre o alcance e a internacionalização da pesquisa realizada. Apesar de a maioria das publicações científicas serem em português, há um aumento significativo nas publicações em inglês, o que indica uma estratégia para atingir uma audiência global e participar de debates científicos internacionais.

Figura 16: Idioma de publicações - Embrapa



Fonte: Autoral, (2024).

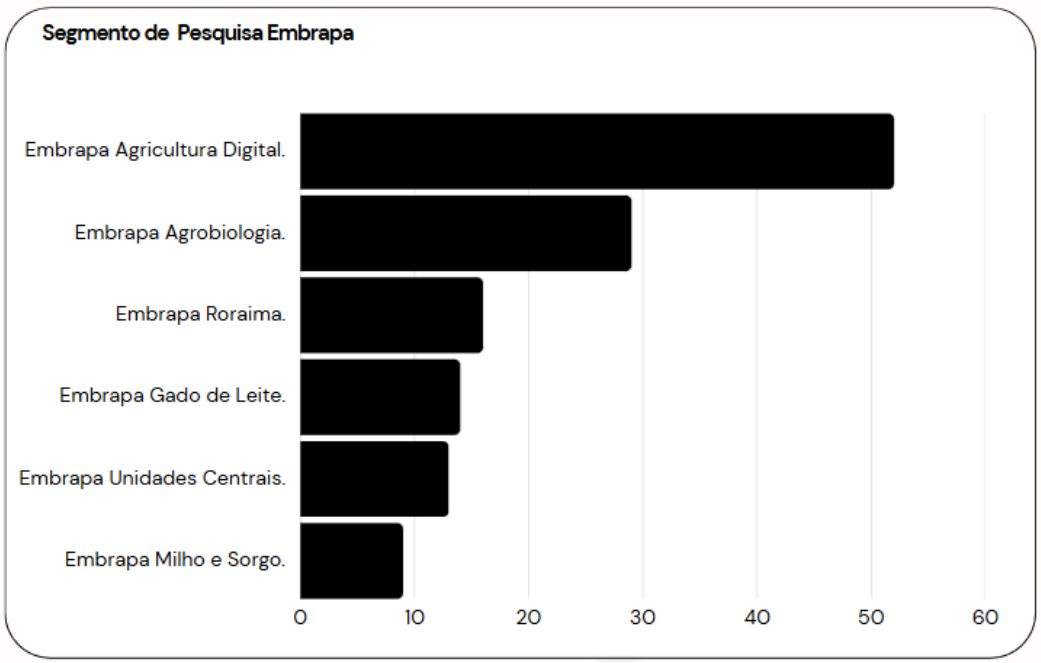
4.3.4 Segmento de Pesquisa Embrapa

O setor de pesquisa analisa as áreas temáticas específicas que a Embrapa tem trabalhado no contexto do Agro 5.0. Esta análise tem como objetivo identificar quais campos da agricultura estão sendo mais afetados pelas inovações tecnológicas, como a genética de plantas, o manejo de

culturas, a automação agrícola, dentre outros. A segmentação das pesquisas revela o compromisso da Embrapa com a sustentabilidade e a eficiência produtiva, elementos fundamentais para o desenvolvimento da agricultura inteligente.

Essa análise rigorosa de dados permite uma compreensão ampla e detalhada do papel da Embrapa como líder em pesquisa e inovação no setor agrícola brasileiro, fornecendo uma base sólida para futuras avaliações de progresso e áreas que necessitam de maior investimento e atenção.

Figura 17: Segmentos de pesquisa - Embrapa.



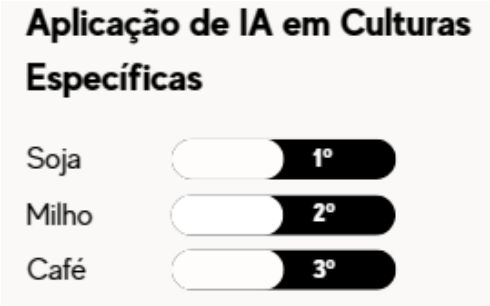
Fonte: Autoral, (2024).

A Agricultura Digital tem sido um foco chave, como representado na Figura 17, indicando um movimento em direção à modernização e eficiência através da tecnologia, e está em segundo lugar nas pesquisas da Embrapa.

4.3.5 Aplicação da Inteligência Artificial em Culturas Específicas

Este tópico buscou compreender em quais culturas específicas a Inteligência Artificial mais vendo sendo aplicadas e utilizadas. A análise dessas aplicações específicas permite avaliar a eficiência e os benefícios práticos da tecnologia na otimização de rendimentos e na redução de impactos ambientais, além de permitir entender como a IA mais vendo sendo aplicada.

Figura 18: Aplicação IA em culturas específicas.



Fonte: Autoral, (2024).

A ênfase é dada à soja, milho e café, culturas consideradas fundamentais para a economia agrícola brasileira.

A utilização de tecnologias da informação na cultura da soja tem contribuído para a previsão de safras, a otimização do uso de insumos e o controle de pragas e doenças. Os métodos de aprendizado de máquina analisam grandes quantidades de dados climáticos e de solo para aprimorar as decisões e aumentar a produtividade.

A Inteligência Artificial é utilizada no milho para otimizar a irrigação, prever eventos climáticos adversos e melhorar a gestão de nutrientes. Sensores e drones coletam informações que são analisadas para aumentar a eficiência e diminuir os custos de produção.

Além disso, a IA auxilia na identificação precoce de doenças e pragas, na otimização da colheita e na melhoria da qualidade dos grãos. As imagens de satélite e as análises de dados são usadas para acompanhar as plantações e tomar decisões mais acertadas.

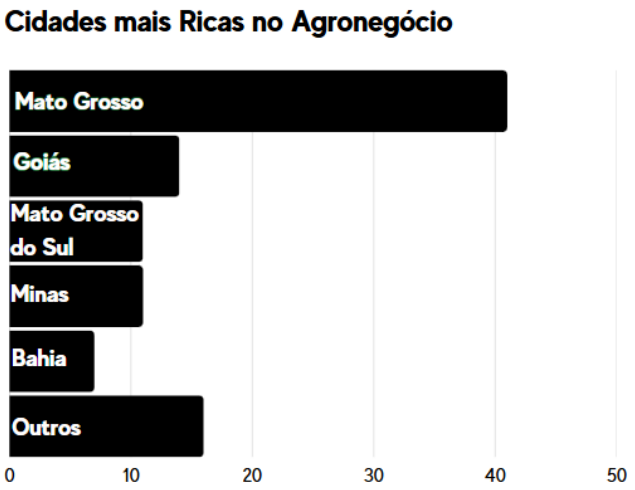
Em adição, a IA tem aumentado significativamente a produtividade dessas culturas, pois permite um gerenciamento mais preciso e eficiente. Além disso, tem ajudado a reduzir os custos de produção ao otimizar o uso de recursos como água, fertilizantes e pesticidas, favorecendo práticas agrícolas mais sustentáveis, reduzindo o impacto ambiental e aumentando a eficiência dos recursos naturais.

4.3.6 Cidades mais fortes no Agronegócio

A identificação das cidades onde o agronegócio é mais forte e tecnologicamente avançado forneceu uma visão geográfica das regiões líderes em inovação agrícola no Brasil. Este mapeamento é indispensável para compreender os centros de excelência e as áreas potenciais para futuras intervenções e investimentos em tecnologia.

Esta análise detalhada dos dados coletados pela Embrapa permite uma visão ampla e fundamentada das tendências atuais e futuras no uso da Inteligência Artificial na agricultura brasileira, auxiliando decisões estratégicas e inovações no setor.

Figura 19: Aplicação IA em culturas específicas.



Fonte: Autoral, (2024).

Mato Grosso tem se consolidado como um dos principais produtores agrícolas do Brasil, apresentando um crescimento econômico expressivo ao longo das últimas décadas. Entre 2002 e 2022, o estado registrou um aumento de 1.232% no Produto Interno Bruto (PIB), a maior variação percentual entre as unidades federativas do país. Apenas em 2022, o PIB estadual cresceu 10,4%, um ritmo significativamente superior à média nacional de 3,0% no mesmo período. Além disso, Mato Grosso avançou da 11ª para a 4ª posição no ranking de PIB per capita, evidenciando sua relevância econômica no cenário nacional (MATO GROSSO ECONÔMICO, 2024).

O agronegócio é a base econômica dessa expansão econômica, representando 56,6% do PIB estadual. A agropecuária não apenas aumentou a sua relevância local, como também aumentou a sua contribuição para a média nacional. Além da força econômica, há indicadores sociais positivos, como a taxa de desemprego de Mato Grosso, que foi a quarta menor entre as unidades federativas no último trimestre do ano, atingindo 3,5% menor do que a média dos países do G7, que atingiu 3,7% no mesmo período.

A produção de grãos é particularmente robusta, seis vezes maior do que vinte anos atrás. A produtividade das lavouras de Mato Grosso deve ser superada apenas por Santa Catarina e Distrito Federal em 2023. A soja, em particular, teve uma safra recorde, com uma grande parte destinada à exportação. As exportações de soja do estado, entre janeiro e maio de 2023, atingiram 17,295 milhões de toneladas, um aumento de 3% em relação ao mesmo período de 2021 e 35,28% do total de exportações brasileiras acumuladas em 2022, de acordo com a Secretaria de Comércio Exterior (Secex) do Ministério da Economia. A produção de milho também cresceu, especialmente quando comparada a outros grandes produtores, como a Argentina, os Estados Unidos e a Ucrânia. Isso não se limita à posição de Mato Grosso no agronegócio brasileiro, mas também à capacidade de se adaptar às novas tecnologias e à eficiência dos resultados através da implementação eficaz.

4.4 Análise da Relação de Dados

A Embrapa tem desempenhado um papel crucial em estudos na aplicação da Inteligência Artificial para a melhoria da sustentabilidade agrícola no Brasil, com foco em tecnologias para o uso eficiente de água e nutrientes. Este enfoque é menos encontrado em bases de dados internacionais, como o *Scopus* e a *Web of Science* (WoS), o que indica a singularidade da abordagem brasileira em relação à priorização da sustentabilidade no campo agrícola. Essa ênfase demonstra a relevância da sustentabilidade na agenda agrícola nacional, diferente de padrões globais, nos quais esses aspectos podem não ser tão importantes.

A comparação entre os dados da Embrapa e as bases de dados da *Scopus* e WoS revela uma consistência no reconhecimento de determinadas tecnologias de Inteligência Artificial. São predominantes os estudos sobre algoritmos de aprendizado de máquina, utilizados para prever eventos climáticos e doenças em plantas, visão computacional para monitoramento de culturas e sistemas de decisão automatizados que otimizam o uso de recursos. As tecnologias em questão são mencionadas de forma consistente nas três bases, evidenciando um consenso em relação às suas aplicações críticas no setor agrícola.

A metodologia comum entre essas bases é o uso de estudos de caso e análises comparativas para avaliar a eficiência das tecnologias de Inteligência Artificial. As técnicas de modelagem preditiva e simulação são amplamente exploradas, o que demonstra um interesse comum em antecipar os efeitos da Inteligência Artificial antes da sua adoção em larga escala. a integração da internet das coisas (IoT) com a Inteligência Artificial para criar sistemas agrícolas inteligentes e conectados, demonstra o potencial dessa combinação tanto nas publicações das bases *Scopus* e WoS quanto nos projetos aplicados da Embrapa, que buscam adaptar essas tecnologias às particularidades da agricultura brasileira.

Os desafios identificados incluem a necessidade de infraestrutura adequada para suportar as intensas demandas tecnológicas e as questões de privacidade e segurança dos dados agrícolas. Contudo, as oportunidades, como uma gestão de recursos mais eficaz e a promoção de práticas mais sustentáveis, são amplamente discutidas. Esta convergência de dados sinaliza uma correlação robusta entre avanços tecnológicos e a melhoria dos resultados agrícolas, com todas as bases destacando a IA como um catalisador para transformações no setor.

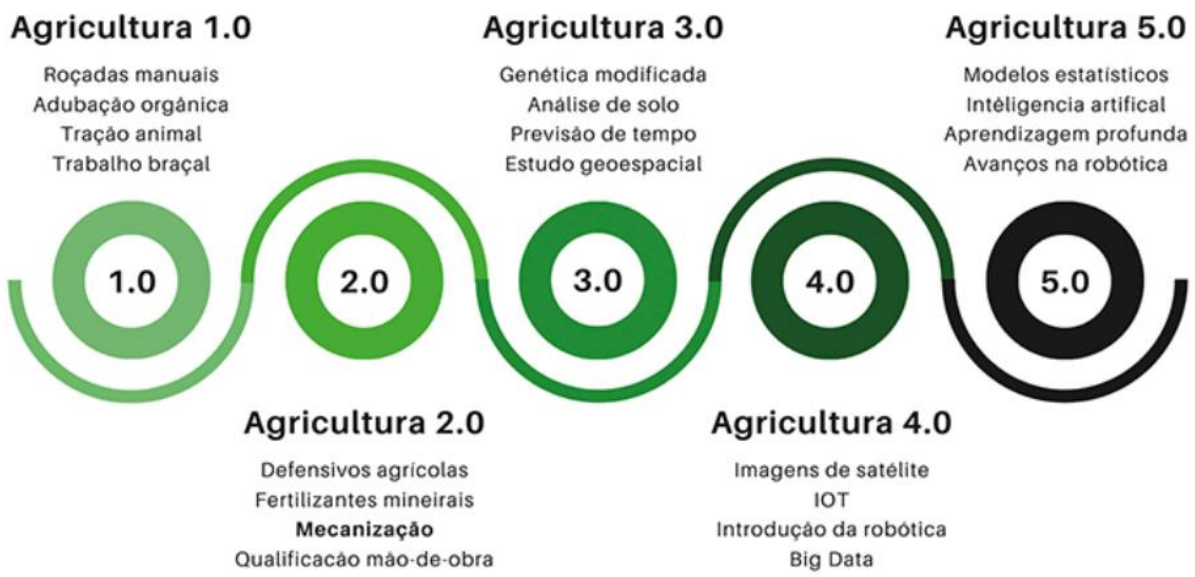
Essa análise relacional entre diferentes bases de dados permite uma compreensão mais profunda de como diversas regiões e comunidades científicas estão enfrentando os desafios e explorando as oportunidades que a tecnologia da informação apresenta ao agronegócio. Portanto, estudar os dados da Embrapa em conjunto com as bases indexadas não apenas fornece uma visão

sobre o estado atual da tecnologia e sua aplicação, mas também direciona futuras pesquisas e desenvolvimentos dentro do contexto do Agro 5.0.

4.4.1 Evolução da Agricultura

A modernização da agricultura tem sido consolidada através da introdução de tecnologias avançadas, com destaque para a digitalização e automação dos processos agrícolas. A introdução de sistemas inteligentes e autônomos no campo está aumentando a eficiência desde o plantio até a colheita, permitindo uma gestão mais eficiente dos recursos e uma redução significativa dos custos operacionais. Esta alteração não apenas aumenta a produtividade e a sustentabilidade das práticas agrícolas, como também responde aos crescentes desafios impostos pelas mudanças climáticas e pelo aumento da demanda global por alimentos (Revista Cultivar, 2021). A Figura 20 mostra a evolução da agricultura ao longo dos anos.

Figura 20: Evolução da Agricultura.



Fonte: Revista Cultivar, (2020).

A evolução do agronegócio, que se manifesta na transição do Agro 1.0 para o Agro 5.0, é resultado do crescente uso de tecnologias digitais e inovações que transformam as práticas agrícolas tradicionais em sistemas inteligentes, eficientes e sustentáveis. O Agro 1.0, característico do início do século 20, era marcado por métodos manuais e ferramentas básicas. A produção era principalmente destinada à subsistência, havendo poucos excedentes locais. Com a Revolução Industrial, foram introduzidos equipamentos e técnicas avançadas, resultando em um aumento significativo da produtividade e eficiência agrícola.

A agricultura de precisão emergiu entre as décadas de 80 e 90, com a incorporação de tecnologias como GPS e sensores, visando aprimorar a utilização dos recursos e elevar a produtividade agrícola. Esses primeiros passos marcaram o início da utilização de dados para embasar decisões agrícolas em grande escala.

A convergência da agricultura com a tecnologia digital é conhecida como Agro 4.0. Essa nova fase é marcada pelo uso da internet das coisas (IoT), da robótica e da análise avançada de dados. Através da computação em nuvem e da *big data*, é possível armazenar e processar grandes quantidades de informações agrícolas, o que facilita a análise complexa e otimiza processos, promovendo assim a produção sustentável. A Inteligência Artificial também desempenha um papel fundamental, principalmente através do aprendizado de máquina para prever condições meteorológicas, detectar doenças nas plantas e automatizar tarefas.

O Agro 5.0, por sua vez, é caracterizado pela completa integração da Inteligência Artificial, utilizando robôs autônomos, sistemas de inteligência que aprendem e se adaptam sem intervenção humana, e o uso de gêmeos digitais para simular e otimizar operações agrícolas. Essa fase não envolve apenas a automação, mas também a personalização da produção agrícola para atender às exigências específicas de sustentabilidade e eficiência.

A transição para o Agro 5.0 também evidencia o crescente compromisso com a sustentabilidade, em que as práticas agrícolas são ajustadas em tempo real para minimizar os impactos ambientais, como o uso de recursos naturais e a emissão de dióxido de carbono. A evolução do Agro 1.0 para o Agro 5.0 revela a transformação dos métodos agrícolas tradicionais em sistemas altamente integrados e baseados em tecnologia, sendo a Inteligência Artificial uma força transformadora essencial que impulsiona a eficiência, a sustentabilidade e a produtividade no setor agrícola global.

4.4.2 Análises

A Embrapa, conhecida por sua liderança em pesquisa agrícola no Brasil, tem se concentrado no desenvolvimento de tecnologias, explorando formas de Inteligência Artificial.

Brini (2023), em seu estudo sobre a implantação da agricultura digital, afirma que a integração de IoT com IA está criando sistemas agrícolas inteligentes que não apenas aumentam a produtividade, mas também garantem práticas agrícolas mais sustentáveis. Essa sinergia entre IoT e IA é crucial para desenvolver soluções que respondam às especificidades da agricultura em diferentes regiões, especialmente em países com grande variedade agrícola, como o Brasil.

Em suma, o cenário atual da Inteligência Artificial na agricultura é caracterizado pelo consenso sobre o potencial das tecnologias emergentes para revolucionar o setor. A colaboração entre diferentes entidades e a adaptação das tecnologias às necessidades locais são essenciais para

maximizar os benefícios da IA na agricultura, como demonstram os estudos das bases de dados analisadas e as iniciativas da Embrapa. A partir de alguns artigos extraídos dessas bases de dados, foi possível selecionar algumas IA mais presentes no Agro.

Essas informações fornecem uma visão ampla de como as tecnologias emergentes podem ser aplicadas no contexto do Agro 5.0 para resolver problemas específicos e trazer benefícios práticos para o setor agrícola. A aplicação adequada dessas tecnologias depende da disponibilidade de dados precisos, da infraestrutura tecnológica e da capacitação dos usuários finais.

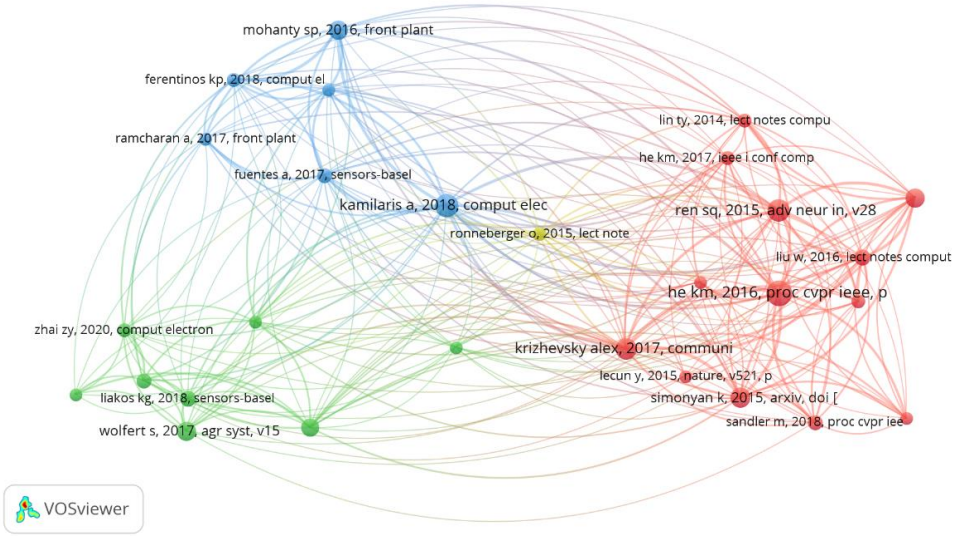
4.5 Detalhamento, Modelo Integrador e Validação por Evidências

A co-citação e o acoplamento bibliográfico desempenham um papel fundamental na representação da estrutura do conhecimento em uma área específica, bem como no estabelecimento de conexões entre diferentes estudos e autores. Essas técnicas possibilitam uma análise aprofundada das dinâmicas e tendências da pesquisa, revelando a interligação entre os trabalhos e as influências teóricas predominantes. De acordo com Zhao (2022), tais análises são essenciais para compreender a evolução dos temas de pesquisa e identificar os principais agentes de progresso tecnológico, como pode ser observado no campo da agricultura.

4.5.1 Co-citação

A análise de co-citação, apresenta um *overview* de como os documentos são frequentemente citados em conjunto, onde a base do WoS revelou quatro grupos principais, cada um representando uma área específica de pesquisa e autores influentes, como mostra a Figura 21.

Figura 21: Mapa de co-citações - WoS.



Fonte: Autoral, adaptado *VOSviewer*, (2025).

O *Cluster* 1, em vermelho na Figura 21, apresenta uma relação de temas ligados as redes neurais e *deep learning* para a agricultura de precisão. Este grupo é composto por estudos que utilizam técnicas avançadas de aprendizado de máquina para detectar doenças em plantas e otimizar a produção agrícola. Os autores Ren (2015) e He (2016) são fundamentais neste grupo. Liu (2016) ressalta a relevância da análise de grandes volumes de dados agrícolas através de redes neurais profundas para prever padrões climáticos e auxiliar na tomada de decisões agronômicas. Este grupo enfatiza como o aprendizado de máquinas pode melhorar significativamente a precisão e eficiência na agricultura.

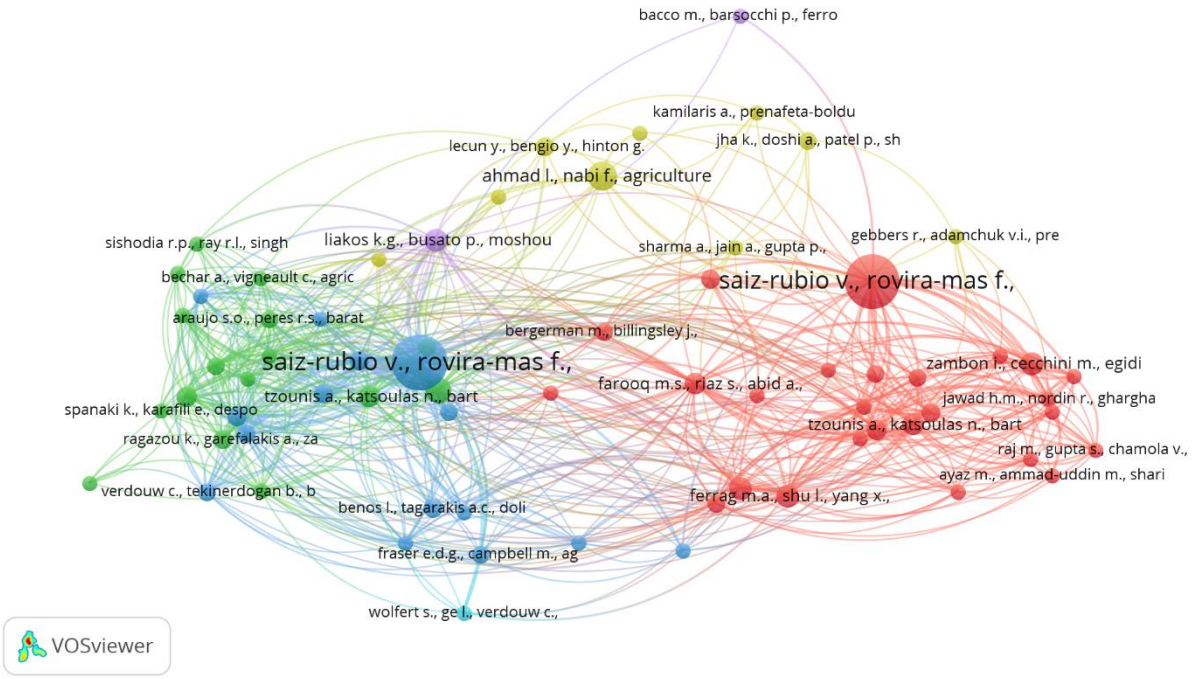
O *Cluster* 2, em azul, são de temas relacionados as tecnologias de inteligência e sensores inteligentes. Inclui pesquisas focadas na aplicação da Internet das Coisas (IoT) no monitoramento e gestão de cultivos agrícolas em tempo real. Nomes como Kamilis (2018) e Ferentinos (2018) são destacados neste grupo. A integração de sensores de Inteligência Artificial com algoritmos de Inteligência Artificial torna possível a coleta contínua de dados, o que é crucial para a automação e o aumento da produtividade. Este grupo enfatiza a relevância da IoT na criação de sistemas agrícolas inteligentes que monitoram as condições ambientais e de cultivo.

O *Cluster* 3, em verde, é voltado para a sustentabilidade e práticas agrícolas eficazes. Este grupo discute a implementação de práticas sustentáveis no agronegócio, utilizando tecnologias de Inteligência Artificial para otimizar o uso de recursos naturais, como água e nutrientes. Os autores Wolfert (2017) e Zhai (2020) são destacados. A pesquisa de Zhai (2020) enfatiza a necessidade de práticas agrícolas que reduzam o impacto ambiental, ao mesmo tempo em que aumentam a eficiência e produtividade. Este grupo tem como foco a sustentabilidade a longo prazo, integrando soluções tecnológicas que promovem a preservação dos recursos naturais.

O *Cluster* 4, em amarelo, pode ser relacionado a temas de análise de dados e previsões climáticas. Este grupo de estudos utiliza modelos preditivos e análises de *big data* para prever condições climáticas desfavoráveis e otimizar as práticas agrícolas. Os autores Krizhevsky (2017) e Lecun (2015) são importantes. Zhao (2022b) ressalta a relevância de analisar grandes quantidades de dados para elaborar modelos preditivos que auxiliem na tomada de decisões estratégicas no campo. Este grupo tem o objetivo de compreender como as condições climáticas interferem na agricultura e como a Inteligência Artificial pode contribuir para a redução desses efeitos.

Além disso, a análise de co-citação da base *Scopus* também foi realizada, mostrando que os documentos são frequentemente citados juntos, o que indica que os trabalhos estão relacionados ou são complementares em suas temáticas. O mapa de co-citações apresenta seis grupos principais, como mostra a Figura 22, cada um representando uma área específica de estudo e os principais autores influentes.

Figura 22: Mapa de co-citações - *Scopus*.



Fonte: Autoral, adaptado *VOSviewer*, (2025).

O *Cluster* 1, identificado pela cor vermelha na Figura 22, tem como foco principal as Tecnologias de Inteligência e a Agricultura de Precisão. Este grupo de autores inclui autores como Saiz-Rubio, V. e Rovira-Mas, F., que são frequentemente mencionados devido às suas contribuições relevantes no desenvolvimento de soluções tecnológicas que melhoram a precisão e eficiência na agricultura. Os trabalhos neste grupo se concentram em algoritmos de machine learning para otimizar práticas agrícolas, identificar doenças em plantas e utilizar recursos de forma eficiente. A pesquisa realizada neste grupo é crucial para o progresso da agricultura de precisão, permitindo maior controle e previsibilidade nas operações agrícolas.

O *Cluster* 2, identificado pela cor azul, destaca a Internet das Coisas e Sistemas de Monitoramento Inteligente, com os autores principais Verdouw, C. e Tekinerdogan, B. O grupo é conhecido por suas pesquisas em Internet das Coisas (IoT) e sistemas de monitoramento inteligentes aplicados ao agronegócio. As contribuições desses autores são frequentemente citadas, o que indica uma forte ligação entre as suas pesquisas em relação ao desenvolvimento de redes de sensores e sistemas de monitoramento que permitem a coleta de dados em tempo real. Esses sistemas tornam as decisões mais acertadas e eficientes, permitindo uma gestão mais precisa dos recursos e uma resposta mais rápida às condições ambientais variáveis.

O *Cluster* 3, caracterizado pela cor verde, tem como foco a Sustentabilidade e Práticas Agrícolas Eficientes. Este grupo inclui autores como Liakos, K.G. e Busato, P. Esses autores são frequentemente mencionados devido às suas pesquisas que utilizam tecnologias de Inteligência

Artificial e Inteligência Artificial para otimizar o uso de água e nutrientes, reduzindo o impacto ambiental. A sustentabilidade no agronegócio é um tema crucial e este grupo contribui significativamente para o desenvolvimento de práticas que garantem a preservação dos recursos naturais para as gerações futuras. As pesquisas deste grupo se concentram nas práticas agrícolas que promovem a eficiência e a sustentabilidade a longo prazo.

O *Cluster* 4, identificado pela cor amarela, é dedicado às Ferramentas de Análise de Dados e *Big data*. Este grupo inclui autores como Ahmad, I. e Nabi, F. Esses autores são reconhecidos pelas contribuições em métodos de análise de dados e *big data* aplicados à agricultura. Os estudos neste grupo utilizam grandes quantidades de dados para criar modelos preditivos e ferramentas de análise que auxiliam na tomada de decisões estratégicas no campo. As citações frequentes desses autores demonstram a relevância e a interconectividade de seus trabalhos na criação de soluções de *big data* para o agronegócio. A análise de grandes quantidades de dados permite identificar padrões e tendências relevantes para a melhoria da eficiência e produtividade agrícola.

O *Cluster* 5, caracterizado pela cor roxa, aborda a aplicação de Automação e Robótica na agricultura. Este grupo inclui autores como Bacco, M. e Barsocchi, P. Esses autores são frequentemente citados devido às suas pesquisas sobre o desenvolvimento de robôs agrícolas e sistemas automatizados que aumentam a eficiência e reduzem a necessidade de mão-de-obra. As pesquisas neste grupo se concentram na automação de tarefas agrícolas, tais como plantio, colheita e monitoramento de culturas, contribuindo para a modernização e eficiência operacional do agronegócio.

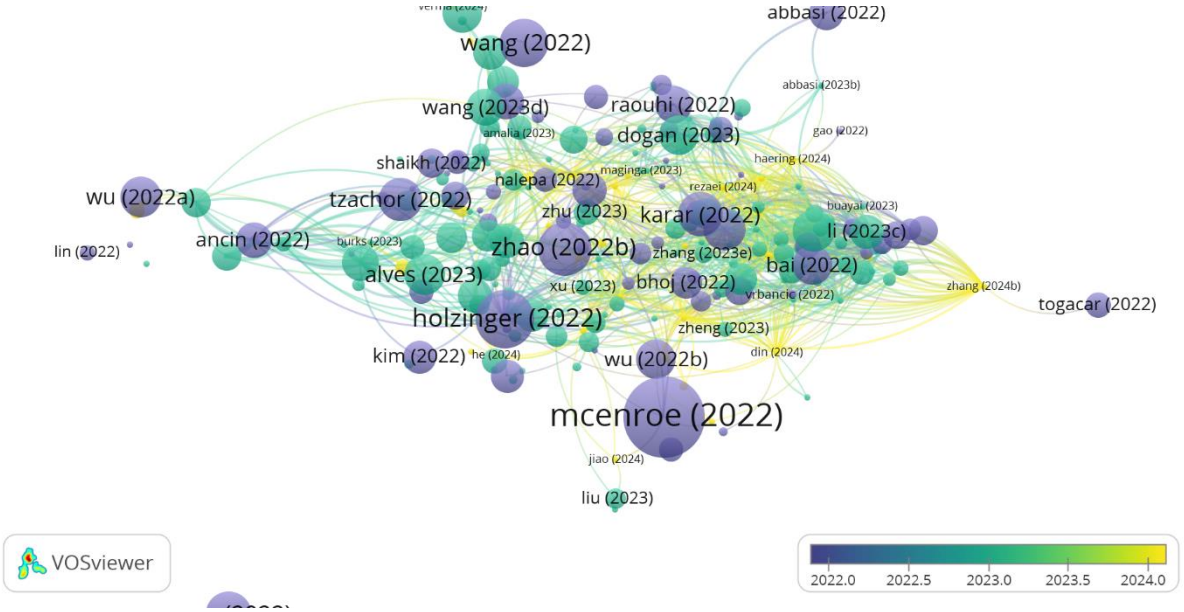
O *Cluster* 6, identificado pela cor laranja, foca na Visão Computacional e no Sensoriamento Remoto. Este grupo inclui autores como Lecun, Y. e Bengio, Y. Esses autores são frequentemente mencionados por suas contribuições relevantes em visão computacional e sensoriamento remoto aplicados à agricultura. As pesquisas deste grupo utilizam técnicas avançadas de processamento de imagens e análise de dados sensoriais para monitorar a saúde das plantas, identificar pragas e doenças e otimizar as práticas de manejo agrícola. A aplicação dessas tecnologias torna possível uma gestão mais precisa e eficiente das culturas, o que aumenta a produtividade e reduz o consumo de recursos.

4.5.2 Acoplamento Bibliográfico

A análise de acoplamento bibliográfico foi realizada para identificar a ligação entre documentos com base nas referências bibliográficas que compartilham, com o objetivo de mostrar os fronts de pesquisa. Essa técnica é útil para identificar a base teórica comum entre os estudos recentes e compreender como as pesquisas estão interligadas. O mapa de acoplamento

bibliográfico revelou uma variedade de *clusters* distintos, cada um representando uma área específica de pesquisa. Sendo assim, na base do WoS, forma encontrados três *clusters*, como mostra a Figura 23.

Figura 23: Mapa de *coupling* - WoS.



Fonte: Autoral, adaptado *VOSviewer*, (2025).

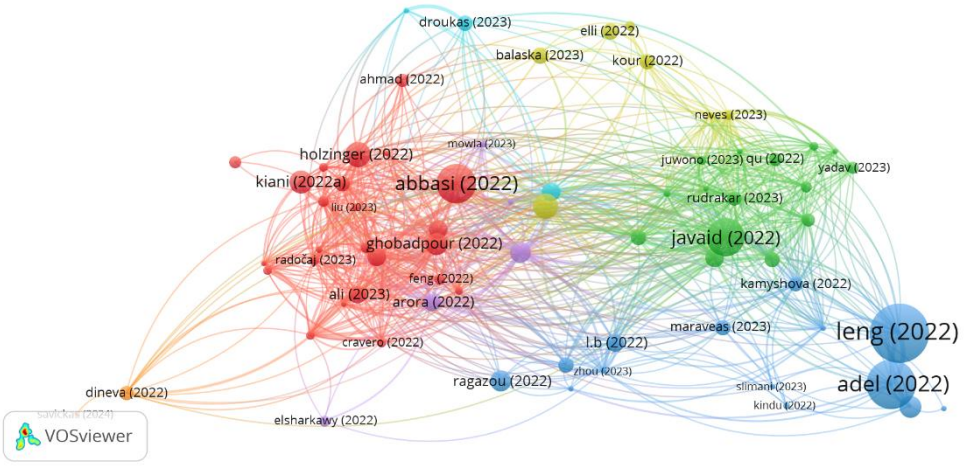
O *Cluster* 1, em roxo, na Figura 23, é composto por documentos de autores como Wu (2022a) e McEnroe (2022), que se concentram na *machine learning* e sua aplicação na agricultura de precisão. Estes documentos reúnem referências que discutem técnicas de aprendizado profundo e a sua eficácia na melhoria da produtividade agrícola. Wu (2022a), por exemplo, analisa como algoritmos de *machine learning* podem ser aplicados para prever rendimentos de colheitas com grande precisão.

O *Cluster* 2 de estudos, em verde, abrange estudos sobre análise de dados e predições climáticas, com autores como Zhao (2022b) e Bai (2022b) sendo o principal autor. Este grupo compartilha informações sobre modelos preditivos e análises de *big data* para prever eventos climáticos adversos e otimizar as práticas agrícolas. Zhao (2022b) ressalta a relevância de analisar grandes quantidades de dados para elaborar modelos preditivos que auxiliem na tomada de decisões estratégicas no campo.

O *Cluster* 3, em amarelo, trata da integração de tecnologias de IoT e IA, com nomes como Karar (2022) e Tzachor (2022) sendo referências. Este grupo compartilha referências que discutem como a Inteligência Artificial pode ser combinada com algoritmos de Inteligência Artificial para criar sistemas agrícolas inteligentes e conectados. A pesquisa de Karar (2022) enfatiza a automação e o acompanhamento em tempo real de cultivos agrícolas, o que torna a gestão mais eficiente e sustentável dos recursos.

O mapa de acoplamento bibliográfico da *Scopus* apresenta sete *clusters* principais, cada um representando uma área específica de pesquisa e os principais autores relevantes, como mostra a Figura 24.

Figura 24: Mapa de *coupling* - *Scopus*.



Fonte: Autoral, adaptado *VOSviewer*, (2025).

O *Cluster* 1, identificado pela cor vermelha, na Figura 24, tem como foco principal as tecnologias de inteligência e a agricultura de precisão. Esse grupo de autores inclui nomes como Abbasi (2022), Ghobadpour (2022), Kiani (2022a) e Holzinger (2022). Esses autores são frequentemente citados devido às suas contribuições relevantes para o desenvolvimento de soluções tecnológicas que melhoram a precisão e eficiência na agricultura. Os trabalhos neste grupo se concentram em algoritmos de *machine learning* para otimizar práticas agrícolas, identificar doenças em plantas e otimizar o uso de recursos naturais. A pesquisa neste grupo é crucial para o progresso da agricultura de precisão, permitindo um melhor controle e previsibilidade das operações agrícolas.

O *Cluster* 2, identificado pela cor azul, destaca IoT e sistemas de monitoramento inteligente, com os autores principais Leng (2022), Adel (2022) e Ragazou (2022). Este grupo é conhecido pelas suas pesquisas sobre a Internet das Coisas (IoT) e sistemas de monitoramento inteligentes aplicados ao agronegócio. Leng e Adel estão frequentemente relacionados, o que sugere uma forte ligação entre suas pesquisas em relação ao desenvolvimento de redes de sensores e sistemas de monitoramento que permitem a coleta de dados em tempo real. Esses sistemas tornam possível uma tomada de decisão mais informada e eficiente. A utilização de IoT na agricultura torna a gestão mais precisa dos recursos e a resposta mais rápida às condições ambientais variáveis.

O *Cluster* 3, caracterizado pela cor verde, tem como foco a sustentabilidade e práticas agrícolas eficientes. Esse grupo de autores inclui nomes como Javaid (2022), Yadav (2023) e Neves (2023). Os autores são frequentemente citados devido às suas pesquisas que combinam tecnologias de Inteligência Artificial e Inteligência Artificial para otimizar o uso de água e nutrientes, reduzindo o impacto ambiental. A sustentabilidade no agronegócio é um tema crucial e este grupo contribui significativamente para o desenvolvimento de práticas que garantem a preservação dos recursos naturais para as gerações futuras. As pesquisas deste grupo se concentram nas práticas agrícolas que promovem a eficiência e a sustentabilidade a longo prazo.

O *Cluster* 4, identificado pela cor amarela, é dedicado às ferramentas de análise de dados e *big data*. Esse grupo de autores inclui Elli (2022), Balaska (2023) e Kour (2022). Esses autores são conhecidos pelos seus métodos de análise de dados e *big data* aplicados à agricultura. Os estudos neste grupo utilizam grandes quantidades de dados para criar modelos preditivos e ferramentas de análise que auxiliam na tomada de decisões estratégicas no campo. As citações frequentes desses autores demonstram a relevância e interconectividade dos seus trabalhos na criação de soluções de *big data* para o setor agronegócio. A análise de grandes volumes de dados permite identificar padrões e tendências que são fundamentais para aumentar a eficiência e a produtividade agrícola.

O *Cluster* 5, caracterizado pela cor roxa, trata da aplicação de automação e robótica na agricultura. Esta categoria de autores inclui nomes como Maraveas (2023) e Kamyshova (2022). Esses autores são frequentemente citados juntos devido às suas pesquisas sobre o desenvolvimento de robôs agrícolas e sistemas automatizados que aumentam a produtividade e reduzem a necessidade de mão-de-obra. As pesquisas neste grupo se concentram na automação de tarefas agrícolas, como plantio, colheita e acompanhamento de culturas, o que contribui para a modernização e eficiência operacional do agronegócio.

O *Cluster* 6, identificado pela cor ciano, reúne estudos que usam Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Sensoriamento Remoto para monitorar e analisar dados agrícolas. Os autores Droukas (2023) e Ragazou (2022) são reconhecidos por suas pesquisas sobre a utilização de SIG e drones para coletar dados geoespaciais e melhorar a gestão de terras agrícolas. A tecnologia SIG permite o mapeamento detalhado de áreas cultivadas, enquanto o sensoriamento remoto proporciona uma visão ampla e precisa das condições agrícolas em tempo real.

O *Cluster* 7, identificado pela cor laranja, se concentra na aplicação de *blockchain* para rastrear produtos agrícolas e garantir a segurança alimentar. Este *cluster* inclui autores como Dineva (2022) e Savickas (2024). Estes autores são frequentemente citados juntos devido às suas contribuições sobre como a tecnologia *blockchain* pode ser usada para garantir a transparência e a confiança na cadeia de suprimentos agrícolas. As pesquisas deste grupo mostram como pode ser

aplicada para registrar e verificar todas as etapas da produção agrícola, desde a fazenda até a mesa do consumidor, aumentando a segurança e a rastreabilidade dos produtos.

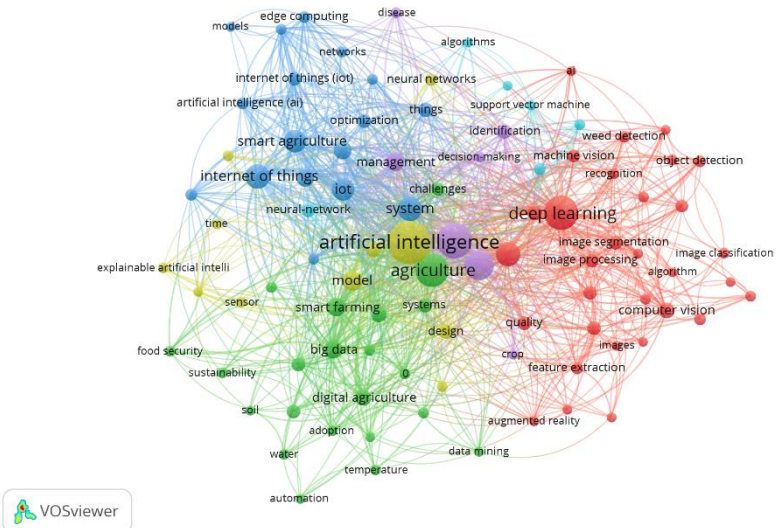
Essa análise de acoplamento bibliográfico mostra uma clara divisão de temas e áreas de pesquisa, com autores se agrupando de acordo com suas contribuições específicas para o campo do Agro 5.0 e IA. Cada *cluster* representa um conjunto de estudos interligados que abordam aspectos diferentes da aplicação de tecnologias avançadas no agronegócio, desde a precisão na agricultura até a sustentabilidade e análise de dados em grande escala. Esta visualização ajuda a entender melhor a estrutura do campo de pesquisa e a identificar os principais influenciadores e tendências emergentes.

4.5.3 Outras análises

Além das análises de co-citação e acoplamento bibliográfico, foram utilizadas outras técnicas para fornecer uma visão geral do campo. Com isso, foi analisado a co-ocorrência das palavras-chaves encontradas por meio das buscas. Essa análise das palavras-chave permite mostrar termos, que indicam os principais focos das pesquisas.

A análise de co-ocorrência contribui para uma compreensão aprofundada por meio palavras-chave reportadas das bases de dados analisadas, destacando tendências e prioridades na investigação do agro 5.0 e suas aplicações. Sendo assim, foram levantados a co-ocorrência das duas bases de dados separadamente, e ao final feiro uma análise em conjunto.

Figura 25: Co-ocorrência Palavras-Chaves WoS.



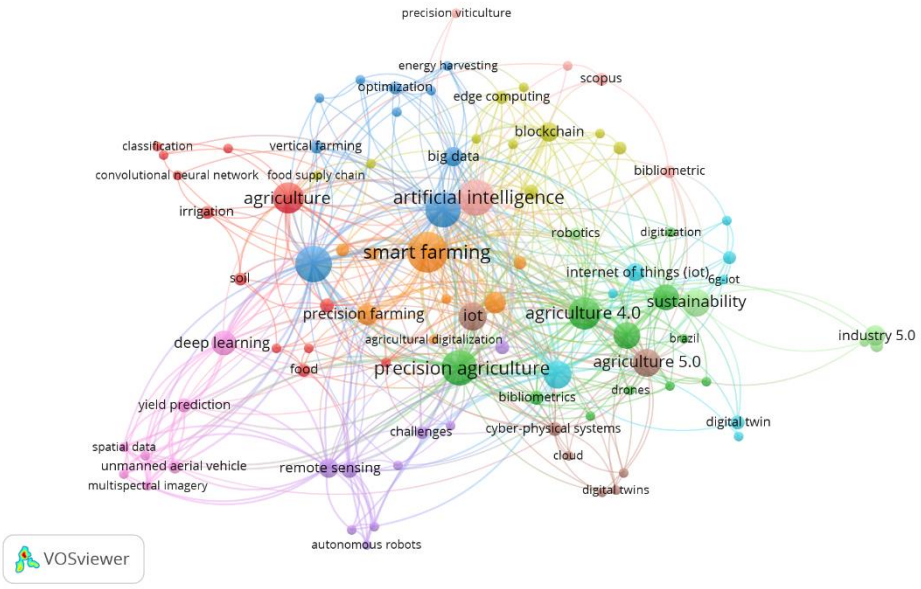
Fonte: Autoral, adaptado *VOSviewer*, (2025).

A primeira análise, Figura 25, revela que as palavras-chave "Inteligência Artificial", *"deep learning"*, *"agriculture"*, *"internet of things"* (IoT) e *"smart agriculture"* apresentam maior ênfase.

A Inteligência Artificial é o pivô de tudo e está associada aos demais temas, o que revela sua aplicação generalizada e central em inovações tecnológicas agrícolas.

Quando se analisa, “*deep learning”* é possível ver a relação a palavras como à "segmentação de imagens", "visão computacional" e "processamento de imagens", mostrando a sua relação e importância na análise de dados visuais. A palavra "agricultura" pode ser associada a "agricultura digital", "agricultura inteligente" e "sustentabilidade", que ressaltam uma abordagem integrada que combina tecnologia e práticas sustentáveis. A Inteligência Artificial está ligada diretamente a "agricultura inteligente", à "computação de ponta" e à "mineração de dados", enfatizando a relevância de se conectar e coletar dados em tempo real para otimizar os processos agrícolas. A "agricultura inteligente" pertence a mesma ligação das palavras-chaves "sustentabilidade", "agricultura de precisão" e "IoT", enfatizando a integração de tecnologias para aumentar a eficiência e a sustentabilidade.

Figura 26: Co-ocorrência Palavras-Chaves *Scopus*.



Fonte: Autoral, adaptado *VOSviewer*, (2025).

No segundo gráfico, Figura 26, a Inteligência Artificial permanece centralizada, conectada às *"precision agriculture"*, *"smart farming"*, "IoT" e *"big data"*. A "agricultura inteligente" está ligada à "agricultura de precisão", "agricultura 4.0" e "Agricultura 5.0", refletindo a evolução tecnológica no setor agrícola. A agricultura de precisão está relacionada à "viticultura de precisão", aos "gêmeos digitais" e ao "sensoriamento remoto", o que significa o uso de tecnologias avançadas para melhorar a precisão das operações agrícolas. Os termos "agricultura 4.0" e "Agricultura 5.0" representam a utilização de tecnologias de ponta para transformar a agricultura, conectando-a à "sustentabilidade", à "IoT" e à *"big data"*.

A "sustentabilidade" é um tema recorrente, associado às inovações tecnológicas, como "agricultura 4.0" e "Agricultura 5.0", o que demonstra um foco em práticas agrícolas que aumentam a produtividade e são eco econômicos e ecologicamente responsáveis. O termo "aprendizado profundo" está relacionado à "previsão de rendimento", "sensoriamento remoto" e "robôs autônomos", destacando sua importância na automação e na análise de grandes volumes de dados.

A comparação entre as palavras-chave e suas relações nos dois gráficos demonstra uma forte ligação entre tecnologias avançadas e suas aplicações na agricultura. A centralidade da IA, agricultura inteligente, agricultura de precisão e sustentabilidade destaca a direção da pesquisa atual e futura no campo agrícola. A presença significativa da IA em ambos os gráficos indica sua integração crucial em várias disciplinas, mostrando a importância dessas tecnologias em resolver problemas complexos e promover inovações sustentáveis. Além disso, a ênfase na agricultura inteligente e de precisão reflete a aplicação de tecnologias avançadas para melhorar a eficiência e a sustentabilidade das práticas agrícolas.

Sendo assim, a análise combinada das duas bases de dados ilustra claramente a importância crescente da tecnologia na agricultura. A integração de IA, IoT e outras tecnologias avançadas com disciplinas tradicionais é essencial para enfrentar desafios globais e promover inovações sustentáveis. Essas palavras-chave indicam uma tendência crescente em usar tecnologias inovadoras para aumentar a eficiência, promover a sustentabilidade e transformar as práticas agrícolas tradicionais em sistemas inteligentes e altamente produtivos.

4.5.4 Modelo Integrador

Para elaborar um modelo integrador e confirmar por evidências a aplicação da IA no Agro 5.0, foram considerados diversos aspectos críticos. O modelo identifica tecnologias emergentes, como *machine learning*, Inteligência Artificial e redes neurais, e suas aplicações práticas no setor agrícola. A inter-relação de grandes quantidades de dados é crucial para alimentar modelos preditivos que auxiliem na tomada de decisões agronômicas. Além disso, a sustentabilidade é uma preocupação, com práticas que otimizam o uso de recursos naturais, monitoramento em tempo real e análise preditiva.

A implementação de um sistema de monitoramento de culturas utilizando drones equipados com sensores de imagem e algoritmos de Inteligência Artificial para a detecção precoce de doenças. Isso implica em intervenções mais precisas e redução de custos. A validação foi baseada em estudos de caso e análises comparativas dos resultados antes e depois da

implementação das tecnologias de Inteligência Artificial, demonstrando melhorias significativas em produtividade e sustentabilidade.

Este modelo integrador, fundamentado em uma análise aprofundada das evidências disponíveis, oferece uma visão abrangente de como a Inteligência Artificial pode transformar o setor agrícola. O modelo promove progressos significativos em eficiência e sustentabilidade, enfatizando a relevância da tecnologia para lidar com os desafios do agronegócio moderno, assegurando práticas mais responsáveis e produtivas. A seguir, estão listadas as principais tecnologias de Inteligência Artificial e os benefícios da integração dessas tecnologias.

Quadro 2: Principais IA implementadas.

TIPO DE TECNOLOGIA	APLICAÇÃO	BENEFÍCIOS	REQUISITOS PARA IMPLEMENTAÇÃO	DESAFIOS
Redes Neurais e Deep Learning	Detecção de doenças em plantas e otimização da produção agrícola.	Aumento da precisão e eficiência na agricultura.	Infraestrutura de TI robusta e treinamento especializado.	Alto custo, infraestrutura avançada e necessidade de capacitação.
IoT e Sensores Inteligentes	Monitoramento e gestão de cultivos em tempo real.	Contribui para a gestão otimizada de culturas, detecção de doenças e previsão de rendimento.	Sensores IoT e conectividade confiável.	Conectividade limitada, custo elevado e segurança dos dados.
PRÁTICAS AGRÍCOLAS SUSTENTÁVEIS	Uso eficiente de recursos como água e nutrientes.	Sustentabilidade a longo prazo e conservação de recursos naturais.	Tecnologias de IA, práticas de conservação.	Investimento alto e resistência à mudança.
ANÁLISE DE DADOS E PREDIÇÕES CLIMÁTICAS	Previsão de condições climáticas adversas.	Otimização de práticas agrícolas com base em previsões precisas.	Dados climáticos históricos e modelos preditivos.	Infraestrutura robusta e profissionais qualificados.
SISTEMAS DE GESTÃO DE FAZENDAS (ERP - ENTERPRISE RESOURCE PLANNING)	Planejamento detalhado das atividades agrícolas, centralização da gestão financeira, monitoramento e gerenciamento dos níveis de estoque de insumos agrícolas, relatórios detalhados e análises avançadas.	Aumento da eficiência operacional, decisões informadas e gerenciamento eficiente.	*Software* ERP e integração com outras tecnologias.	Complexidade de integração e necessidade de treinamento.

Continua

TIPO DE TECNOLOGIA	APLICAÇÃO	BENEFÍCIOS	REQUISITOS PARA IMPLEMENTAÇÃO	DESAFIOS
SISTEMAS DE GESTÃO DE FAZENDAS (ERP - ENTERPRISE RESOURCE PLANNING)	Planejamento detalhado das atividades agrícolas, centralização da gestão financeira, monitoramento e gerenciamento dos níveis de estoque de insumos agrícolas, relatórios detalhados e análises avançadas.	Aumento da eficiência operacional, decisões informadas e gerenciamento eficiente.	*Software* ERP e integração com outras tecnologias.	Complexidade de integração e necessidade de treinamento.
MAPAS DE RENDIMENTO	Visualização de variações de rendimento nas colheitas.	Identificação de áreas de baixa produtividade e otimização de práticas.	Sensores de rendimento e *software* de mapeamento.	Sensores precisos, *software* especializado e análise técnica.
SISTEMAS DE SUPORTE À DECISÃO (DSS)	Análise de dados para gerar *insights* acionáveis.	Aumento da produtividade, redução de custos, sustentabilidade ambiental e qualidade e segurança alimentar	Infraestrutura de conectividade robusta, capacitação técnica e infraestrutura de dados.	Dependência da qualidade dos dados e treinamento.
APLICAÇÕES DE TAXA VARIÁVEL (VRT)	Aplicação otimizada de sementes, fertilizantes, pesticidas e irrigação.	Redução de desperdícios e aumento da produtividade.	Equipamentos de aplicação variável e sistemas de controle.	Equipamentos caros e conhecimento técnico específico.
DRONES E SENSORES DE IMAGEM	Monitoramento aéreo e análise de saúde das plantas.	Detecção precoce de problemas e monitoramento eficiente.	Drones, sensores de alta resolução e *software* de análise.	Regulamentação, custos e operação complexa.
ROBÓTICA E AUTOMAÇÃO	Automatização de tarefas agrícolas como plantio e colheita.	Redução de mão-de-obra e aumento da eficiência operacional.	Robôs especializados e infraestrutura adequada.	Alto custo e impacto na mão de obra.
BLOCKCHAIN	Rastreabilidade de produtos agrícolas e segurança alimentar.	Transparência e confiança na cadeia de suprimentos.	Plataformas de *blockchain* e integração com sistemas existentes.	Infraestrutura digital e resistência do setor.
VISÃO COMPUTACIONAL	Identificação de pragas e doenças através de análise de imagens.	Detecção rápida e precisa de problemas, aumentando a segurança.	Câmeras de alta resolução e algoritmos de visão computacional.	Necessidade de câmeras e processamento avançado.
MODELAGEM E SIMULAÇÃO	Simulação de cenários agrícolas para planejamento estratégico.	Planejamento eficiente e redução de riscos.	Modelos de simulação, dados históricos e de previsão.	Dados históricos amplos e validação complexa.

Continua

TIPO DE TECNOLOGIA	APLICAÇÃO	BENEFÍCIOS	REQUISITOS PARA IMPLEMENTAÇÃO	DESAFIOS
BIG DATA	Análise de grandes volumes de dados para tomar decisões informadas.	Os diagnósticos contribuem para a agricultura de precisão, alocação eficiente de recursos e gestão aprimorada de riscos.	Plataformas de *big data*, capacidades de análise avançada.	Infraestrutura avançada e especialistas em análise de dados.
AUTOMAÇÃO DE IRRIGAÇÃO	Controle automatizado de sistemas de irrigação.	Uso eficiente da água e aumento da produtividade.	Sistemas de controle automatizado, sensores de umidade.	Alto custo inicial, dependência de sensores e conectividade.
TECNOLOGIA DE BIOMETRIA	Identificação de estresse e bem-estar animal.	Monitoramento da saúde animal e aumento do bem-estar.	Sensores biométricos, *software* de análise de dados.	Precisão dos sensores, altos custos e necessidade de análise de dados.
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)	Mapeamento e análise de dados geoespaciais.	Aumento da produtividade, redução de custos, sustentabilidade ambiental, mitigação de riscos e tomada de decisões informada	Infraestrutura tecnológica, capacitação técnica, conectividade e acesso a dados geoespaciais.	Infraestrutura cara, necessidade de treinamento e integração de dados.
AGRICULTURA DE PRECISÃO	Uso de GPS, sensoriamento remoto e análise de dados para criar mapas precisos das características e variabilidades das culturas.	Alocação otimizada de recursos e aumento da produtividade.	Infraestrutura tecnológica, investimento em equipamentos, capacitação e treinamento e parcerias e colaborações.	Investimento alto, necessidade de capacitação e adaptação tecnológica.
BIOTECNOLOGIA	Desenvolver plantas e microrganismos com características desejáveis que melhoram a eficiência e sustentabilidade da produção agrícola.	Aumentar a produtividade e a sustentabilidade na agricultura.	Investimento em pesquisa e desenvolvimento, regulamentação e aprovação, infraestrutura de laboratório e capacitação técnica.	Barreiras regulatórias, custos elevados e aceitação do mercado.

Fonte: Autoral, (2024).

O Quadro 2 foi desenvolvido com o objetivo de destacar algumas das principais tecnologias que compõem o ecossistema tecnológico do Agro 5.0. Entre essas tecnologias, destacam-se *o deep learning* e as redes neurais, que são avanços em Inteligência Artificial que imitam o funcionamento do cérebro humano ao analisar e interpretar grandes volumes de

informações. Na agricultura, essas tecnologias têm sido utilizadas para identificar doenças nas plantas e otimizar a produção. Elas permitem a análise precisa de imagens de plantas para detectar sinais de pragas, doenças e deficiências nutricionais, muitas vezes antes que os danos sejam visíveis a olho nu. Com isso, tornam a agricultura mais eficiente e precisa, permitindo respostas rápidas e eficazes. No entanto, a aplicação dessas tecnologias exige uma infraestrutura de TI robusta e treinamento especializado para que os resultados possam ser interpretados adequadamente e utilizados na tomada de decisões informadas.

Outra tecnologia essencial é o uso de sensores inteligentes e da Internet das Coisas (IoT), que permitem o monitoramento e a gestão dos cultivos em tempo real. Sensores instalados no campo medem variáveis como temperatura, umidade do solo e níveis de nutrientes, transmitindo os dados em tempo real para plataformas de análise. Essas plataformas ajudam os agricultores a tomarem decisões mais inteligentes sobre irrigação, fertilização e controle de pragas, resultando em uma gestão otimizada das culturas, maior produtividade e menor desperdício. No entanto, para que os sensores inteligentes e a IoT sejam eficazes, é imprescindível investir em sensores de alta qualidade e garantir uma conectividade confiável para a transmissão contínua de dados.

Adicionalmente, os sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) para gestão de fazendas surgem como plataformas integradas que centralizam a administração de todas as operações agrícolas. Esses sistemas abrangem planejamento de produção, gestão financeira, controle de estoque, supervisão de recursos humanos e análise de dados. Com eles, é possível planejar detalhadamente as atividades agrícolas, centralizar informações e tomar decisões informadas. Os principais benefícios incluem o aumento da eficiência operacional, decisões mais estratégicas e uma gestão de recursos mais eficiente. No entanto, a implementação de um ERP exige a aquisição de um *software* adequado e sua integração com outras tecnologias agrícolas para garantir o funcionamento pleno do sistema. No Quadro 2, essas e outras tecnologias são detalhadas e explicadas de forma clara.

Após a análise das tecnologias e uma revisão abrangente da literatura, identificam-se dois processos distintos para a implementação da Inteligência Artificial (IA) na agricultura, propostos por Marco Brini (2023) e Leonardo Manfredo Neto (2023). Embora ambos os autores apresentem abordagens complementares, suas metodologias possuem características próprias e enfoques distintos.

O modelo desenvolvido por Brini (2023) enfatiza a identificação detalhada das lacunas tecnológicas, a avaliação da infraestrutura existente e um planejamento estratégico criterioso, priorizando a viabilidade econômica e o retorno sobre o investimento (ROI). Sua abordagem busca garantir que a adoção da IA ocorra de forma sustentável, evitando desperdícios de recursos e

otimizando a implementação de novas tecnologias com base nas reais necessidades da propriedade.

Por outro lado, Manfredo Neto (2023) propõe um modelo estruturado no ciclo PDCA (Planejar, Desenvolver, Checar, Agir), que reforça a necessidade de monitoramento contínuo e melhorias incrementais para assegurar a eficiência da transformação digital. Seu enfoque destaca a adaptação dinâmica das soluções tecnológicas ao longo do tempo, permitindo ajustes constantes conforme os resultados obtidos e as variáveis do ambiente agrícola.

Embora essas metodologias sejam independentes, não configuram um modelo único, mas sim duas abordagens que podem ser adaptadas e combinadas conforme as necessidades específicas de cada operação agrícola. A flexibilidade dessas estratégias permite que diferentes perfis de propriedades possam estruturar a adoção da IA de maneira mais eficiente, levando em consideração desde a capacidade de investimento até o nível de maturidade tecnológica do negócio.

Figura 27: Passo a Passo da Metodologia SMARTAG.



Fonte: Adaptado de Brini, (2023).

Brini (2023) desenvolveu uma abordagem baseada em princípios claros e progressistas, como ilustrado na Figura 27, visando a implementação eficaz da Inteligência Artificial (IA) nas

empresas agrícolas. Seu primeiro passo é uma análise detalhada das necessidades do negócio agrícola, identificando problemas, desafios e oportunidades específicas que a tecnologia pode resolver. Ele enfatiza a importância de compreender as condições locais e os objetivos estratégicos agrícolas para aplicar a tecnologia de forma precisa. Em seguida, é necessário encontrar soluções tecnológicas disponíveis que possam atender a esses requisitos, exigindo uma análise de várias tecnologias de IA e suas possíveis aplicações na agricultura.

A seleção da tecnologia é baseada em avaliações anteriores, escolhendo ferramentas e plataformas que se adaptem bem à infraestrutura existente e possam ser ajustadas às necessidades específicas das operações. Após a seleção, inicia-se uma fase de planejamento, desenvolvimento e implementação local da solução. Brini (2023) propõe uma abordagem iterativa, permitindo ajustes e melhorias constantes ao longo do processo. O treinamento da equipe é fundamental, recomendando um programa abrangente para garantir que todos estejam preparados para lidar com a nova tecnologia. O progresso deve ser monitorado continuamente para avaliar o desempenho e impacto, dedicando-se à coleta e análise de dados para verificar a eficácia da solução implementada. Finalmente, Brini (2023) sugere revisar regularmente os resultados e ajustar as estratégias com base nos *insights* obtidos, garantindo que a implementação da IA continue a evoluir e melhorar conforme as necessidades dinâmicas das operações agrícolas.

Manfredo Neto (2023) desenvolveu uma abordagem de implementação que segue princípios semelhantes aos de Brini (2023), adaptando-os para o contexto do agronegócio brasileiro. Por meio de estudos de caso, Manfredo Neto (2023) elaborou um passo a passo para a aplicação de Inteligência Artificial (IA) no setor, o qual está estruturado de forma sistemática e estratégica. Inicialmente, o processo envolve uma análise preliminar e um planejamento estratégico, onde são avaliadas as necessidades específicas da operação agrícola, estabelecendo metas claras e mensuráveis que estejam alinhadas à estratégia geral da propriedade. Em seguida, Manfredo Neto (2023) realiza um levantamento de dados e infraestrutura, destacando a importância de mapear as informações agrícolas existentes e identificar lacunas nas infraestruturas técnicas que necessitam de atualização, como mostra a Figura 28.

Figura 28: Passo a Passo implementação IA



Fonte: Adaptado de Leonardo Manfredo Neto, (2023).

A Figura 28 apresenta o processo estruturado proposto por Manfredo Neto (2023) para a implementação de IA no agronegócio. Após a etapa de levantamento de dados e infraestrutura, segue-se a escolha das tecnologias e ferramentas de IA que melhor se adaptam às necessidades da operação agrícola, facilitando a integração e análise de dados. Nas etapas seguintes, Manfredo Neto (2023) enfatiza o desenvolvimento e validação de modelos de IA personalizados, essenciais para atender às especificidades de cada operação. A implementação prática das tecnologias ocorre por meio da fusão desses modelos com os sistemas de sensores e a infraestrutura existente. Ele também ressalta a importância de capacitar continuamente a equipe da fazenda, garantindo suporte técnico adequado e programas de treinamento. Por fim, o processo inclui a avaliação constante dos resultados e a inovação contínua, permitindo revisões e atualizações frequentes para assegurar que as tecnologias adotadas permaneçam eficientes, inovadoras e alinhadas às metas estratégicas do negócio.

5. EXEMPLOS PRÁTICOS DE AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS DO SETOR DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO

A adoção de tecnologias de automação, especialmente relacionadas à Indústria 4.0 e ao Agro 4.0, tem sido progressivamente incorporada ao agronegócio nacional, como mostrado ao decorrer deste estudo. O conceito de Agro 4.0 remete ao uso de IoT (Internet das Coisas), sistemas de RFID (Identificação por Radiofrequência), sensores, drones, análise de *big data* e outros recursos que permitem o monitoramento e a gestão detalhada de múltiplas variáveis do campo. Ao evoluir para o Agro 5.0, abre-se espaço para uma integração ainda mais ampla, incluindo automação avançada, robotização total, uso intensivo de IA e de tecnologias de ponta em velocidade de processamento e conectividade, como o 5G.

Este capítulo traz estudos de caso de como essas tecnologias estão sendo aplicadas em diferentes contextos do agronegócio brasileiro, demonstrando não só a viabilidade, mas também os resultados concretos alcançados. Serão apresentadas três diferentes aplicações: a Fazenda Harmonia, pertencente à Agropecuária Rialma, que embora não seja pertencente à agricultura, atua na pecuária de corte em regime de confinamento e possui tecnologias que se encontra majoritariamente no "Agro 4.0"; a SLC Agrícola, uma das maiores produtoras de commodities do país, já operando em padrões próximos ao Agro 5.0; e a Embrapa Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, sendo uma empresa pública, vinculada ao Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa), que foi criada em 1973 para desenvolver a base tecnológica de um modelo de agricultura e pecuária genuinamente tropical. Ao final, realiza-se uma análise comparativa embasada nas ideias dos autores Marco Brini (2023) e Manfredo Neto (2023). Dessa forma, busca-se oferecer uma visão ampliada sobre os desafios, oportunidades e estratégias recomendadas para impulsionar o avanço tecnológico no setor do agronegócio brasileiro.

5.1 Análises de Aplicações Práticas

A adoção de tecnologias em qualquer cadeia produtiva requer planejamento estruturado, análise de viabilidade e um foco contínuo no desenvolvimento das equipes que utilizarão as novas ferramentas. No agronegócio, isso não é diferente. Além das questões de ordem técnica, como a instalação de sensores, a configuração de sistemas de TI e a implementação de redes de comunicação, há também a necessidade de assegurar que os trabalhadores estejam capacitados a operar essas tecnologias de modo eficiente. Isso envolve treinamento, mudança cultural e, muitas vezes, resistências que precisam ser administradas para que o projeto alcance os resultados almejados.

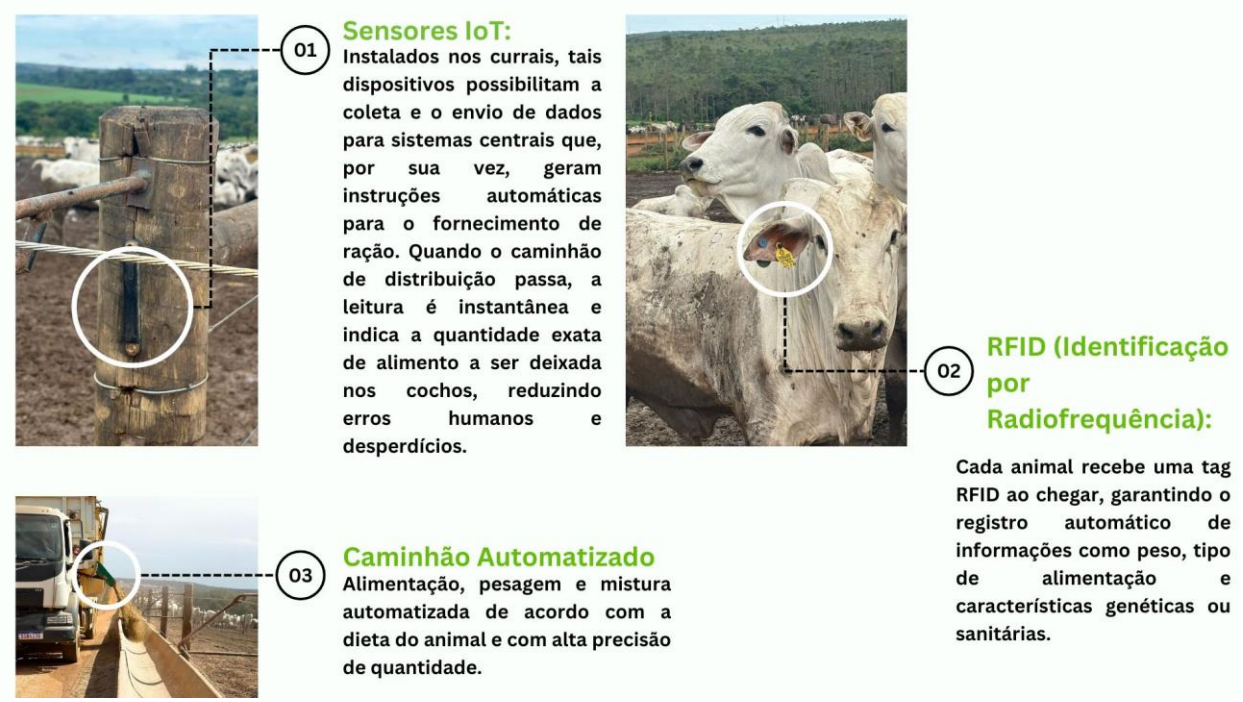
Nesta seção, serão detalhadas três experiências significativas. Em ambas, observa-se a importância de uma abordagem sistêmica e progressiva, bem como a superação de desafios que incluem investimentos iniciais elevados, complexidades logísticas e necessidade de adequação a regulamentações e práticas específicas do mercado. Em comum, as duas organizações entendem que a integração tecnológica não é apenas um fator de competitividade, mas cada vez mais uma condição para garantir a perenidade dos negócios.

5.1.1 Estudo de Caso 1: Fazenda Harmonia – Agropecuária Rialma

A Fazenda Harmonia pertence ao Grupo Agropecuária Rialma, sendo especializada no confinamento de gado de corte, atendendo às demandas do mercado e localizada em Luziânia-GO. A pecuária de corte em confinamento requer controle rigoroso da alimentação, das condições sanitárias e do bem-estar animal, pois o objetivo é assegurar alto rendimento de carcaça em períodos relativamente curtos de engorda. Ao adotar uma abordagem de pecuária de precisão, a Fazenda Harmonia reconhece que o uso de tecnologias como IoT e RFID permite monitorar dados essenciais para otimizar a dieta dos animais e o uso de recursos.

A Figura 29 ilustra as principais tecnologias implementadas na Fazenda Harmonia, destacando como elas se integram para criar um sistema de gestão eficiente e preciso, alinhado aos conceitos modernos de pecuária de precisão.

Figura 29: Tecnologias Implementadas na Fazenda Harmonia.



Fonte: Autoral, (2024).

A Figura 29 apresenta todas as tecnologias utilizadas para otimizar os processos produtivos. O item 1 mostra as fitas com sensores IoT instalados nos currais, responsáveis por coletar e enviar dados em tempo real sobre as condições ambientais e o comportamento dos animais. O item 2 representa as *tags* com tecnologia RFID, que são fixadas na orelha dos animais para registrar automaticamente informações como peso, tipo de alimentação, características genéticas e condições sanitárias. Por fim, o item 3 destaca o caminhão automatizado, que, integrado aos sensores IoT, calcula com precisão a quantidade de ração necessária para cada curral, garantindo uma alimentação ajustada às necessidades dos animais.

O processo de aplicação dessas tecnologias é estruturado para maximizar a eficiência e minimizar desperdícios. A tecnologia RFID permite a identificação e rastreamento de cada animal individualmente, armazenando e transmitindo dados essenciais que otimizam a gestão do rebanho. Amplamente utilizada em setores como transporte e logística, essa ferramenta se adapta perfeitamente às exigências da pecuária de precisão. Já os sensores IoT, instalados estrategicamente nos currais, monitoram variáveis cruciais e enviam essas informações para sistemas centrais. Esses dados geram instruções automáticas para o caminhão de distribuição, que ajusta a quantidade exata de alimento para cada curral, evitando erros humanos e reduzindo desperdícios de ração.

Além disso, um sistema centralizado integra e analisa todos os dados coletados, permitindo o acompanhamento em tempo real das condições dos animais, da alimentação e do desempenho produtivo. Essa integração possibilita decisões mais assertivas, garantindo maior controle operacional e alinhamento com os conceitos modernos de sustentabilidade e eficiência na pecuária de corte.

A Figura 30 apresenta as etapas de implementação adotadas na Fazenda Harmonia, detalhando o processo estruturado que guia a integração de tecnologias na operação pecuária. O objetivo é aprofundar a compreensão sobre a metodologia aplicada, permitindo visualizar como cada etapa contribui para a modernização e eficiência do sistema produtivo.

Figura 30: Etapas de Implementação Fazenda Harmonia.



Fonte: Autoral, (2025).

A Figura 30 ilustra as seis etapas de implementação tecnológica na Fazenda Harmonia, passando pelo processo de padronização até a integração. Em dois anos, a Fazenda Harmonia reportou uma redução significativa de desperdícios, especialmente de alimentos, graças à automação de processos. Essa transformação resultou em uma otimização no uso de recursos alimentares, controle rigoroso das dietas dos animais e redução expressiva dos custos operacionais. Uma das etapas primordiais foi a padronização das áreas, para se entender quantos animais tinham e como funcionaria o mapeamento das áreas. Além disso, a equipe de gestão, ao integrar o *Power BI*, adquiriu maior visibilidade sobre o processo produtivo, facilitando a identificação de gargalos e permitindo a aplicação de ações corretivas de maneira ágil e eficiente.

Como todo processo ao ser implementado, a pecuária de precisão na Fazenda Harmonia não foi isenta de desafios iniciais. Um dos principais obstáculos enfrentados foi a resistência dos colaboradores. Alguns funcionários demonstraram hesitação ao lidar com novas tecnologias e mudanças em suas rotinas diárias. Para superar essa dificuldade, a equipe apostou em treinamentos intensivos e campanhas de sensibilização, destacando os ganhos econômicos e operacionais que a adoção das novas tecnologias traria, o que ajudou a diminuir a resistência.

Outro desafio significativo foi a falta de capacitação inicial dos trabalhadores. Muitos deles não possuíam experiência prévia com sistemas computacionais, o que exigiu um grande esforço para qualificá-los adequadamente. Para isso, a fazenda investiu em programas de formação e treinamento em larga escala, garantindo que todos os colaboradores estivessem aptos a utilizar as novas ferramentas tecnológicas de forma eficiente.

Além disso, a Fazenda Harmonia enfrentou a ausência de processos padronizados antes do início do projeto de pecuária de precisão. As atividades diárias eram executadas de maneira informal, variando conforme a experiência de cada colaborador. A criação de rotinas operacionais estruturadas foi crucial para estabelecer a base sobre a qual a tecnologia foi integrada, promovendo mais eficiência e consistência nas operações.

Atualmente, o confinamento da Fazenda Harmonia é classificado como Agro 4.0, devido ao seu nível de automação e ao uso de tecnologias para a coleta de dados em tempo real. É importante destacar, no entanto, que o termo Agro 5.0 é amplamente utilizado no contexto da agricultura, referindo-se à aplicação de tecnologias avançadas, como Inteligência Artificial, *big data*, automação e Internet das Coisas (IoT), para otimizar o processo agrícola. No setor da pecuária, não existe uma nomenclatura padrão semelhante ao Agro 5.0. Muitos profissionais da área utilizam o termo "pecuária de precisão" para descrever a aplicação de tecnologias semelhantes no manejo do rebanho, focando na coleta e análise de dados para otimizar a produção e a saúde dos animais.

Embora a pecuária de precisão não tenha uma terminologia específica como o Agro 5.0, neste caso, vamos comparar as tecnologias utilizadas nesse setor com as aplicadas no Agro 5.0. A razão para essa comparação é que as tecnologias que estão sendo implementadas na pecuária de precisão compartilham muitas das inovações que definem o Agro 5.0, como a automação, a análise preditiva e a personalização das dietas. Isso permite avaliar o potencial de evolução do setor pecuário com base nas tendências tecnológicas observadas na agricultura de precisão.

A transição da Fazenda Harmonia para o Agro 5.0 está em andamento, com foco na adoção de Inteligência Artificial (IA) para análises preditivas. Isso envolve a criação de modelos capazes de correlacionar variáveis de desempenho, como ganho de peso e conversão alimentar, além de possibilitar uma maior personalização das dietas dos animais. A equipe, agora mais familiarizada com as ferramentas, considera a adoção de novas soluções mais simples e está cada vez mais alinhada com as perspectivas do Agro 5.0.

5.1.2 Estudo de Caso 2: SLC Agrícola

A SLC Agrícola é uma das maiores produtoras de commodities agrícolas do Brasil, com atuação diversificada no cultivo de soja, milho, algodão e outras culturas de alto impacto econômico. Essa empresa vem se destacando como referência no setor ao adotar soluções avançadas de automação e inteligência, posicionando-se como pioneira no que se convencionou chamar de Agro 5.0. A abordagem da SLC está fundamentada na integração de diversas tecnologias, como IA, Internet das Coisas, gêmeos digitais, robotização e rede 5G, gerando ganhos de competitividade substanciais.

A SLC Agrícola criou o Centro de Inteligência Agrícola (CIA), cujo principal objetivo é coordenar e impulsionar o desenvolvimento tecnológico em todas as fazendas do grupo. De acordo com a revista Época Negócios, os resultados dessa iniciativa ultrapassaram R$ 165 milhões em economias ao longo de cinco anos, evidenciando o quanto uma estratégia estruturada de inovação pode gerar ganhos tangíveis em larga escala. Diariamente, a empresa investe em novas soluções e mantém equipes em constante pesquisa, testando protótipos e aprimorando processos.

A Figura 31 elenca as principais etapas das tecnologias na Fazenda SLC, demonstrando como a empresa alcançou o nível de maturidade tecnológica que possui hoje. Destaca-se etapas cruciais, como a estruturação inicial, o planejamento estratégico e outras ações fundamentais, que foram essenciais para o sucesso da implementação das tecnologias e para a consolidação do modelo de operação atual.

Figura 31: Etapas de Implementação Fazenda SL



Fonte: Autoral, (2025).

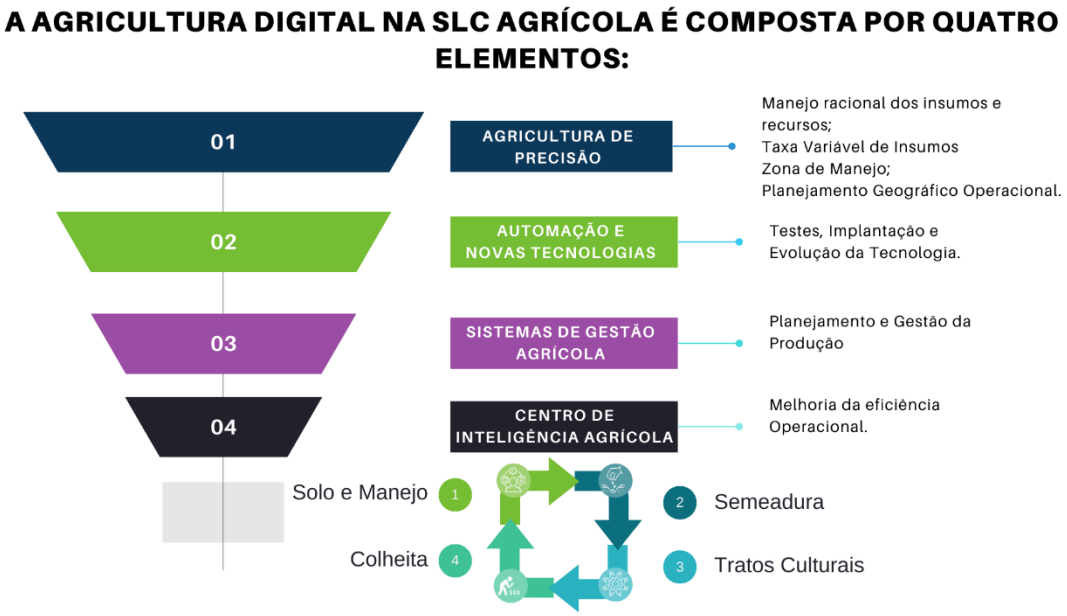
A Figura 31 mostra as etapas de implementação da tecnologia na Fazenda SLC. O primeiro passo foi o planejamento estratégico, seguido pelo segundo passo, que envolveu o alinhamento interno. Em seguida, a empresa focou na implementação da infraestrutura de tecnologia 5G, no quarto passo padronizando os processos, no quinto investindo na capacitação das equipes e, por fim, no sexto, dedicando-se a pesquisas e desenvolvimento contínuos.

Os resultados da transição sistemática para o Agro 5.0 na SLC Agrícola incluem estratégias de planejamento mais robustas, uma melhoria na alocação de recursos e maior eficiência operacional. Em termos de faturamento, a empresa observou um crescimento

expressivo, impulsionado principalmente pela redução de desperdícios e pelo maior controle sobre os fatores de produção. A adoção de algoritmos de Inteligência Artificial (IA) para análises preditivas também contribuiu para a diminuição do tempo de resposta a problemas no campo, permitindo tomadas de decisão mais eficazes e assertivas.

Ao longo do ciclo de produção, as diversas etapas de planejamento agrícola, execução e acompanhamento geram dados que são transformados em informações, análises e recomendações agronômicas. As principais etapas desse ciclo incluem os manejos de correção do solo, semeadura, tratos culturais e a colheita. Neste contexto, a Figura 32 ilustra os quatro elementos fundamentais na Agricultura Digital, enquanto as Figuras 33 e 34 representam as tecnologias aplicadas em cada ciclo de produção. Por fim, as Figuras 35, 36 e 37 apresentam as tecnologias utilizadas e os benefícios que elas proporcionam quando empregadas corretamente no processo produtivo.

Figura 32: Agricultura Digital Fazenda SLC.



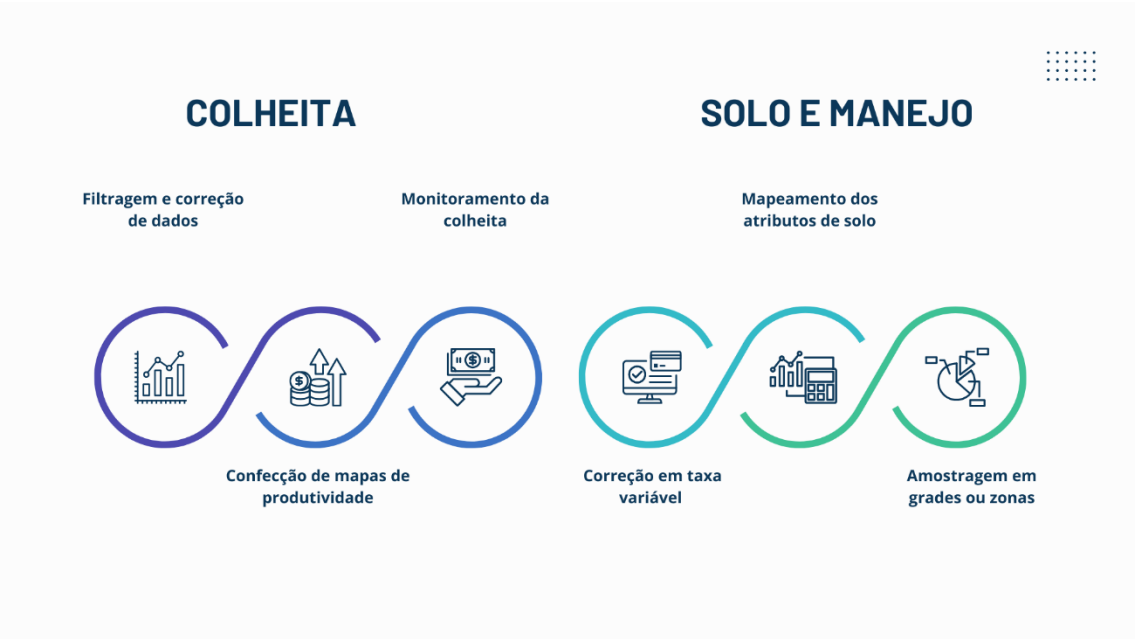
Fonte: Autoral, (2025).

Figura 33: Ciclo de Produção Fazenda SLC.



Fonte: Autoral, (2025).

Figura 34: Continuação Ciclo de Produção Fazenda SLC.



Fonte: Autoral, (2025).

Figura 35: Tecnologias Implementadas Fazenda SLC.



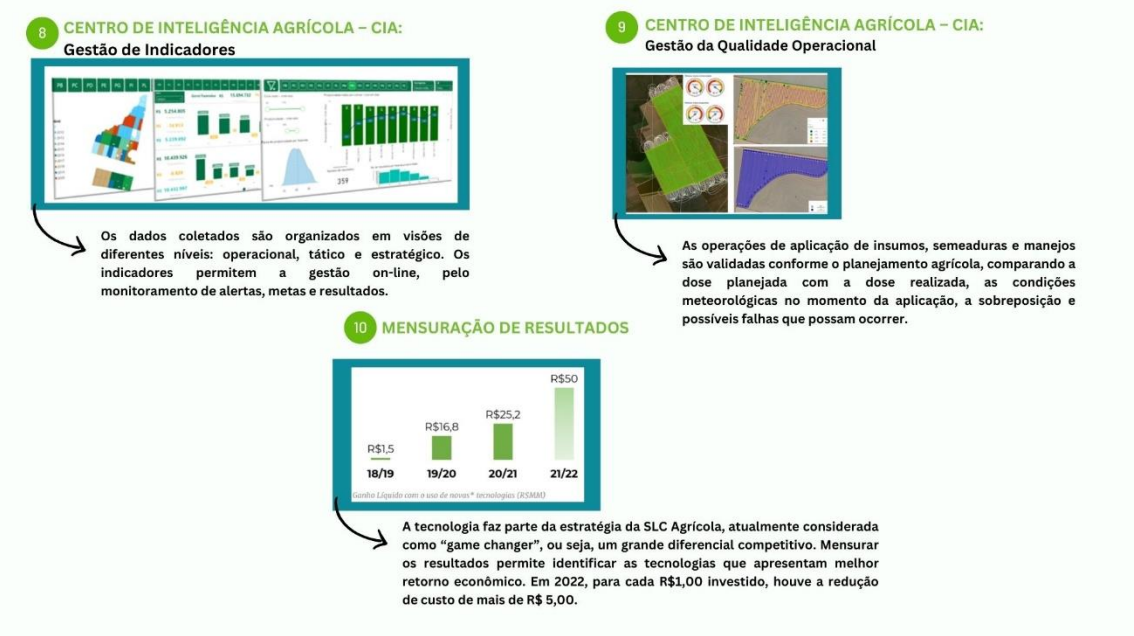
Fonte: Autoral, (2025).

Figura 36: Continuação Tecnologias Implementadas Fazenda SLC.



Fonte: Autoral, (2025).

Figura 37: Últimas Tecnologias Implementadas Fazenda SLC.



Fonte: Autoral, (2025).

Ao longo do ciclo de produção agrícola, diversas etapas de planejamento, execução e acompanhamento geram dados que, quando processados, se transformam em informações valiosas, análises precisas e recomendações agronômicas essenciais para otimizar o desempenho da lavoura. Essas etapas, que incluem o manejo de correção do solo, a semeadura, os tratos culturais e a colheita, são fundamentais para garantir o sucesso da produção. Cada uma dessas fases depende de decisões estratégicas que podem ser aprimoradas com o uso das tecnologias emergentes da Agricultura Digital.

A Figura 32 ilustra os quatro elementos essenciais na Agricultura Digital, que são cruciais para a integração de tecnologias ao longo de todas as fases da produção agrícola. Esses elementos formam a base sobre a qual as inovações tecnológicas são aplicadas para transformar dados brutos em informações úteis para a tomada de decisão. Já as Figuras 33 e 34 exemplificam as tecnologias específicas implementadas em cada ciclo de produção. Elas mostram como as ferramentas digitais são adaptadas para melhorar cada etapa, desde o preparo do solo até a colheita, aumentando a eficiência e a precisão do processo produtivo.

Por fim, as Figuras 35, 36 e 37 destacam os benefícios diretos dessas tecnologias quando corretamente aplicadas. Entre os principais benefícios estão o aumento da produtividade, a redução de custos operacionais e a melhora na sustentabilidade do sistema agrícola. Essas inovações, quando empregadas de maneira eficiente, permitem um controle mais preciso dos fatores de produção, otimização dos recursos e um melhor planejamento das atividades, resultando em um ciclo de produção mais rentável e ambientalmente responsável. A integração de

tecnologias em cada etapa do processo contribui para uma gestão agrícola mais inteligente e estratégica.

Embora a SLC já opere em um nível avançado, próximo ao Agro 5.0, ainda existem tecnologias em fase de testes. A empresa mantém um horizonte de desenvolvimento contínuo, pois acredita que a competitividade no agronegócio depende de um ciclo permanente de pesquisa e inovação. O alto investimento inicial é um fator crítico, mas os retornos positivos obtidos demonstram que a estratégia de longo prazo compensa. A expectativa é de que, no futuro, sejam desenvolvidas fazendas praticamente autônomas, com processos 100% automatizados e uso intensivo de IA e robótica, mantendo a SLC na vanguarda do setor.

5.1.3 Estudo de Caso 3: Embrapa Agricultura Digital

A Embrapa Agricultura Digital, instituição pioneira em pesquisa e inovação no setor agropecuário brasileiro, desempenha um papel fundamental na transição do campo para o modelo de agricultura digital. Com expertise em sensoriamento remoto, rastreabilidade, monitoramento agroambiental e zonamento, a Embrapa tem contribuído significativamente para a modernização e sustentabilidade da produção agrícola. Por meio de projetos como o SemeAr, que busca promover conectividade e inclusão digital, especialmente entre pequenos e médios produtores, a instituição apresenta soluções viáveis economicamente para acelerar a adoção de tecnologias no campo. Essas iniciativas priorizam a formação de ecossistemas colaborativos, envolvendo produtores, cooperativas, startups e instituições de pesquisa, como destacado no contexto do Distrito Agro Tecnológico de Caconde-SP (Embrapa, 2023).

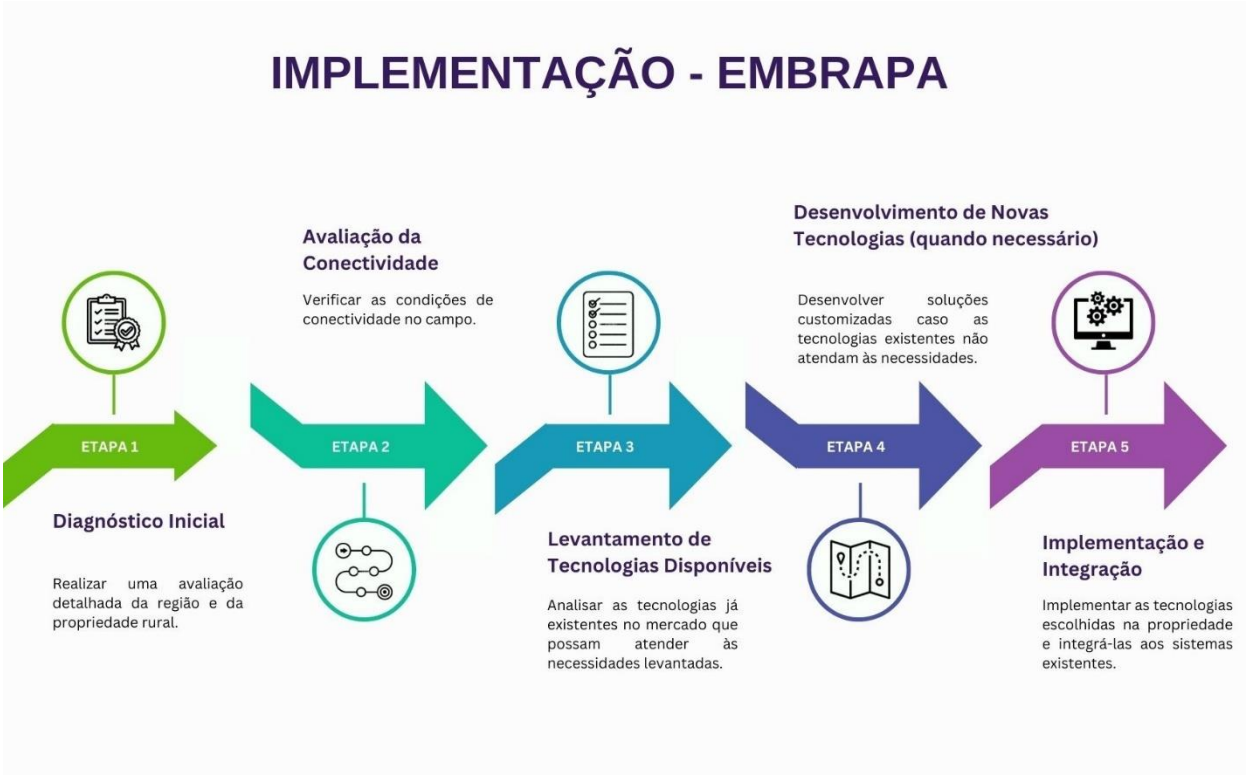
Entre as tecnologias testadas e implementadas pela Embrapa, destacam-se sensores remotos e de campo, sistemas de telemetria e automação, Inteligência Artificial (IA) e plataformas digitais integradas. Essas ferramentas permitem o monitoramento em tempo real de variáveis ambientais e operacionais, como umidade do solo, saúde das plantas e condições climáticas. Além disso, tecnologias de alta complexidade, como *big data*, *blockchain* e aprendizado profundo, têm sido exploradas para otimizar processos de produção, comercialização e rastreabilidade. A pesquisa conduzida pela Embrapa revelou que 84% dos produtores brasileiros utilizam pelo menos uma tecnologia digital, embora o custo elevado e a falta de conectividade ainda sejam barreiras significativas para a adoção mais ampla.

A abordagem metodológica da Embrapa para implementação dessas tecnologias começa com um diagnóstico detalhado da região e das necessidades específicas dos produtores. Esse processo avalia a viabilidade da conectividade na propriedade, as lacunas tecnológicas e a maturidade digital dos agricultores. Em seguida, ocorre a análise de soluções disponíveis no mercado, e, quando necessário, são desenvolvidas novas tecnologias para atender às demandas

locais. O sucesso dessa abordagem depende de treinamentos contínuos para capacitar os produtores a utilizarem e integrar as ferramentas digitais no manejo agrícola. Estudos apontam que a construção colaborativa e a sensibilização da comunidade local são pilares para garantir a eficácia e a sustentabilidade das iniciativas

A Embrapa enfatiza que o uso de tecnologias digitais não deve ser um evento isolado, mas um processo contínuo de evolução e adaptação. Os impactos positivos incluem aumento da produtividade, redução de custos e melhorias na sustentabilidade ambiental, colocando o Brasil na vanguarda da agricultura digital. Esse modelo de implementação, respaldado por pesquisa e inovação, serve como referência para futuras iniciativas no setor do agronegócio brasileiro. A Figura 38, mostra as etapas de implementação utilizadas, em geral, para implementar as tecnologias.

Figura 38: Etapas de Implementação da Embrapa.



Fonte: Autoral, (2025).

A metodologia sugerida pela Embrapa Agricultura Digital para a implementação de tecnologias no agronegócio é composta por etapas estruturadas e estratégicas. O processo começa com um diagnóstico inicial detalhado da região e da propriedade, identificando necessidades específicas e avaliando condições como conectividade e infraestrutura existente, como mostra as etapas na Figura 38. Após esse levantamento, são analisadas tecnologias disponíveis no mercado, com o objetivo de selecionar soluções que atendam às demandas locais. Caso não sejam

encontradas ferramentas adequadas, novas soluções são desenvolvidas em parceria com centros de pesquisa e inovação.

Com as tecnologias definidas, segue-se a etapa de implementação, que inclui a instalação de sensores, sistemas digitais e plataformas de gestão, acompanhada de treinamentos para capacitar os produtores e equipes. Por fim, o desempenho das soluções é monitorado continuamente, possibilitando ajustes e melhorias. Esse modelo prioriza não apenas a eficiência e a produtividade, mas também a evolução constante, garantindo que as propriedades estejam alinhadas às demandas do mercado e às tendências de inovação no setor agropecuário.

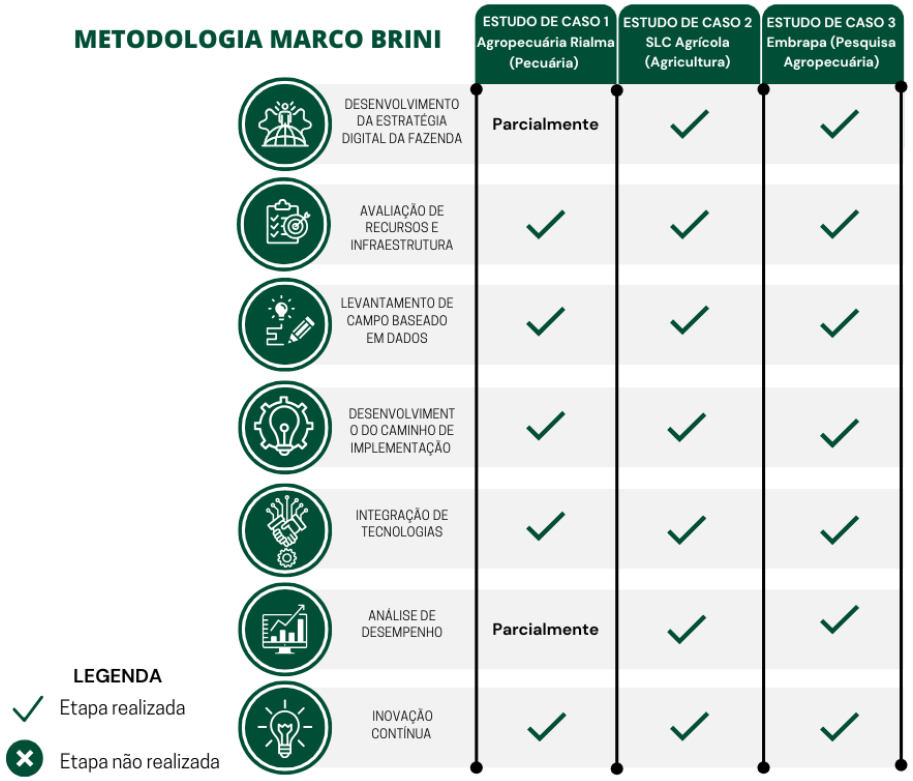
5.2 Análises de Aplicações Através de Artigos

A fim de contrastar os estudos de caso com a literatura, foram utilizados como embasamento os dois artigos centrais que discutem a implementação de tecnologias no agronegócio: um de Marco Brini (2023), intitulado *Implementing Digital Agriculture Step-by-Step*, e outro de Manfredo Neto (2023), que enfatiza a adoção de sistemas integrados e o uso do ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) em projetos de inovação.

Na Figura 39, é apresentada uma comparação entre os três estudos de caso e a metodologia proposta por Brini, (2023), destacando as semelhanças e diferenças nas abordagens adotadas pelos casos em relação às diretrizes estabelecidas por este autor. Essa comparação busca identificar as práticas e tecnologias que se alinham com a teoria de Brini (2023), bem como as adaptações feitas para atender às necessidades específicas de cada contexto agrícola.

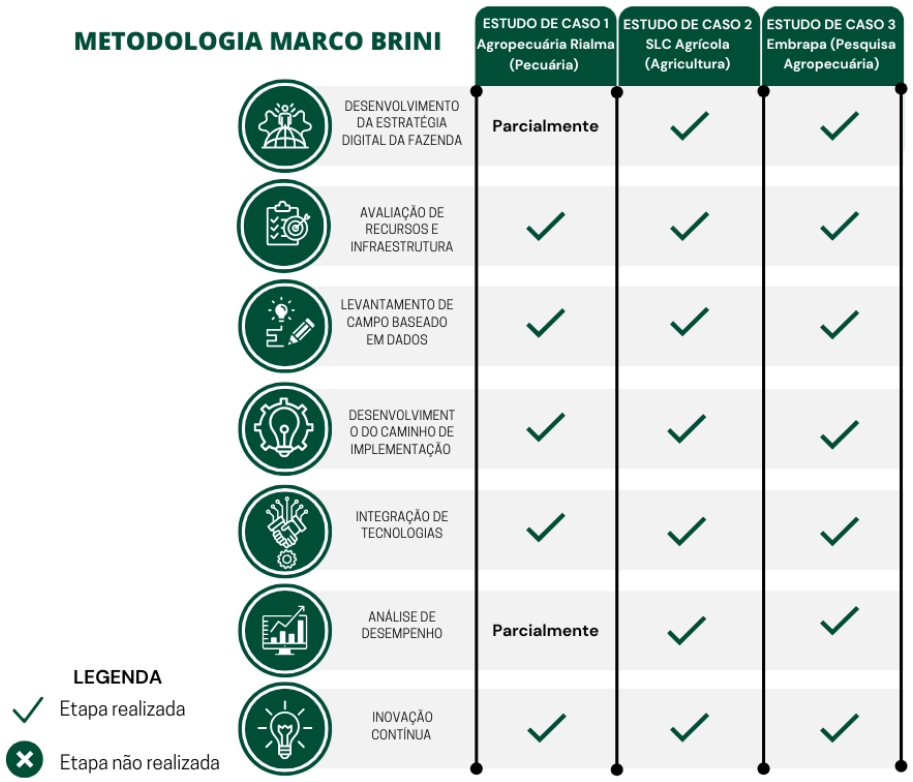
Já na Figura 40, a comparação é realizada com a metodologia de Manfredo Neto (2023), permitindo uma análise mais detalhada de como os estudos de caso se posicionam em relação a essa abordagem. A metodologia, com foco específico em práticas e inovações no setor agrícola, oferece uma perspectiva distinta que é contrastada com os casos estudados, evidenciando as peculiaridades e adaptações necessárias em cada situação.

Figura 39: Comparação Metodologia Brini, (2023).



Fonte: Autoral, (2025).

Figura 40: Comparação Metodologia Manfredo Neto, (2023).



Fonte: Autoral, (2025).

A análise comparativa dos estudos de caso, como mostra a Figura 39 e 40 da Fazenda Harmonia, da SLC Agrícola e da Embrapa evidencia diferenças significativas na aplicação de tecnologias, na maturidade digital e na abordagem estratégica de cada organização. Essas discrepâncias refletem o tempo de implementação, o segmento de atuação e os objetivos de cada uma. A agricultura, representada pela SLC Agrícola, demonstra um nível de desenvolvimento tecnológico historicamente mais avançado em comparação à pecuária, como observado na Fazenda Harmonia. A SLC, com mais de cinco anos de operação de seu Centro de Inteligência Agrícola (CIA), lidera iniciativas tecnológicas que abrangem redes 5G, gêmeos digitais, Inteligência Artificial e automação avançada. Essas tecnologias permitem monitoramento em tempo real, análises preditivas e otimização de recursos, consolidando sua posição na vanguarda do Agro 5.0.

Por outro lado, a Fazenda Harmonia iniciou sua transformação digital há apenas dois anos, concentrando-se na integração de tecnologias como IoT e RFID. Apesar de demonstrar avanços significativos, como a coleta de dados em tempo real para gestão de currais, a propriedade ainda carece de uma estratégia digital abrangente e do uso de ferramentas mais avançadas, como Inteligência Artificial, limitando seu alinhamento com os métodos de Marco Brini (2023) e Manfredo Neto (2023). Em contraste, a SLC Agrícola incorpora integralmente as etapas propostas por Brini (2023), incluindo planejamento estratégico, capacitação de equipes e avaliação do retorno sobre investimento, enquanto também adota o ciclo PDCA de Manfredo Neto (2023) para ajustes contínuos e melhorias incrementais.

A Embrapa, representada pelo estudo de caso 3, destaca-se como um centro de pesquisa focado no desenvolvimento de tecnologias voltadas para o agronegócio. Suas iniciativas priorizam o diagnóstico detalhado das regiões, seguido pela avaliação de infraestrutura e conectividade, além da seleção de tecnologias personalizadas para cada contexto. A Embrapa integra metodologias que alinham o planejamento estratégico à análise das dores específicas dos produtores, desenvolvendo soluções que muitas vezes extrapolam o mercado disponível, criando inovações próprias. Seu compromisso com a inovação contínua e o treinamento das equipes reafirma a importância de capacitar os recursos humanos para maximizar os benefícios das tecnologias implementadas.

As Figuras 39 e 40 ilustram essas diferenças, comparando a aplicação prática dos estudos de caso com os métodos analisados. A SLC Agrícola, por exemplo, já se posiciona como uma referência no Agro 5.0, enquanto a Fazenda Harmonia ainda está em fase inicial, com grande potencial de evolução se adotar práticas mais robustas, como o monitoramento através da Inteligência Artificial.

6. AGRO 5.0: *ROADMAP* PARA IMPLEMENTAÇÃO

A metodologia AGRO-INOVA, desenvolvida neste trabalho e representada na Figura 41, sintetiza as etapas essenciais para a implementação de tecnologias no setor do agronegócio. Diferentemente dos métodos individuais de Brini (2023) e Manfredo Neto (2023), esta abordagem inédita integra e aprimora conceitos existentes, proporcionando um roadmap estruturado e adaptável à realidade do Agro 5.0. O nome AGRO-INOVA reflete a fusão entre Agronegócio (AGRO) e Inovação (INOVA), destacando a necessidade de modernização para um avanço sustentável no setor.

Essa metodologia se diferencia ao oferecer uma estrutura abrangente que inclui diagnóstico detalhado, planejamento estratégico, gestão e qualificação dos dados e infraestrutura, além de promover a inovação contínua. O ponto de partida do AGRO-INOVA é um diagnóstico inicial aprofundado, que permite identificar as principais dores e necessidades da fazenda, garantindo que os objetivos sejam claros e alinhados com as especificidades do negócio. Essa fase inicial estabelece uma base sólida para todas as ações subsequentes, tornando o processo mais eficiente e orientado para resultados concretos.

Figura 41: *Roadmap* da Metodologia AGRO-INOVA.



Fonte: Autoral, (2024).

A Figura 41 apresenta as sete etapas fundamentais do AGRO-INOVA, uma metodologia proposta neste trabalho, que combina conceitos estratégicos e práticos para maximizar a eficiência no processo de automação agrícola. Esse *roadmap* estruturado visa proporcionar um guia sistemático para a implementação da Inteligência Artificial no setor do agronegócio, garantindo que a adoção tecnológica ocorra de maneira planejada e eficiente.

O modelo inicia-se com um diagnóstico detalhado e um planejamento estratégico estruturado, seguido pela gestão e qualificação dos dados, de modo a assegurar uma base sólida de informações e infraestrutura tecnológica. Posteriormente, passa-se ao levantamento e seleção de tecnologias adequadas ao contexto da propriedade, garantindo que as soluções escolhidas atendam às necessidades identificadas. A implementação customizada é a fase subsequente, na qual as ferramentas são testadas e adaptadas à realidade operacional da fazenda.

Para que essa transformação seja efetiva, o modelo enfatiza a capacitação da equipe, promovendo treinamentos técnicos e incentivando uma cultura de inovação. A padronização de processos e a incorporação de rotinas operacionais garantem a consistência das práticas adotadas, estabelecendo protocolos claros e indicadores de desempenho.

Por fim, a inovação contínua é um dos pilares do AGRO-INOVA, permitindo ajustes constantes e a inclusão de novas tecnologias conforme a evolução do setor. Dessa forma, ao integrar elementos das metodologias de Brini (2023) e Manfredo Neto (2023), o AGRO-INOVA se consolida como uma abordagem robusta e ajustável às demandas da Agricultura 5.0, ou do agronegócio em geral, podendo ser aplicada não apenas ao setor agrícola, mas a outras áreas do agronegócio, conforme o porte da empresa, o tipo de cultura e o nível de tecnologia identificado na fase de diagnóstico.

A primeira etapa, Diagnóstico e Planejamento Estratégico, representa o alicerce para qualquer processo de transformação digital no Agro 5.0. O sucesso da implementação de novas tecnologias depende diretamente da compreensão aprofundada das características e necessidades da propriedade rural.

Dessa forma, o diagnóstico inicial deve englobar uma análise abrangente da infraestrutura disponível, do nível de tecnologia já adotado, da capacidade financeira da propriedade, do tipo de cultura explorada, do porte da propriedade e das limitações operacionais existentes. Além disso, é essencial realizar o mapeamento *as is*, que consiste em um levantamento detalhado do processo produtivo exatamente como ele ocorre no momento, sem alterações ou suposições. Esse mapeamento permite identificar gargalos, ineficiências e oportunidades de melhoria, fornecendo uma visão realista e precisa do cenário atual. Com base nessas informações, torna-se possível definir estratégias mais assertivas para a implementação de novas tecnologias, garantindo que as mudanças sejam fundamentadas em dados concretos e alinhadas às necessidades da propriedade.

O *as is* possibilita ainda a antecipação de desafios e a definição de prioridades na adoção de novas tecnologias, garantindo que a transição ocorra de maneira estruturada e alinhada às necessidades específicas da propriedade. Com um diagnóstico preciso, o planejamento estratégico pode direcionar os investimentos para soluções que realmente tragam impacto positivo, otimizando recursos e maximizando os benefícios da transformação digital no agronegócio.

É na fase de diagnóstico que se estabelecem os objetivos estratégicos para a adoção tecnológica, garantindo que estejam alinhados ao planejamento de longo prazo da fazenda e assegurando que as soluções implementadas sejam viáveis, sustentáveis e adaptáveis à realidade operacional. Essa etapa inclui um estudo aprofundado da região onde a propriedade está inserida, permitindo identificar quais recursos tecnológicos já estão disponíveis e quais ainda precisam ser desenvolvidos ou aprimorados.

Com base nesse diagnóstico, elabora-se um planejamento estratégico fundamentado na realidade da propriedade, garantindo que cada decisão tomada esteja alinhada às suas necessidades específicas. Somente a partir desse levantamento detalhado é possível definir, de forma clara e objetiva, as metas a serem alcançadas, seja o aumento da produtividade, a otimização do uso de insumos, a redução de custos operacionais ou a mitigação de riscos climáticos.

Além disso, essa modelagem inicial permite que a metodologia AGRO-INOVA seja replicável para outras áreas do agronegócio, adaptando-se a diferentes perfis de propriedades e segmentos do setor. Ao compreender o nível de maturidade tecnológica da propriedade e suas limitações, torna-se possível traçar estratégias personalizadas, maximizando os benefícios da automação e garantindo uma implementação eficiente e escalável.

A segunda etapa, Gestão e Qualificação dos Dados, é fundamental para garantir a confiabilidade das informações que alimentarão os modelos de Inteligência Artificial. A adoção de tecnologias no Agro 5.0 depende de uma base de dados bem estruturada, organizada e qualificada, que permita a integração de informações provenientes de sensores, máquinas, sistemas de gestão agrícola e estações meteorológicas. O processamento e a análise desses dados viabilizam tomadas de decisão mais assertivas, aumentando a previsibilidade e reduzindo incertezas nas operações agrícolas. Entretanto, para que a IA funcione de maneira eficaz, é necessário padronizar a coleta de informações, estabelecendo critérios de qualidade, consistência e segurança dos dados. A criação de modelos preditivos depende diretamente da integridade desses registros, sendo necessário, portanto, desenvolver processos para evitar inconsistências ou lacunas que possam comprometer os resultados. Além disso, a qualificação dos dados permite a personalização das soluções tecnológicas, garantindo que os algoritmos desenvolvidos sejam ajustados à realidade específica de cada propriedade.

Uma vez estruturada essa base informacional, inicia-se a terceira etapa, que compreende o Levantamento e Seleção de Tecnologias. A escolha das soluções mais adequadas deve considerar fatores como custo-benefício, compatibilidade com a infraestrutura existente e escalabilidade das ferramentas. Tecnologias como sensores de solo, drones para mapeamento aéreo, *software*s de previsão climática e sistemas de irrigação automatizados podem ser implementadas de forma estratégica, de acordo com as necessidades levantadas na fase diagnóstica. É importante ressaltar que a seleção das tecnologias deve ser baseada em evidências práticas e na análise de experiências bem-sucedidas no setor, como os casos das fazendas Harmonia e SLC Agrícola.

A quarta etapa, Implementação e Customização, consiste na aplicação gradual das tecnologias selecionadas, com ajustes para garantir que as ferramentas se adaptem às condições específicas de solo, clima e cultura da propriedade. A implementação deve ser acompanhada por testes rigorosos em campo, permitindo ajustes contínuos para maximizar a eficiência das soluções adotadas. Essa fase também exige suporte técnico contínuo para assegurar o pleno funcionamento dos sistemas e evitar problemas operacionais decorrentes da introdução das novas tecnologias.

Uma vez implementadas as soluções tecnológicas, a quinta etapa, Treinamento e Capacitação da Equipe, torna-se essencial para garantir que os colaboradores estejam aptos a operar as novas ferramentas. A resistência às inovações tecnológicas pode comprometer o sucesso da transformação digital no campo, sendo imprescindível investir em treinamentos técnicos e na disseminação de uma cultura organizacional voltada à inovação. Capacitar a equipe significa não apenas ensiná-la a utilizar os sistemas, mas também demonstrar os benefícios tangíveis que a tecnologia trará para suas atividades diárias.

A sexta etapa, Padronização dos Processos e Implementação de Rotinas, busca garantir a consistência das operações por meio da definição de fluxos de trabalho bem estruturados, estabelecimento de protocolos operacionais e criação de indicadores de desempenho. A padronização permite a replicação do modelo em diferentes unidades produtivas, além de viabilizar a identificação e correção ágil de eventuais problemas operacionais.

Esse alinhamento processual é fundamental para consolidar a transformação digital de forma sustentável. Aqui, é realizada a definição do *to-be*, que representa o modelo futuro ideal do processo, projetado com base no *as is* levantado no diagnóstico inicial. Enquanto o *as is* retrata a situação atual da operação, evidenciando desafios e oportunidades de melhoria, o *to-be* estabelece a visão aprimorada do processo, considerando as necessidades identificadas, as melhores práticas do setor e os ganhos esperados com a adoção de novas tecnologias. Além disso, o processo a ser padronizado é estruturado levando em conta a tecnologia que será implementada, garantindo que a automação e a digitalização ocorram de maneira fluida e integrada ao contexto operacional da propriedade.

Por fim, a sétima etapa, Inovação, Testes e Melhoria Contínua, assegura que a propriedade rural permaneça na vanguarda do setor agropecuário. O ciclo de inovação não se encerra com a implementação inicial; pelo contrário, exige monitoramento constante de indicadores, ajustes nas soluções já implantadas e incorporação de novas tecnologias à medida que surgem oportunidades no mercado. Além disso, essa etapa permite que as propriedades estejam preparadas para se adaptar a mudanças nas regulamentações ambientais, nas condições climáticas e nas demandas do setor.

Dessa forma, ao analisar o *roadmap* sugerido para implementação do AGRO-INOVA, é possível comparar os estudos de caso com a abordagem proposta. A Figura 42 ilustra essa comparação, evidenciando como as práticas adotadas por fazendas inovadoras, como a SLC Agrícola, se alinham às etapas metodológicas desenvolvidas neste trabalho. Essa análise possibilita a identificação de convergências e aprimoramentos que podem ser aplicados a diferentes perfis de propriedades rurais. Ao integrar conceitos estratégicos e práticos, o AGRO-INOVA se apresenta como um modelo metodológico robusto e replicável, permitindo que propriedades de diversos portes e segmentos do agronegócio adotem a Inteligência Artificial de forma estruturada e eficiente, maximizando a produtividade e promovendo a sustentabilidade no setor.

Figura 42: Comparação Metodologia AGRO-INOVA.



Fonte: Autoral, (2025).

A Figura 42 evidencia que a SLC Agrícola, por estar consolidada no setor, contempla todas as etapas do *roadmap e* seguiu cada fase do processo de implementação. A Embrapa, por sua natureza voltada à pesquisa e inovação, também apresenta alto grau de adesão, cumprindo quase 100% dos processos. Já a Fazenda Rialma ainda se encontra em estágio inicial em algumas etapas, mas está avançando progressivamente para aprimorar suas práticas, o que pode resultar em ganhos significativos no futuro.

Ademais, o método AGRO-INOVA, desenvolvido a partir das metodologias analisadas, busca superar as limitações individuais de Brini (2023) e Manfredo Neto (2023) ao integrar as melhores práticas de diagnóstico, planejamento estratégico e padronização de processos. Essa abordagem estrutura a transformação digital em sete etapas fundamentais: diagnóstico e planejamento estratégico, gestão e qualificação de dados e infraestrutura, levantamento e seleção de tecnologias, implementação e customização, treinamento e capacitação da equipe, padronização de processos e implementação de rotina, e, por fim, inovação, testes e melhoria contínua. Diferente das metodologias isoladas, o AGRO-INOVA enfatiza o diagnóstico detalhado, o qual só é possível a partir do levantamento inicial das rotinas e processos existentes,

permitindo identificar as maiores dores do negócio, seguidas de um planejamento estratégico que alinha objetivos com soluções tecnológicas adequadas.

Além disso, o AGRO-INOVA destaca-se pela padronização de processos e acompanhamento estruturado das rotinas, garantindo consistência e eficácia no uso das tecnologias. Essa combinação proporciona maior eficiência operacional, sustentabilidade e competitividade, tornando-o uma evolução das metodologias tradicionais.

A convergência entre teoria e prática nos estudos de caso reforça a necessidade de uma abordagem estruturada para a transformação digital no agronegócio brasileiro. As metodologias propostas por Brini (2023) e Manfredo Neto (2023) apresentam contribuições valiosas, porém, isoladamente, não contemplam todas as etapas necessárias para uma implementação completa e eficaz da Inteligência Artificial no setor. Brini (2023) enfatiza a identificação de lacunas tecnológicas e o planejamento estratégico baseado no retorno sobre o investimento, enquanto Manfredo Neto (2023) propõe uma abordagem fundamentada no ciclo PDCA, priorizando o monitoramento contínuo e a melhoria incremental.

O AGRO-INOVA, desenvolvido neste trabalho, surge como um modelo metodológico que integra e aprimora essas contribuições, unificando os pontos fortes de ambas as abordagens e ampliando sua aplicabilidade para diferentes realidades do agronegócio. Além de incorporar diagnóstico detalhado, planejamento estratégico e qualificação de dados, o AGRO-INOVA diferencia-se por estabelecer uma padronização estruturada dos processos e um acompanhamento contínuo das rotinas operacionais, garantindo a consistência na adoção das novas tecnologias.

Dessa forma, o AGRO-INOVA não apenas maximiza os benefícios das metodologias anteriores, mas também assegura uma transição eficiente, escalável e sustentável para o Agro 5.0. Seja na agricultura ou na pecuária, sua aplicação demonstra que o sucesso na transformação digital do setor depende do equilíbrio entre inovação tecnológica, gestão estratégica e estruturação de processos, promovendo a modernização contínua e a competitividade do agronegócio brasileiro.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada evidenciou a crescente importância da Inteligência Artificial (IA) no agronegócio, com especial foco no Agro 5.0. Através da análise bibliográfica e dos estudos de múltiplos casos, foram identificadas as principais aplicações da IA nesse contexto, além dos benefícios e desafios associados à sua implementação. Os resultados obtidos destacam a necessidade de uma abordagem estruturada para a adoção de tecnologias no setor, que envolva planejamento estratégico, integração de sistemas e capacitação de pessoal.

A Engenharia de Produção, com sua expertise em planejamento estratégico, otimização de processos e gestão da produção, encontra na Inteligência Artificial uma poderosa ferramenta para a transformação do agronegócio. Este trabalho contribui para essa área ao apresentar uma análise detalhada das tendências e desafios da IA propondo, ainda, um modelo para a implementação dessas tecnologias, considerando as particularidades da Engenharia de Produção.

Os resultados desta pesquisa possuem implicações práticas significativas para o agronegócio e as empresas do setor. A adoção de tecnologias como a IA pode otimizar processos, reduzir custos, aumentar a produtividade e promover a sustentabilidade do agronegócio. Contudo, a implementação da IA no setor ainda enfrenta desafios, tais como a necessidade de infraestrutura adequada, a falta de profissionais qualificados e a resistência à mudança. Entretanto, as oportunidades são vastas, com grande potencial para transformar o setor e garantir inovação. O desenvolvimento de soluções mais acessíveis e personalizadas será essencial para superar esses obstáculos.

Esta pesquisa apresenta algumas limitações, como o número restrito de estudos de caso e a abrangência geográfica da amostra. Para futuras pesquisas, sugere-se a ampliação do número de casos analisados, a consideração de diferentes culturas e regiões, além de um aprofundamento na análise dos impactos socioeconômicos da IA no agronegócio.

Em conclusão, a Inteligência Artificial representa uma revolução no agronegócio, com o potencial de transformar profundamente a maneira como a produção é realizada. A adoção dessas tecnologias requer um planejamento cuidadoso, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, além da criação de um ambiente favorável à inovação. Superando os desafios e aproveitando as oportunidades, o Brasil poderá consolidar-se como um líder global em agricultura digital, pecuária de precisão e contribuir para um futuro mais sustentável e próspero.

O agronegócio brasileiro, em constante expansão, encontra na Engenharia de Produção um parceiro estratégico. A sinergia entre essas duas áreas impulsiona a inovação, otimiza processos e assegura a sustentabilidade do setor. Ao aplicar conceitos de planejamento estratégico, otimização de processos e gestão da qualidade, a Engenharia de Produção contribui para o aumento da

produtividade e competitividade do agronegócio brasileiro, consolidando o país como um dos maiores produtores de alimentos do mundo.

8. REFERÊNCIAS

19% das empresas do agro tem "maturidade tecnológica". Disponível em: <https://mundoagrobrasil.com.br/19-empresas-agro-maturidade-tecnologica>. Acesso em: 01 abril, 2024.

A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente. - Portal Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126214/a-transformacao-digital-no-campo-rumo-a-agricultura-sustentavel-e-inteligente>. Acesso em: 24 fev. 2025.

ABRAMO, G.; D'ANGELO, C. A. **Evaluating research: From informed peer review to bibliometrics**. Scientometrics, v. 87, n. 3, p. 499-514, 2011.

ADLI, H. K. et al. Recent Advancements and Challenges of AIoT Application in Smart Agriculture: A Review. **Sensors**, v. 23, n. 7, p. 3752, 1 jan. 2023.

ADLI, M. et al. Integrated design framework for smart agriculture: Bridging the gap between technology and implementation. **Journal of Agricultural Technology, v.** 10, n. 2, p. 150-165, 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352853221000272. Acesso em: 22 maio 2024.

AGÊNCIA FAPESP. **Centro da FAPESP sediado na Embrapa inicia ações de inclusão digital em dez municípios brasileiros.** Disponível em: https://agencia.fapesp.br/centro-da-fapesp-sediado-na-embrapa-inicia-acoes-de-inclusao-digital-em-dez-municipios-brasileiros/. Acesso em: 7 fev. 2025.

Agricultura é o setor que mais usa IA. Disponível em: <https://mundoagrobrasil.com.br/agricultura-e-o-setor-que-mais-usa-ia/>. Acesso em: 01 abril, 2024.

AGROADVANCE. **Agro 5.0:** como a tecnologia está transformando a agricultura. Agroadvance, 2025. Disponível em: https://agroadvance.com.br/blog-agricultura-50/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 23 fev. 2025.

AGTECH REPORT 2023. Uso da Inteligência Artificial no agronegócio brasileiro deve crescer 300% até o final do ano. Notícias Agrícolas, 2023. Disponível em: https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/maquinas-e-tecnologias/384672-agro-5-0-inteligencia-artificial-impulsiona-revolucao-no-agro-brasileiro.html. Acesso em: 23 fev. 2025.

ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO. **Agro 5.0: Inteligência Artificial impulsiona revolução no agro brasileiro**. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/maquinas-e-tecnologias/384672-agro-5-0-inteligencia-artificial-impulsiona-revolucao-no-agro-brasileiro.html?utm_source=chatgpt.co>. Acesso em: 24 fev. 2025. Acesso em: 7 fev. 2025.

Banhazi, T. M., Lehr, H., Black, J. L., Crabtree, H., Schofield, P., Tscharke, M., & Berckmans, D. (2012). Precision Livestock Farming: An international review of scientific and commercial aspects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, 5(3), 1-9.

Barnes, B., & Toma, M. (2021). Internet of Things in Precision Agriculture: Innovations and Applications. **International Journal of Agricultural and Environmental Sciences.**

BASF pretende lançar 24 produtos no Brasil na próxima década. Globo Rural, 16 nov. 2024. Disponível em: https://globorural.globo.com/insumos/noticia/2024/11/basf-pretende-lancar-24-produtos-no-brasil-na-proxima-decada.ghtml. Acesso em: 19 maio 2024.

BASF. **BASF showcases commitment to innovation in agriculture in 2023.** Research Triangle Park, NC, December 18, 2023. Disponível em: https://www.basf.com/us/en.html. Acesso em: 19 maio 2024.

Bernardi, A. C. de C. (2024). **Pecuária de Precisão auxilia na tomada de decisões e no aumento da eficiência. Embrapa.** Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/96373346/pecuaria-de-precisao-auxilia-na-tomada-de-decisoes-e-no-aumento-da-eficiencia?. Acesso em: 19 maio 2024.

BOETTIGER, S.; SANGHVI, S. **How digital innovation is transforming agriculture: Lessons from India**. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/how-digital-innovation-is-transforming-agriculture-lessons-from-india>. Acesso em: 24 fev. 2025.

BOLFE, E. et al. **Agrodigital:** como as tecnologias emergentes estão transformando o agro. Embrapa, 2020. Disponível em: https://www.embrapa.br/visao-de-futuro/agrodigital. Acesso em: 23 fev. 2025.

BRINI, Marco. **Implementing Digital Agriculture Step-by-step**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/369747012_Implementing_Digital_Agriculture_Step-by-step>. Acesso em: Acesso em: 01 abril, 2024.

CARRER, M. J. et al. **Precision Agriculture and Technical Efficiency in Sugarcane Farms in Brazil.** Sugar Tech, 2022.

CAVALCANTE, R.; SILVA. Artificial Intelligence in Agriculture: Benefits, Challenges, and Trends. **Applied sciences**, v. 13, n. 13, p. 7405–7405, 22 jun. 2023. Acesso em: 01 abril, 2024.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Panorama do Agro**. Disponível em: https://www.cnabrasil.org.br. Acesso em: 1 maio 2024.

CULTIVAR, R. **Como avança o processo de modernização da agricultura**. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/como-avanca-o-processo-de-modernizacao-da-agricultura>.Acesso em: 13 maio, 2024.

DATA CENTER DYNAMICS. **IA e agronegócio no Brasil:** Conheça o agro 5.0 e as empresas que estão investindo no setor. Disponível em: https://www.datacenterdynamics.com/br/an%C3%A1lises/ia-e-agronegocio-no-brasil-conheca-o-agro-50-e-as-empresas-que-estao-investindo-no-setor/. Acesso em: 1 maio 2024.

DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. The SAGE Handbook of Qualitative Research. Sage, 2011.

DRONESAFRA. **Drone para monitoramento de culturas: tecnologia inovadora.** Dronesafra, 2025. Disponível em: https://dronesafra.com.br/glossario/drone-para-monitoramento-de-

culturas-tecnologia-inovadora/. Acesso em: 23 fev. 2025.

EMBRAPA. **Aplicação de Inteligência Artificial na agricultura:** Resultados em soja, milho e café. Embrapa, 2023. Disponível em: https://www.embrapa.br. Acesso em: 19 maio 2024.

EMBRAPA. **SemeAr:** promovendo conectividade e inclusão digital para o campo. Disponível em: https://www.semear-digital.cnptia.embrapa.br/sobre/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 7 fev. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Visão 2030:** o futuro da agricultura brasileira. Disponível em: https://www.embrapa.br/visao/o-futuro-da-agricultura-brasileira. Acesso em: 1 maio 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Publicações e Bibliotecas.** Disponível em: https://www.embrapa.br/publicacoes-e-bibliotecas. Acesso em: 27 maio 2024.

Época Negócios. (2022). **Casos de Sucesso em Agro 5.0:** A SLC Agrícola e o Centro de Inteligência Agrícola. Disponível em: https://epocanegocios.globo.com/. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.

FAO. **"O Futuro da Alimentação e Agricultura – Tendências e Desafios"**, 2017. World Economic Forum. "Digital Transformation Initiative", 2017.

FAO. **China's Food Security and Agricultural Development.** Rome: FAO, 2020.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. Métodos de pesquisa. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. Disponível em: https://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf. Acesso em: 23 fev. 2025.

Gomes, F. A. (2019). **Suinocultura de precisão**: Visão computacional e tecnologias digitais. Revista Científica de Produção Animal, 21(2), 73-79. Disponível em: https://periodicos.ufpb.br/index.php/rcpa/article/view/57606?. Acesso em: 10 de janeiro de 2024. **Governança de dados no agronegócio**. Disponível em: <https://mundoagrobrasil.com.br/governanca-de-dados-no-agronegocio/>. Acesso em: 01 abril, 2024.

HE, Kaiming; ZHANG, Xiangyu; REN, Shaoqing; SUN, Jian. **Deep Residual Learning for Image Recognition. In:** Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2016. p. 770-778.

IA e agronegócio no Brasil: Conheça o agro 5.0. Disponível em: <https://mundoagrobrasil.com.br/ia-e-agronegocio-no-brasil-conheca-agro-5-0/>. Acesso em: 01 abril, 2024.

JARDIM, F. **Harvesting AI-driven *insights* and efficiencies with agricultural data innovation.** Microsoft Azure Blog, 2024. Disponível em: https://azure.microsoft.com/en-us/blog/harvesting-ai-driven-*insights*-and-efficiencies-with-agricultural-data-innovation/. Acesso em: 22 maio 2024.

Jha, A., et al. (2019). ***Robotics and Automation in Agriculture:*** *Current Trends and Future Prospects. Journal of Robotics in Agriculture.*

Jha, K.; DOSHI, A.; PATEL, P.; SHAH, M. ***A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence.*** *Artificial Intelligence in Agriculture*, v. 2, p. 1-12, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.05.004. Acesso em: 01 abril, 2024.

KAMILARIS, Andreas; PRENAFETA-BOLDÚ, Francesc X. ***A review of the use of convolutional neural networks in agriculture.*** *The Journal of Agricultural Science*, v. 156, n. 3, p. 312-322, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1017/S0021859618000436. Acesso em: 01 abril, 2024.

KLERKX, L.; ROSE, D. et al. ***Impacts of Digital and Precision Agriculture on Sustainability*****.** *Journal of Agricultural Systems*, 2019.

KUBOTA, M.; ROSA, A. S. ***Security Assessment of Agriculture IoT (AIoT) Applications.*** *Applied Sciences*, v. 13, n. 5, p. 5841, 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/1424-8220/23/7/3752. Acesso em: 22 maio 2024.

KUKREJA, V.; DHIMAN, P.; MANOHARAN, P.; KAUR, A.; KAMRUZZAMAN, M. M. ***Amalgamated convolutional long term network (CLTN) model for Lemon Citrus Canker Disease Multi-classification.*** *Electronics*, v. 11, n. 3, p. 495, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/electronics11030495. Acesso em: 08 fevereiro, 2025.

Kumar, A., & Singh, R. (2023). ***Artificial Intelligence in Agriculture:*** Opportunities and Challenges. Journal of Agriculture and Food Research.

LIMA, A. **Inteligência artificial no agronegócio: quais seus usos e desafios?** Disponível em: <https://rehagro.com.br/blog/inteligencia-artificial-no-agronegocio/>. Acesso em: 01 abril, 2024.

LIPSEY, M. W.; WILSON, D. B. **Practical Meta-Analysis.** Sage Publications, Inc, 2001.

LIU, Wei; ANGUELOV, Dragomir; ERHAN, Dumitru; SZEGEDY, Christian; REED, Scott; FU, Cheng-Yang; BERG, Alexander C. SSD: *Single Shot MultiBox Detector*. ***In: European Conference on Computer Vision. Springer****, Cham*, 2016. p. 21-37.

MANFREDO NETO, Leonardo. **Perspectiva, implementação, gestão e tecnologias da agricultura digital:** um estudo de caso aplicado ao agronegócio brasileiro. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2023.

MARIANO, Ari Melo; SANTOS, Maíra Rocha. **Revisão da Literatura:** Apresentação de uma Abordagem Integradora. In: XXVI Congresso Internacional AEDEM: Economia, Negócios e Incertezas: ideias para uma política industrial europeia e mediterrânea. Reggio Calabria (Itália): 4 e 5 de setembro de 2017. AEDEM, 2017.

MATO GROSSO ECONÔMICO. **PIB-MT registra a maior variação percentual do país e cresce mais de 1.230% em 20 anos.** 2024. Disponível em: https://matogrossoeconomico.com.br/economia/pib-mt-registra-a-maior-variacao-percentual-do-pais-e-cresce-mais-de-1-230-em-20-anos/. Acesso em: 24 fev. 2025.

MAXWELL, J. A. **Qualitative research design**. [s.l: s.n.].

Neto, L. M. (2021*).* ***Integrated Approaches for IoT and Big data in Brazilian Agribusiness.*** *Journal of Agritech Innovations,* 5(2), 112-130.

Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2017). ***How Smart, Connected Products Are Transforming Competition.*** *Harvard Business Review*.

REIM, W.; ÅSTRÖM, J.; ERIKSSON, O. *Implementation of Artificial Intelligence (AI): A Roadmap for Business Model Innovation.* **AI**, v. 1, n. 2, p. 180–191, 3 maio 2020. Acesso em: 01 abril, 2024.

REN, Shaoqing; HE, Kaiming; GIRSHICK, Ross; SUN, Jian. Faster R-CNN. ***Towards real-time object detection with region proposal networks. In:*** *Advances in neural information processing systems*, 2015, v. 28, p. 91-99.

ROSE, D. et al. ***Benefits of Agriculture 4.0 for People, Production, and the Planet.*** *Environmental Science & Technology*, 2020.

SHU, L. **Contribuições significativas para a integração de tecnologias inteligentes na agricultura.** ORCID, 2024. Disponível em: https://orcid.org/0000-0003-2111-5918. Acesso em: 19 maio, 2024.

Silva, A., & Martins, R. (2022). **A transformação digital no agronegócio: desafios e perspectivas. Pesquisa em Engenharia Agrícola**, 15(1), 70-85.

Silva, R., Oliveira, P., & Souza, A. (2022). **Impactos da IoT na agricultura de precisão. Journal of Smart Agriculture**, 8(3), 101-113.

SIMA. **Inteligência Artificial na agricultura:** a transformação do campo. 2023. Disponível em: https://blog.sima.ag/pt-br/2023/inteligencia-artificial-na-agricultura-a-transformacao-do-campo/. Acesso em: 01 abril, 2024.

SIMONYAN, Karen; ZISSERMAN, Andrew. ***Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. In:*** arXiv preprint arXiv:1409.1556, 2015.

SOTT, Michele Kremer; FURSTENAU, Leonardo Bertolin; KIPPER, Liane Mahlmann; GIRALDO, Faber D.; LOPEZ-ROBLES, Jose Ricardo; COBO, Manuel J.; ZAHID, Adnan. ***Precision Techniques and Agriculture 4.0 Technologies to Promote Sustainability in the Coffee Sector:*** *State of the Art, Challenges and Future Trends. Research Portal of Heriot-Watt University*, 2017. Disponível em: https://researchportal.hw.ac.uk/en/publications/precision-techniques-and-agriculture-40-technologies-to-promote-s. Acesso em: 01 abril, 2024.

Souza, A., Oliveira, J., & Gomes, D. (2021). **Tecnologias emergentes e a Agricultura 5.0: O futuro da produção agrícola. Revista de Engenharia Agrícola**, 22(5), 14-27.

TAYLOR, A. **Gestão de Mudanças em Ambientes de Agricultura Digital.** *Technology and Change Management*, v. 15, n. 1, p. 202-218, 2020.

Taylor, M. (2020). ***Blockchain Technology in Agriculture: Potential and Challenges*****.** Journal of *Agricultural Blockchain*.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. ***Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review.*** British Journal of Management, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003.

VEJA. Rumo ao Agro 5.0: como a inteligência artificial está transformando o campo. Revista

Veja, 2025. Disponível em: https://veja.abril.com.br/economia/rumo-ao-agro-5-0-como-inteligencia-artificial-esta-transformando-o-campo/. Acesso em: 23 fev. 2025.

WOLFERT, Sjaak; GE, Lan; VERLOOIJ, Bjorn. ***Big data* in smart farming – a review.** *In: Agricultural Systems*, 2017, v. 153, p. 69-80.

WU, Jianjun; WANG, Shiqiang; LI, Ming. ***Machine learning applications in precision agriculture. In:*** *Precision Agriculture Journal*, 2022a, v. 23, n. 1, p. 15-34.

ZAMBON, A. et al. ***Progress and Stages of Implementation of Agriculture 4.0 in Brazil.*** *Brazilian Journal of Agriculture*, 2019.

ZHAI, Y. et al. ***Agriculture 4.0:*** *An Attractive Topic in the Scientific Community. Agricultural Informatics*, 2020.

ZHAI, Zhengyu; HU, Qiang; WANG, Min. ***A comprehensive review on applications of machine learning in agricultural production. In:*** *Computers and Electronics in Agriculture*, 2020, v. 175, p. 105-119.

ZHANG, B.; BAI, Y.; GUO, Y.; CAO, B.; ZHANG, Q. ***Multi-network fusion algorithm with transfer learning for green cucumber segmentation and recognition under complex natural environment.*** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 194, p. 106789, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106789. Acesso em: 08 fevereiro, 2025.

ZHAO, Lina; TANG, Qing; LIU, Feng. **Climate prediction models and agricultural decision making. In:** Environmental Modelling & *Software*, 2022b, v. 128, p. 104-119.

APÊNDICES

1. APENDICE A

ROTEIRO DE ENTREVISTA

Formato: Entrevista semiestruturada

Objetivo: Compreender a relação das empresas com o Agro 4.0, o Agro 5,0 e a Inteligência Artificial, identificando desafios, oportunidades e impactos na implementação dessas tecnologias no Brasil.

As perguntas a seguir foram aplicadas indistintamente a todos os entrevistados. No entanto, por se tratar de um formato semiestruturado, questões adicionais poderão ter sido incluídas conforme a função e o grau hierárquico do entrevistado, para aprofundamento da análise.

1. **Contexto Geral da Organização**
    - **a.** Qual é o seu papel dentro da empresa e como suas atividades se relacionam com o Agro 5.0?
    - b. Como a empresa se posiciona no mercado em relação ao Agro 5.0? Quais estratégias têm sido adotadas para acompanhar a transformação digital no setor do agronegócio?
2. **Processos e Implementação da Inteligência Artificial**
    - a. Quais tecnologias de Inteligência Artificial já foram implementadas na empresa? Como essas ferramentas impactaram as operações?
    - b. Como a empresa conduz a integração dessas tecnologias aos processos produtivos? Existe um modelo estruturado ou *roadmap* seguido para implementação?
    - c. Quais foram os principais desafios enfrentados no processo de implementação da Inteligência Artificial? Como foram superados?
    - d. Existe um acompanhamento contínuo para avaliar os resultados das tecnologias aplicadas? Como isso é realizado?
3. **Desafios e Necessidades**
    - a. Quais são as principais dores e necessidades da empresa no que se refere à adoção da Inteligência Artificial no agronegócio brasileiro?

b. Existem barreiras regulatórias, técnicas ou culturais que dificultam a implementação dessas tecnologias?

4. **Resultados e Impactos da IA no Agro 4.0 (Caso tenha sido implementado)**
    a. Quais foram os principais resultados obtidos com a implementação da Inteligência Artificial? Houve aumento de produtividade, redução de custos ou melhoria na tomada de decisão?
    b. Como a empresa avalia o impacto da Inteligência Artificial no longo prazo? Existem planos para expandir o uso dessas tecnologias?

5. **Perspectivas Futuras e Inovação**
    a. Quais tendências tecnológicas a empresa enxerga como promissoras para o setor agropecuário nos próximos anos?
    b. A empresa possui estratégias para inovação contínua e adaptação às novas tecnologias emergentes? Como essa cultura é incentivada internamente?
    c. Observação: A entrevista será conduzida de forma dinâmica, permitindo que novas questões sejam exploradas conforme as respostas dos entrevistados. O roteiro busca captar tanto os desafios e dificuldades enfrentados quanto os benefícios e impactos positivos da implementação da Inteligência Artificial no Agro 4.0.