

CENTRO PAULA SOUZA
ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL PROFESSOR JADYR SALLES
Curso Técnico em Administração Integrado ao Ensino Médio

ANA ELISA COSTA CARAMURI
BIANCA FAGUNDES CABRAL
ÍISIS RODRIGUES DE OLIVEIRA
JAMILY FERREIRA DE SOUZA
LAÍS TAKAYAMA DE CARVALHO

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, SETOR AGRÍCOLA E CULTIVO DA
SOJA: Correlação em um Contexto Brasileiro

Porto Ferreira – SP

2025

ANA ELISA COSTA CARAMURI
BIANCA FAGUNDES CABRAL
ÍISIS RODRIGUES DE OLIVEIRA
JAMILY FERREIRA DE SOUZA
LAÍS TAKAYAMA DE CARVALHO

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, SETOR AGRÍCOLA E CULTIVO DA
SOJA: Correlação em um Contexto Brasileiro**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Administração da ETEC Prof Jadyr Salles, orientado pelo Profº. Renato Vicente de Paula, como parte das exigências para a obtenção do título de Técnico em Administração.

Porto Ferreira – SP

2025

ANA ELISA COSTA CARAMURI

BIANCA FAGUNDES CABRAL

ÍSIS RODRIGUES DE OLIVEIRA

JAMILY FERREIRA DE SOUZA

LAÍS TAKAYAMA DE CARVALHO

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, SETOR AGRÍCOLA E CULTIVO DA
SOJA: Correlação em um Contexto Brasileiro**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como requisito parcial para obtenção do título de Técnico, no curso de Administração da ETEC Prof. Jadyr Salles em Porto Ferreira - SP

Porto Ferreira, ____ de _____ de 2025

BANCA EXAMINADORA

Ana Júlia dos Santos Rani

Licenciatura Plena em Letras - Português e Espanhol

Bruno Shildres Giroto Silva

Bacharel em Direito, Tecnólogo em Transações Imobiliárias

Pós-Graduação em Direito do Trabalho

Teresa Cristina Barbosa Rodrigues Croti

Bacharel em Administração de Empresas

Bacharel em Ciências Contábeis

Porto Ferreira - SP

2025

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, que nos deu forças para concluir este projeto de forma satisfatória.

Aos professores envolvidos que nos influenciaram e nos apoiaram em toda a trajetória.

Por fim agradecemos a banca composta por Ana Julia dos Santos Rani, Bruno Shildres Giroto Silva e Teresa Cristina Barbosa Rodrigues Croti, por disponibilizar o seu tempo para analisar nosso Trabalho de Conclusão de Curso final.

“Que nada nos limite, que nada nos defina, que nada nos sujeite. Que a liberdade seja nossa própria substância, já que viver é ser livre.”

Simone de Beauvoir

RESUMO

O Trabalho de Conclusão de Curso aqui disposto debruça-se sobre o circuito histórico da soja desde suas origens na Ásia até sua consolidação como uma das protagonistas na cultura agrícola brasileira, bem como investiga a amplitude de sua produção no século vigente e as influências da introdução das Inteligências Artificiais (IAs) no setor agrário. Primordialmente, apresenta-se o percurso geográfico da oleaginosa, a qual é domesticada há mais de quatro milênios na China e foi progressivamente difundida no hemisfério ocidental entre os séculos XVII e XIX. Sua chegada ao Brasil ocorreu no final do século XIX, e sua expansão se deu, essencialmente, nas décadas de 1960 e 1970, favorecida por políticas públicas, avanços tecnológicos e parcerias internacionais, fatores que possibilitaram a adaptação da cultura em diversos biomas brasileiros, em especial, o Cerrado. A pesquisa discute concomitantemente a incorporação de agentes de Inteligência Artificial na agricultura, abordando sua definição, evolução histórica e aplicações contemporâneas. Examinam-se tecnologias como machine learning, visão computacional, robótica agrícola e sistemas de recomendação, que permitem otimizar operações como monitoramento de lavouras, manejo nutricional, controle de pragas, irrigação e logística. Ademais, destacam-se os ganhos econômicos e ambientais provenientes desse processo, como a redução de desperdícios, o aumento da eficiência, o uso otimizado de recursos naturais e a maior precisão na tomada de decisões. Adicionalmente, analisa-se a reestruturação das funções do trabalho agrícola frente a tal inovação, evidenciando a diminuição de trabalhos manuais, a demanda por trabalhadores mais qualificados e a transição para atividades de supervisão e análise de dados. São abordados também obstáculos como a falta de conectividade no campo, custos de implementação, resistência cultural e questões éticas relacionadas ao uso de dados e às disparidades tecnológicas entre pequenos e grandes produtores. Depreende-se, portanto, que a expansão da soja no Brasil e a adoção crescente de IAs no setor simbolizam processos interconectados que fomentam a modernização do agronegócio, incentivando maior competitividade, sustentabilidade e transformação na estrutura dos cultivos. No entanto, a plena consolidação dessa nova etapa tecnológica depende da superação de barreiras socioeconômicas, infraestruturais e formativas ainda presentes no meio rural.

PALAVRAS-CHAVE: soja; produção agrícola; Inteligência Artificial; agricultura de precisão; agronegócio brasileiro.

ABSTRACT

This Final Course Paper examines the historical trajectory of soybeans, from their origins in Asia to their consolidation as one of the leading crops in Brazilian agriculture, and also investigates the breadth of their production in the current century as well as the influences of the introduction of Artificial Intelligence (AI) in the agrarian sector. Primarily, the study presents the geographical path of the oilseed, which has been domesticated for more than four millennia in China and was progressively disseminated throughout the Western Hemisphere between the seventeenth and nineteenth centuries. Its arrival in Brazil occurred at the end of the nineteenth century, and its expansion took place mainly during the 1960s and 1970s, driven by public policies, technological advances, and international partnerships—factors that enabled the crop's adaptation to various Brazilian biomes, particularly the Cerrado. The research also discusses the incorporation of Artificial Intelligence agents in agriculture, addressing their definition, historical evolution, and contemporary applications. Technologies such as machine learning, computer vision, agricultural robotics, and recommendation systems are examined, as they allow optimization of operations such as crop monitoring, nutrient management, pest control, irrigation, and logistics. Moreover, the study highlights the economic and environmental benefits resulting from this process, including waste reduction, increased efficiency, optimized use of natural resources, and greater precision in decision-making. Additionally, the research analyzes the restructuring of agricultural labor roles in the face of such innovation, emphasizing the reduction of manual labor, the growing demand for more qualified workers, and the transition toward supervisory and data-analysis activities. Challenges are also addressed, such as the lack of connectivity in rural areas, implementation costs, cultural resistance, and ethical issues related to data use and technological disparities between small and large producers. It is therefore inferred that the expansion of soybean cultivation in Brazil and the growing adoption of AI in the sector represent interconnected processes that foster the modernization of agribusiness by promoting greater competitiveness, sustainability, and transformation in crop structures. However, the full consolidation of this new technological stage depends on overcoming socioeconomic, infrastructural, and educational barriers that persist in rural environments.

KEYWORDS: soybeans; agricultural production; Artificial Intelligence; precision agriculture; Brazilian agribusiness.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Análise de área plantada e volume produtivo da soja do século XXI.	22
Gráfico 2. Área de soja plantada: dados por região durante o século XXI	24
Gráfico 3. Volume produtivo da soja: dados por região durante o século XXI.....	25
Gráfico 4. Produtividade do cultivo da soja: dados por região durante o século XXI	26
Gráfico 5. Área de soja plantada por região e participação percentual de cada na safra 2024/2025	27
Gráfico 6. Volume produtivo da soja por região na safra de 2024/2025.....	28
Gráfico 7. Produtividade do cultivo da soja por região na safra de 2024/2025.....	29
Gráfico 8. Previsão do valor de mercado da agricultura de precisão global.....	48
Gráfico 9. Valor global estimado de inteligência artificial no mercado agrícola	48
Gráfico 10 - Inteligência Artificial no Setor Agrícola	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Problema de pesquisa	14
1.2 Hipótese.....	14
1.3 Justificativa	14
1.4 Objetivo geral.....	15
1.4.1 Objetivos específicos	15
2 METODOLOGIA.....	16
3 TRAJETÓRIA HISTÓRICA E GEOGRÁFICA DA SOJA: DO ORIENTE AO OCIDENTE.....	17
4 NATURALIZAÇÃO BRASILEIRA DA SOJA.....	19
4.1 Expansão da soja no brasil no século XX.....	20
5 EXPRESSIVIDADE DO CULTIVO DE SOJA NO BRASIL NO SÉCULO XXI.....	22
5.2 Análise de área cultivada, produção e produtividade por região.....	23
5.2.1 Área plantada.....	23
5.2.2 Produção.....	24
5.2.3 Produtividade	25
5.3 Análises específicas da safra 2024/2025.....	26
5.3.1 Área cultivada	26
5.3.2 Produção.....	27
5.3.3 Produtividade	28
6 PARTICIPAÇÃO DA SOJA NA ECONOMIA: VALOR GERADO, FUNÇÃO SOCIAL E DESTINO ECONÔMICO.....	30
7 DEFINIÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	33
8 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.....	34
9 APLICAÇÕES ATUAIS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.....	35
10 DESAFIOS ÉTICOS E SOCIAIS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.....	36

11 PERSPECTIVAS FUTURAS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	37
12 A UTILIZAÇÃO DAS INTELIGÊNCIAS ARTIFICIAIS NAS PRODUÇÕES AGRÍCOLAS	38
12.1 Inteligência artificial e agricultura de precisão	38
12.2 Aplicações práticas da ia no campo.....	39
13 BENEFÍCIOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS	41
14 DESAFIOS E LIMITAÇÕES DA ADOÇÃO DA IA NA AGRICULTURA.....	42
14.1 Infraestrutura tecnológica e conectividade rural	42
14.2 Capacitação técnica e resistência cultural	42
14.3 Questões éticas e sustentabilidade social	43
15 PERSPECTIVAS FUTURAS	45
15.1 Avanços tecnológicos e digitalização do agronegócio	45
15.2 Parcerias entre academia, empresas e governo	45
16 PANORAMA ATUAL DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO SETOR AGRÍCOLA ...	47
17 ALTERAÇÕES TÉCNICAS NO MODO DE CULTIVAR: MANEJO, MONITORAMENTO E DADOS	49
17.1 Manejo e precisão	49
17.2 Monitoramento contínuo e em tempo real	49
17.3 Tomada de decisão orientada por dados	50
18 IMPACTOS NO TRABALHO AGRÍCOLA E NAS RELAÇÕES DE EMPREGO ...	51
18.1 Reconfiguração da função do trabalhador agrícola	51
18.2 Demandas de qualificação e novo perfil profissional	51
18.3 Possibilidade de aumento da eficiência e valorização de tarefas especializadas	52
19 ALTERAÇÕES ORGANIZACIONAIS E NA CADEIA PRODUTIVA.....	53
19.1 Planejamento estratégico integrado	53
19.2 Diferença entre grandes e pequenos produtores.....	53
19.3 Impacto sobre insumos e recursos	54

20 BARREIRAS E INCERTEZAS NA ADOÇÃO.....	55
20.1 Infraestrutura e conectividade.....	55
20.2 Custo de investimento e retorno	55
20.3 Capacitação e resistência à mudança	55
20.4 Privacidade, segurança de dados e regulação	56
21 BENÉFICOS DA ENTRADA DAS INTELIGÊNCIAS ARTIFICIAIS NO SETOR AGRÁRIO.....	57
21.1 Progressão tecnológica	57
21.2 Agricultura de precisão	58
21.3 Monitoramento da saúde das culturas	58
21.4 Previsão do clima e dos preços	58
21.5 Robótica e automação no campo	59
21.6 Previsão de produtividade e rendimento das safras	59
22 CRESCIMENTO DO USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO SETOR AGRÁRIO	60
22.1 Uso eficiente dos recursos e sustentabilidade.....	60
23 DESAFIOS E PERSPECTIVAS.....	62
24 REESTRUTURAÇÃO DE FUNÇÕES APÓS O ADVENTO DE IAS NO CULTIVO DE SOJA.....	64
24.1 Antes da IA/ agricultura digital: trabalho humano intensivo.....	64
24.2 Transição tecnológica	64
25 USOS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA	65
25.1 Quem a utiliza	65
25.2 Uso geográfico.....	65
25.3 Etapas utilizadas.....	65
25.4 Uso em diversos cultivos	66
26 CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
GLOSSÁRIO	70

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
----------------------------------	----

1 INTRODUÇÃO

O projeto tem como objeto de estudo as alterações na agricultura brasileira, em especial, sobre o cultivo de soja, com a adaptação da produção mediante adoção de ferramentas de inteligência artificial. A análise que segue se debruça sobre a correlação entre a cultura de soja brasileira e tecnologias pautadas na automação agrícola guiadas por IAs.

1.1 Problema de pesquisa

Como avançar tecnologicamente no âmbito agrícola, pautando-se, principalmente, na cultura de soja, utilizando-se de plataformas de inteligência artificial de um modo que seja benéfico a todas as pessoas envolvidas no processo?

1.2 Hipótese

A Inteligência Artificial provocará uma transformação significativa no mercado de trabalho agrícola, reduzindo funções repetitivas e operacionais, ao mesmo tempo em que cria novas oportunidades relacionadas à supervisão, análise de dados e automação.

1.3 Justificativa

O advento de tecnologias de inteligência artificial traz consigo mudanças significativas no modo de se produzir, especialmente em ambientes em que a automação dos processos e a eficiência produtiva estabelecem-se como prioridade, como ocorre dentro da produção agrícola. Mediante isso, é notória a importância de se discutir as influências que esse novo *modus operandi* exerce sobre todos aqueles relacionados ao meio.

1.4 Objetivo geral

Analisar como a inteligência artificial exerce influência sobre a agricultura, em especial, sobre o panorama do cultivo de soja brasileiro.

1.4.1 Objetivos específicos

- Conceituar “Inteligência artificial”;
- Contextualizar a soja no Brasil;
- Mapear as regiões do território brasileiro que lideram o cultivo de soja;
- Estruturar uma tese que situe o uso das IAs em produções agrícolas;
- Analisar quais alterações podem ocorrer no modo de se cultivar após a entrada massiva de IAs no mercado de trabalho agrícola;
- Indicar os benefícios da entrada das IAs dentro do setor agrário;
- Compreender a reestruturação de funções após valer-se o uso de IAs no cultivo de soja;

2 METODOLOGIA

O estudo adotou abordagem exploratória, baseada em pesquisa bibliográfica e documental, com procedimentos qualitativos e quantitativos. A pesquisa bibliográfica contemplou livros, artigos científicos e relatórios que tratam da evolução do cultivo da soja no Brasil, da modernização agrícola e dos fundamentos da Inteligência Artificial.

A pesquisa documental utilizou dados oficiais provenientes de instituições como Conab, Embrapa, Mapa e Abiove, referentes à área plantada, produção, produtividade e exportações. Esses dados foram organizados em tabelas e gráficos, possibilitando análise quantitativa e identificação de tendências.

A abordagem qualitativa foi aplicada na interpretação dos impactos sociais, tecnológicos e estruturais decorrentes da adoção de sistemas de Inteligência Artificial no setor agrícola. Dessa forma, a metodologia empregada permitiu compreender, de modo integrado, os aspectos históricos, produtivos e tecnológicos que relacionam o cultivo da soja às inovações baseadas em IA.

3 TRAJETÓRIA HISTÓRICA E GEOGRÁFICA DA SOJA: DO ORIENTE AO OCIDENTE

Segundo o artigo “A Soja no Brasil História e Estatística” publicado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em parceria com o Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSo), em 1987, não se há consenso de onde, exatamente, se origina o cultivo da soja. Sabe-se, porém, que se trata de um grão tipicamente asiático, que surgia ao longo do rio *Yangtse*, na China. Seus registros mais antigos de que se tem conhecimento são, também, chineses e remontam há mais de 4.000 anos, fazendo com que se reconheça o vegetal como um dos mais antigos a ser plantados pelo homem. (Morse, 1950 apud BONATO; BONATO, 1987, p. 8).

Seguidos estes fatos, só se tornaria a ter relatos proeminentes sobre a soja no período de transição entre os séculos XVII e XVIII, em que, após passear pelo Japão, nos anos de 1691 e 1692, o botânico alemão *Engelbert Kaempher* compartilhou na Europa os conhecimentos e usos relativos à soja, no ano de 1712 (BONATO; BONATO 1987, p. 8)

Foi, entretanto, apenas em 1739 que houve um plantio experimental em Paris – após o país ter recebido sementes da China por emissários- e, quase se acercando do fim do século, em 1790, realizou-se o plantio em Kew, na Inglaterra. (Piper & Morse, 1923 apud BONATO; BONATO, 1987, p. 8). Vale ressaltar que, nestes dois plantios ocidentais pioneiros, a finalidade do grão de soja era o ajardinamento e seu cunho era meramente estético, visto que fora plantado, inicialmente, em jardins botânicos.

“Durante as duas últimas décadas do século XIX a soja foi testada em, praticamente, todas as estações experimentais do USDA (*United States Department of Agriculture*), nos EUA” (Gazzoni; Dall’ Agnol, 2018, p. 27).

A importância internacional do grão de soja levou a criação, em 1920, da *American Soybean Association (ASA)* e, na segunda década do século XX, os EUA iniciaram sua exploração como forrageira ou adubo verde. Em 1940, no auge da sua utilização como forrageira, foram cultivados, nos EUA, cerca de dois milhões de hectares (Brum, Heck e Muller, 2005). Cabe lembrar que as primeiras plantações comerciais de soja ocorreram na China onde, no início do século XX, a produção chegava a 2,5 milhões de toneladas e o consumo era, fundamentalmente, no leste

asiático (Brum, Heck e Muller, 2005; Cunha, 2020 *apud* ESPÍNDOLA; CUNHA, JABBOUR, 2024, p. 57)

Conclui-se que a ocidentalização do grão de soja foi um processo que, apesar de perpassado pelo século XVIII, demonstrou a potência que esse grão viria a ter no futuro. Suas diversas finalidades, já exploradas durante esse processo, foram essenciais para que se percebesse a pluralidade que a oleaginosa poderia oferecer se devidamente utilizada; pluralidade essa que se demonstraria ainda mais abrangente conforme o avanço das pesquisas que se seguiriam.

4 NATURALIZAÇÃO BRASILEIRA DA SOJA

No Brasil, os primeiros relatos da introdução da soja remontam ao ano de 1882, quando o professor Gustavo D'utra, da Escola de Agronomia da Bahia a cultivou em território baiano, com fins de estudá-la (SINDMILHO & SOJA, 2012). Após os testes na Bahia, a oleaginosa encontrou seu espaço em território paulista quando, em 1892, uma década após o início dos estudos relacionados a ela, seu cultivo foi iniciado pelo Dr. *Franz Wilhelm Daffert*, um químico agrícola austríaco e primeiro diretor-geral do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (BONATO; BONATO, 1987; EMBRAPA, 2004; 2005 *apud* FREITAS, 2016, p. 4). De acordo com Freitas (2016), "no Rio Grande do Sul, a soja teria sido cultivada pela primeira vez em Dom Pedrito em 1900. Em 1901 teria sido publicado o primeiro trabalho com soja no Estado, pelo Professor de Agronomia do Liceu Rio-Grandense Guilherme Minssen.

Vale destacar, também, que, durante esse período de pioneirismo da soja em território nacional, estudava-se o grão com o intuito de que seu uso findasse à adubação do solo, assim como foi nos Estados Unidos (ESPÍNDOLA, CUNHA, JABBOUR, 2024). Ainda nesse contexto, a soja foi semeada para fins experimentais na Estação de Agricultura e Criação, no ano de 1921, pelo Professor Gentil Coelho Leal e pelo técnico rural Floriano Peixoto Machado, em Santa Rosa, RS, para, posteriormente, ter suas sementes destinadas ao cultivo, em 1924, por parte de agricultores da região (LEAL, 1967; COSTA, 1996 *apud* FREITAS, 2016, p. 4).

Apesar de a soja ter sido cultivada experimentalmente desde 1921, apenas durante as décadas de 1960/1970 que a cultura da soja se tornou economicamente importante para o Brasil, uma vez que foi beneficiada com a política de incentivos fiscais à triticultura no país nessa época. Assim, cultivava-se trigo no inverno e soja durante o verão, utilizando-se para ambas as culturas as mesmas áreas de cultivo, mão-de-obra e maquinaria (EMBRAPA, 2004; 2005 *apud* FREITAS, 2016, p. 5).

Portanto, percebe-se que a chegada da soja em território brasileiro antecedeu aos anos de república do país e foi, gradualmente, conquistando seu espaço desde as experimentações no Nordeste até sua consolidação, em sua maioria, em solo sulista e, em menor, mas ainda significativa escala, em solo sudestino.

4.1 Expansão da soja no Brasil no século XX

No início do século XX, o cultivo de soja, como citado anteriormente, centralizava-se nas regiões Sul e Sudeste do território nacional brasileiro. Mas, como afirma Freitas (2011), o desenvolvimento agrícola brasileiro esteve sempre entrelaçado com desenvolvimentos tecnológicos pertinentes aos setores agrários. Ainda segundo o autor, são diversas as técnicas utilizadas para a potencialização do setor primeiro no Brasil, dentre elas: a calagem do solo, processo no qual adiciona-se calcário no solo, de modo a aumentar seu pH, potencial hidrogênico, isto é, reduzir o nível de acidez deste solo; manejo de adubação e de controle de pragas, sendo este um dos principais riscos às mais diversas cultivares e aquele um item-chave para a devida potencialidade dos cultivos, assim como para o consequente aumento da produtividade das regiões.

Por conseguinte, tais técnicas propiciaram propiciou à cultura da soja a possibilidade de se fazer presente dentro das variadas condições edafoclimáticas do país. Ademais, o Manejo Integrado de Pragas (MIP), que une técnicas culturais e de controles biológico, físico e mecânico, foi vital para que houvesse o controle devido de insetos que ameaçavam as safras e, portanto, traziam consigo danos econômicos significativos (FREITAS, 2011).

Contudo, o aumento do protagonismo tanto da soja como, também, dos setores primários não se deve, exclusivamente, aos avanços científicos internos, mas, colaborativamente com as parcerias internacionais firmadas durante o século da historiografia. Como sustentado por Vieira Filho (2024), as alianças firmadas pela EMBRAPA foram um ponto vital para o desenvolvimento da agricultura na zona tropical; entretanto, segundo o autor “o crescimento do agronegócio brasileiro se deu por meio da transformação e geração de novos conhecimentos aplicados aos problemas locais, dependendo muito pouco da Revolução Verde, que representou a intensificação dos insumos modernos no mundo” (VIEIRA FILHO, 2024, p. 6).

Como instituições estrangeiras que colaboraram nessa dinâmica de cooperação técnico-científica, é possível citar o apoio americano, com o seu Departamento de Agricultura (Usda), os diversos acordos assinados com os franceses, entre o Instituto Nacional de Pesquisa Agrônômica (Inra), o Centro Internacional de Pesquisa Agrônômica para o Desenvolvimento (Cirad) e o Instituto

de Pesquisa para o Desenvolvimento (IRD), bem como uma estratégica parceria com os japoneses, por meio da Agência de Cooperação Internacional do Japão (Jica). (VIEIRA FILHO, 2024, p. 6)

Mediante o exposto, o bioma do Cerrado, essencialmente inadequado ao cultivo da soja, pôde desprender-se dessa alcunha com o auxílio dos avanços tecnológicos que não só possibilitaram a prática agrícola na região, como também o tornaram um expoente na plantação de soja. Essa expansão da fronteira agrícola foi nomeada de Mapitoba, a união das iniciais de seus Estados integradores: Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia (Freitas, 2011).

Outrossim, a expansão das fronteiras agrícolas ao clima tropical durante o século passado fez com que, além do Mapitoba, outra área ganhasse destaque: o Centro-Oeste. Segundo Correa e Ramos (2010), essa região tornou-se expoente no que se trata de representatividade nas produções agrícolas, graças aos resultados de “políticas pontuais do governo, que visaram a ampliação e o desenvolvimento da agropecuária naquela região.”

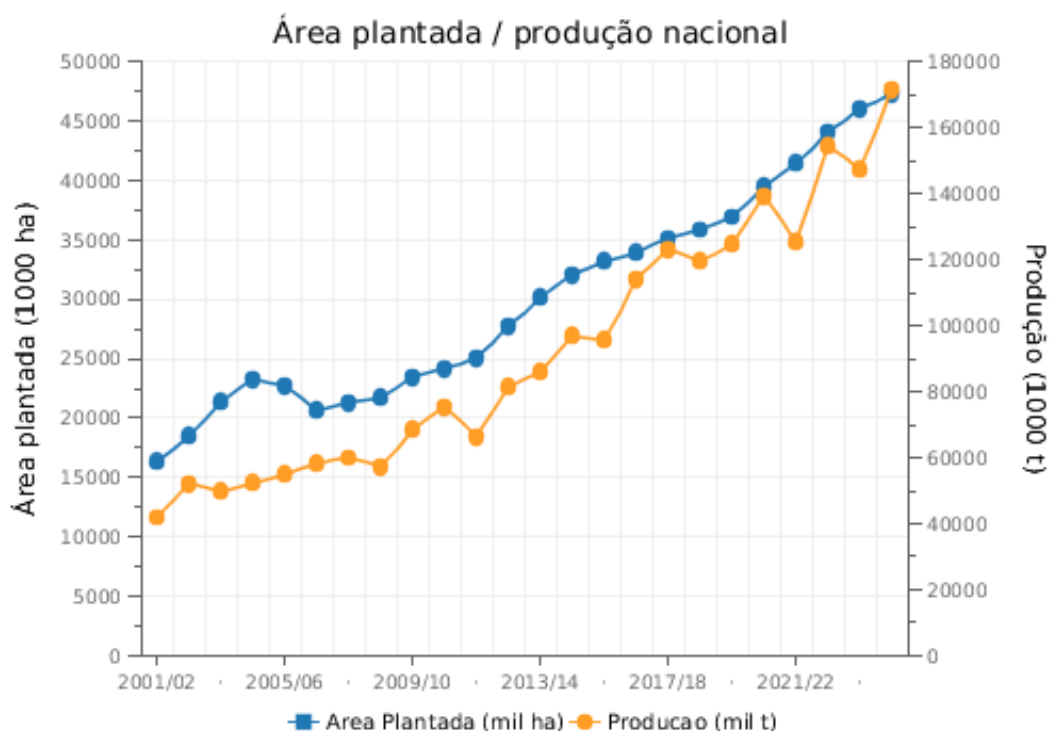
Naturalmente, essas políticas governamentais agiram como um forte incentivo ao desenvolvimento de cultivos agrícolas na região visto que, dentre elas, encontravam-se: uma redistribuição regional do crédito público rural; o Plano de Metas, que adequava a infraestrutura regional e o aporte financeiro em projetos como o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (Polocentro), instaurado em 1975, que despendia investimentos em setores de “transporte, pesquisa e agropecuária, armazenamento, energia, assistência e crédito rural” (COELHO, 2001; PESSÔA, 1988 *apud* CORREA; RAMOS, 2010, p. 6).

Tendo em vista o que neste segmento foi apresentado, percebe-se que a expansão das fronteiras agrícolas expressou-se proeminentemente no século XX por resultado de diversos fatores que vão desde o progresso das ciências agrônomas até parcerias internacionais; ao passo que, ao efetuar essas ações prol agropecuária como um todo, o cultivo do grão de soja encontrou solos férteis nas mais diversas áreas e em largas proporções, tendo em vista, os avanços em pesquisas sobre a oleaginosa que proporcionaram-na uma adaptabilidade quase ideal em todas as regiões do país.

5 EXPRESSIVIDADE DO CULTIVO DE SOJA NO BRASIL NO SÉCULO XXI

O grão de soja, como exposto previamente, difundiu-se com extrema significância no território brasileiro no século XX. No século contemporâneo, colhem-se os frutos desse processo expansivo e percebe-se a exponencialidade do cultivo da oleaginosa. De modo, gradual, as áreas de cultivo e os números da produção nacional vêm crescendo ao longo do século, como ilustra a tabela a seguir, disponibilizada digitalmente pelo Portal de Informações Agropecuárias da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab).

Gráfico 1. Análise de área plantada e volume produtivo da soja do século XXI.



Fonte: Conab

Verifica-se, conforme a tabela, o crescimento concomitante dos índices de desempenho durante o intervalo de tempo de mais de duas décadas. Na safra de 2001/2002, tem-se que a área plantada era de 16.329 mil hectares; a produção nacional, de 41.916,9 mil toneladas e a produtividade de 2.567 quilogramas/hectare. Já na mais recente safra, a de 2024/2025, os resultados apontam uma área plantada de 47.350,6 mil hectares, uma produção de 171.472,5 mil toneladas e produtividade

de 3.621 quilogramas/hectare. Em síntese, observam-se os crescimentos de, aproximadamente, 190% nas áreas cultivadas; cerca de 309,09% na produção e em torno de 41,06% no que trata a produtividade. (dados da Conab).

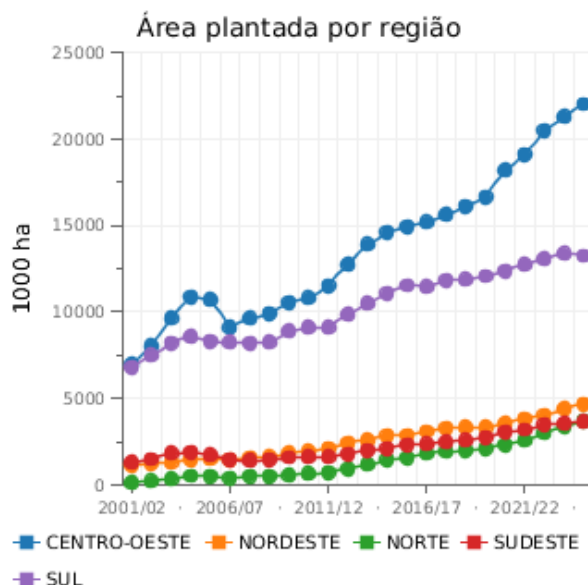
Segundo exposto pelo presidente da Conab, Edgar Pretto, durante o 12º Levantamento Anual da Safra de Grãos 2024/2025, a última safra de soja constitui um recorde nacional, apresentando crescimento de 13,3% em relação à safra anterior. Além disso, sua safra corresponde quase a metade da produção de grãos no país – 350,2 milhões de toneladas – constituindo, individualmente, 171, 47 milhões desse montante.

5.2 Análise de área cultivada, produção e produtividade por região

5.2.1 Área plantada

Um dos principais medidores de desempenho agrícola é a área plantada, que determina, justamente, as áreas destinadas ao cultivo – neste caso, de soja – em determinada região. A tabela a seguir apresenta os dados referentes a esse tópico, nas 5 regiões do Brasil, no período do século XXI, desde sua primeira safra até a sua mais recente.

Gráfico 2. Área de soja plantada: dados por região durante o século XXI



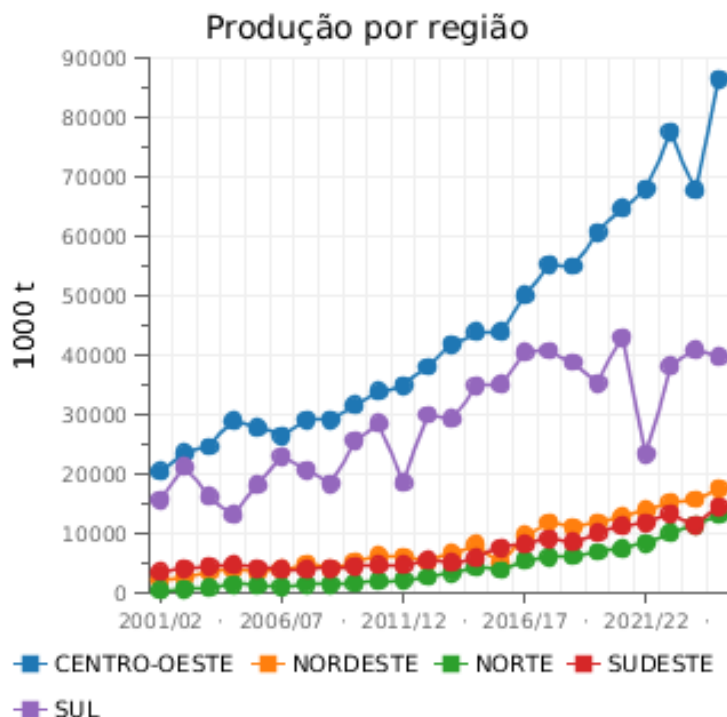
Fonte: Conab

No que compete à representatividade em área plantada, destacam-se as regiões Centro-Oeste, líder neste quesito devido à sua crescente expansão de fronteiras agrícolas ao decorrer dos últimos anos, e Sul, que, apesar de não ser o maior representante do cultivo da soja, é eminente tratando-se de área plantada. As demais regiões, apesar de não demonstrarem números elevados como as já citadas, se destacam pela gradual expansão de suas áreas de plantio, principalmente a partir da década de 10, quando pode-se observar um significativo aumento.

5.2.2 Produção

A produção agrícola, isto é, a quantidade do vegetal que, após passar pelos devidos processos de cultivo e estar completamente desenvolvida, é colhida, representa outro medidor agrícola essencial pois quantifica aquilo que foi colhido. A tabela a seguir apresenta os dados referentes a esse tópico, nas 5 regiões do Brasil, no período do século XXI, desde sua primeira safra até a sua mais recente.

Gráfico 3. Volume produtivo da soja: dados por região durante o século XXI



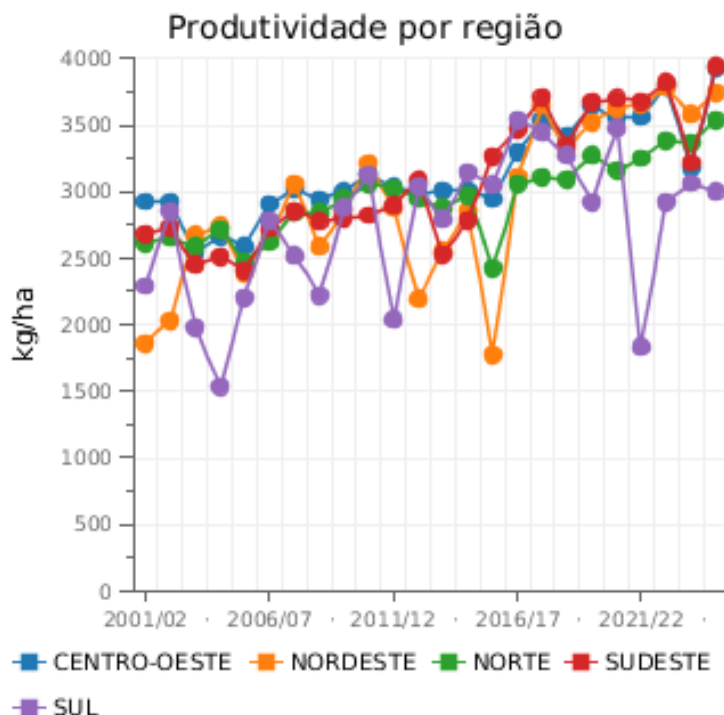
Fonte: Conab

Denota-se, a partir da análise dos dados oferecidos pela tabela, a proporcionalidade entre a área cultivada na região e seu volume produtivo, já que este apresenta crescimento análogo ao crescimento daquela. Em suma, os índices de produção de uma região mostram-se mais elevados condizentemente com sua área plantada.

5.2.3 Produtividade

Por fim, outro fundamental medidor agrícola é a produtividade, relação entre quantidade produzida por área plantada. Ele é fundamental pois avalia diretamente a eficiência das cultivares através de seu rendimento. A tabela a seguir apresenta os dados referentes a esse tópico, nas 5 regiões do Brasil, no período do século XXI, desde sua primeira safra até a sua mais recente.

Gráfico 4. Produtividade do cultivo da soja: dados por região durante o século XXI



Fonte: Conab

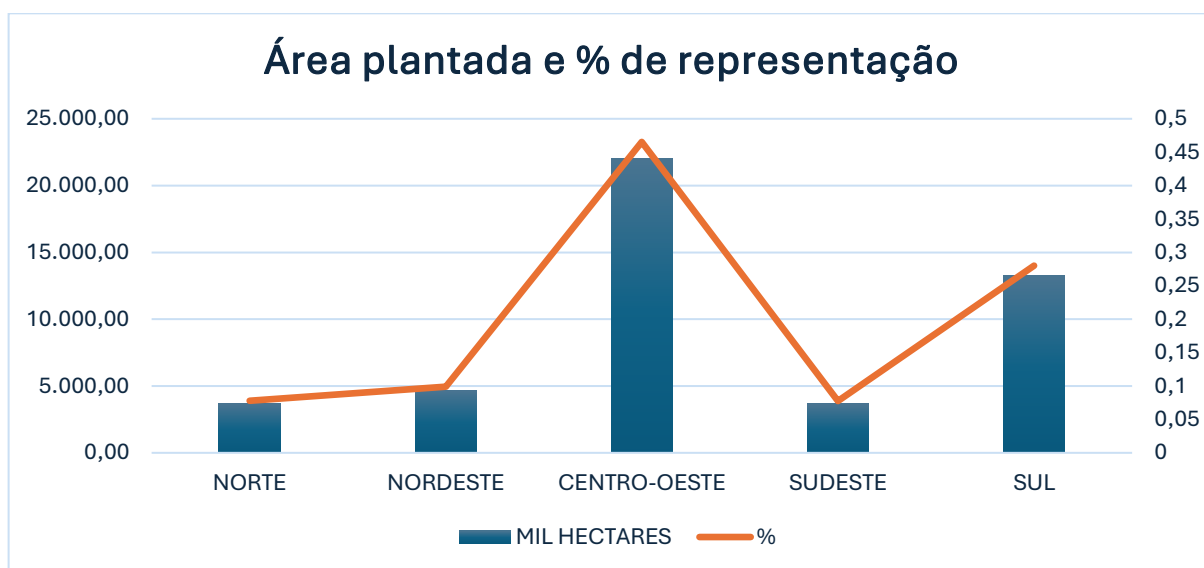
A tabela ilustra a variabilidade do rendimento agrícola alheia à área cultivada ao volume de produção. Isso se deve ao fato de que a produtividade de um cultivo depende de fatores edafoclimáticos e de ações antropológicas, ou seja, intercorrências de viés natural, como alterações no solo e no clima, e interferências do homem no processo, como o agravamento do efeito estufa, por exemplo.

5.3 Análises específicas da safra 2024/2025

5.3.1 Área cultivada

Na safra de 2024/2025, a área cultivada apresentou crescimento de aproximadamente 190% em relação a primeira safra do século, atingindo um total de 47.350,6 mil hectares de acordo com os dados mais recentes oferecidos pela Conab. Segue uma tabela elaborada a partir dos dados expostos, que ilustra a distribuição desse total entre as regiões do país.

Gráfico 5. Área de soja plantada por região e participação percentual de cada na safra 2024/2025



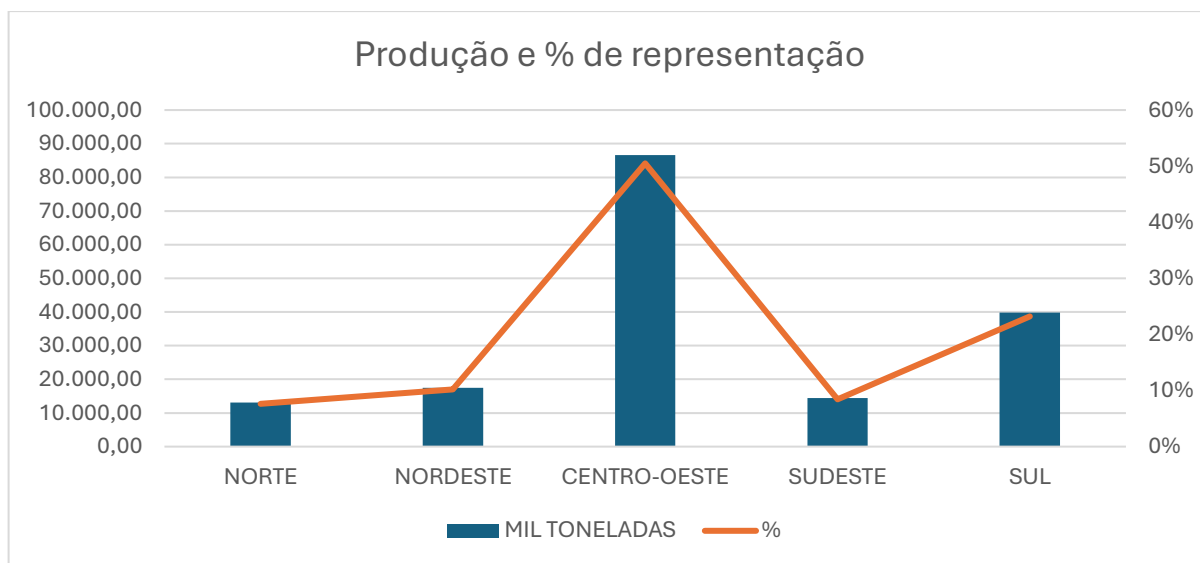
Fonte: das autoras

Listando as regiões em ordem de representação nas áreas de cultivo, obtém-se: Centro-Oeste, 22.035,20 mil hectares, 46,54% da área total; Sul, 13.261,80 mil hectares, 28% da área total; Nordeste, 4.679,50 mil hectares, 9,89% da área total; Norte, 3.701,60 mil hectares, 7,82% da área total e Sudeste, 3.672,50, 7,75% da área total.

5.3.2 Produção

A produção, nessa última safra, cresceu, comparada à safra de 2001/2002, cerca de 309,09%, alcançando o marco de 171,472,50 mil toneladas – 141,47 milhões de toneladas. Segue uma tabela elaborada a partir dos dados expostos, que ilustra a distribuição desse total entre as regiões do país.

Gráfico 6. Volume produtivo da soja por região na safra de 2024/2025



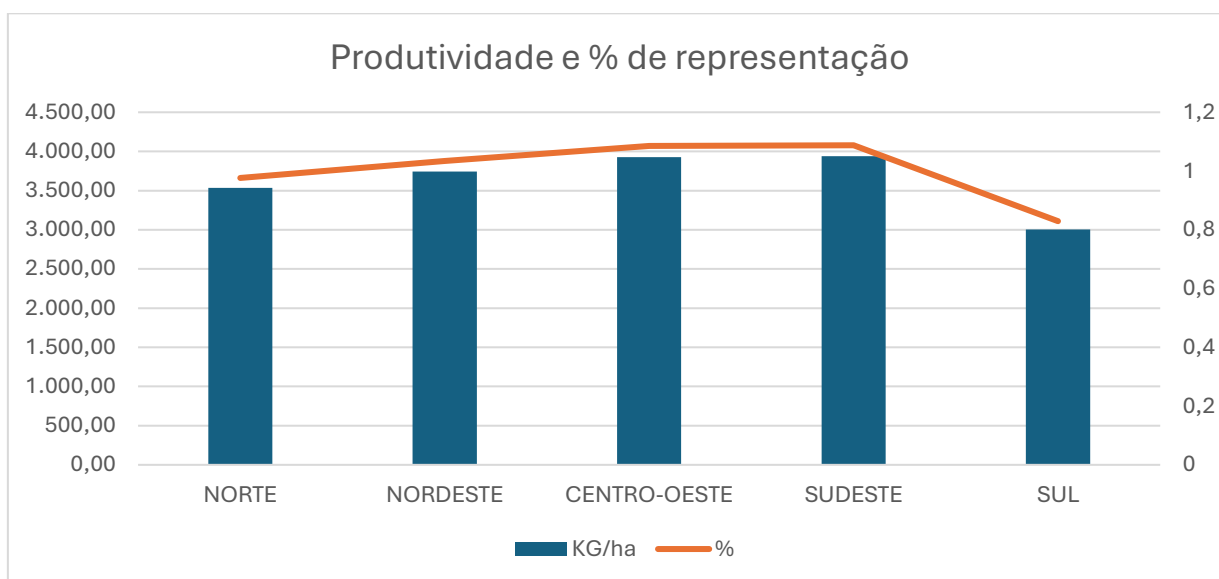
Fonte: das autoras

Elencando as regiões em ordem de representação na produção total, observa-se: Centro-Oeste, 86.578,30 mil toneladas, 50,49% da colheita total; Sul, 39.828,10 mil toneladas, 23,23% da colheita total; Nordeste, 17.514,80 mil toneladas; 10,21% da colheita total; sudeste, 14.463,90 mil toneladas, 8,44% da colheita total e Norte, 13.087,20 mil toneladas, 7,63%.

5.3.3 Produtividade

A produtividade média estabeleceu-se em 3.621 kg/ha, expressando aumento de 41,06% em relação àquela do início do atual centenário. Segue uma tabela elaborada a partir dos dados expostos, que ilustra o resultado individual desse índice nas regiões do país.

Gráfico 7. Produtividade do cultivo da soja por região na safra de 2024/2025



Fonte: das autoras

Dispondo as regiões em ordem de proximidade ao valor-base, sendo aqueles que o ultrapassam, mais valorizados, vê-se: Sudeste, 3,938,43 kg/ha, 108,77% de desempenho em relação ao valor-base; Centro-Oeste, 3,929,09 kg/ha, 108,50% de desempenho em relação ao valor-base; Nordeste, 3,742,88 kg/ha, 103,37% de desempenho em relação ao valor-base; Norte, 3,535,55 kg/ha, 97,64% de desempenho em relação ao valor-base e Sul, 3,003,22 kg/ha, 82,94% de desempenho em relação ao valor-base.

6 PARTICIPAÇÃO DA SOJA NA ECONOMIA: VALOR GERADO, FUNÇÃO SOCIAL E DESTINO ECONÔMICO

Adicionalmente, ao tratar do cenário contemporâneo da soja no Brasil, destaca-se sua presença no motor econômico nacional. Segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa), o grão representa a maior parcela constitutiva do VPB (Valor Bruto da Produção) brasileiro, correspondendo à R\$ 322,1 bilhões, de acordo com dados expostos em setembro de 2025 e referentes ao mês antecessor do mesmo ano.

Ademais, cabe salientar que esses valores elevados se devem, principalmente, ao teor de exportação relativo à oleaginosa, visto que ela é uma *commoditie* agrícola essencial. Nesse viés, espera-se que o grão atinja, no final de 2025, a posição de liderança no que diz respeito a seu comércio internacional, visto que, segundo Nascimento (2024), a soja é o produto mais representativo na exportação brasileira.

Outrossim, imprescinde discriminar os modos pelos quais a soja pode ser inserida em sua comercialização: grão, farelo e óleo. Essas 3 principais manifestações da soja no mercado reforçam a versatilidade como atributo primordial da soja. O comércio do grão culmina em seu uso como matéria-prima, com maior expressividade, na indústria alimentícia. O farelo destina-se à alimentação animal, sendo um ingrediente-chave para diversas rações animais e, devido ao seu valor nutricional, seu uso é amplamente difundido na pecuária. Por fim, o óleo de soja também se faz presente em âmbitos culinários e, além disso, é utilizado industrialmente na produção de biodiesel, cosméticos, tintas, entre outros.

A seguir, seguirão tabelas elaboradas pela Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (*Abiove*) a partir de dados do Ministério da Economia que expõem informações concretas e financeiras acerca do que foi anteriormente tratado nesse capítulo.

Tabela 1. Exportação em grão

Mês	Valor FOB (US\$ 1.000)			Peso Líquido (mil t)			Preço Médio (US\$/t)		
	2024	2025	Var. %	2024	2025	Var. %	2024	2025	Var. %
Jan	1.454.943	433.559	-70%	2.855	1.069	-63%	510	406	-20%
Fev	2.919.575	2.546.890	-13%	6.608	6.428	-3%	442	396	-10%
Mar	5.357.376	5.675.644	6%	12.600	14.658	16%	425	387	-9%
Abr	6.286.351	5.864.740	-7%	14.688	15.272	4%	428	384	-10%
Mai	5.751.861	5.505.282	-4%	13.437	14.100	5%	428	390	-9%
Jun	6.137.463	5.343.636	-13%	13.960	13.420	-4%	440	398	-9%
Jul	4.962.842	5.011.656	1%	11.250	12.257	9%	441	409	-7%
Ago	3.497.446	3.880.469	11%	8.042	9.338	16%	435	416	-4%
Set	2.585.557	-	-	6.106	-	-	423	-	-
Out	2.024.175	-	-	4.710	-	-	430	-	-
Nov	1.110.678	-	-	2.553	-	-	435	-	-
Dez	861.496	-	-	2.006	-	-	429	-	-
Jan-ago	36.367.857	34.261.874	-6%	83.439	86.543	4%	436	396	-9%
Total ano	42.949.764	34.261.874		98.815	86.543		435	396	-9%

Fonte: Ministério da Economia/ComexStat. Elaboração: ABIOVE - Coordenadoria de Economia e Estatística.

Tabela 2. Exportação de farelo

Mês	Valor FOB (US\$ 1.000)			Peso Líquido (mil t)			Preço Médio (US\$/t)		
	2024	2025	Var. %	2024	2025	Var. %	2024	2025	Var. %
Jan	932.466	583.291	-37%	1.842	1.651	-10%	506	353	-30%
Fev	727.082	593.455	-18%	1.565	1.656	6%	465	358	-23%
Mar	738.520	638.708	-14%	1.717	1.854	8%	430	344	-20%
Abr	881.758	751.536	-15%	2.145	2.124	-1%	411	354	-14%
Mai	837.270	790.788	-6%	2.102	2.270	8%	398	348	-13%
Jun	856.478	616.746	-28%	2.023	1.841	-9%	423	335	-21%
Jul	813.560	692.902	-15%	1.966	2.055	5%	414	337	-19%
Ago	847.826	643.610	-24%	2.071	1.945	-6%	409	331	-19%
Set	712.777	-	-	1.745	-	-	408	-	-
Out	913.756	-	-	2.300	-	-	397	-	-
Nov	655.200	-	-	1.679	-	-	390	-	-
Dez	772.086	-	-	1.980	-	-	390	-	-
Jan-ago	6.634.962	5.311.036	-20%	15.430	15.396	0%	430	345	-20%
Total ano	9.688.780	5.311.036		23.134	15.396		419	345	-18%

Fonte: Ministério da Economia/ComexStat. Elaboração: ABIOVE - Coordenadoria de Economia e Estatística.

Tabela 3. Exportação de óleo

Mês	Valor FOB (US\$ 1.000)			Peso Líquido (mil t)			Preço Médio (US\$/t)		
	2024	2025	Var. %	2024	2025	Var. %	2024	2025	Var. %
Jan	68.640	90.433	32%	67	88	31%	1.024	1029	1%
Fev	33.142	111.772	237%	32	111	247%	1.037	1009	-3%
Mar	121.483	202.253	66%	134	195	46%	909	1035	14%
Abr	144.782	103.131	-29%	154	99	-35%	942	1038	10%
Mai	117.022	157.721	35%	123	151	23%	955	1044	9%
Jun	132.258	172.632	31%	140	167	20%	947	1033	9%
Jul	189.918	145.500	-23%	201	138	-31%	946	1054	11%
Ago	109.813	174.570	59%	114	160	40%	963	1094	14%
Set	85.199	-	-	89	-	-	960	-	-
Out	100.006	-	-	103	-	-	968	-	-
Nov	93.785	-	-	97	-	-	967	-	-
Dez	115.584	-	-	115	-	-	1.006	-	-
Jan-ago	917.058	1.158.011	26%	963	1.109	15%	952	1.044	10%
Total ano	1.311.632	1.158.011		1.367	1.109		959	1.044	9%

Fonte: Ministério da Economia/ComexStat. Elaboração: ABIOVE - Coordenadoria de Economia e Estatística.

Em suma, partindo da análise das tabelas, denota-se que a participação na exportação da soja segue a sequência grão, farelo e óleo. O primeiro, no ano de 2025, concernente ao período de janeiro a agosto, movimentou 34.261.874 (US\$1.000); o

segundo, 5.311.036 (US\$1,000) e o último, 1.158.011 (US\$1.000). Portanto, percebe-se que, dentre os principais fins de exportação da soja, o mais expoente ainda é aquele referente ao seu comércio ainda *in natura*.

7 DEFINIÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Inteligência Artificial (IA) é uma área da ciência da computação que pretende construir sistemas que simulem ações inteligentes, como as dos humanos. Teve sua origem após a Segunda Guerra Mundial e, desde então, a IA atinge várias áreas do saber, tais como biologia, matemática, filosofia, engenharia, linguística e psicologia. Explicar a definição de IA de uma forma precisa não é algo fácil, porém, de acordo com pesquisas, chegamos a essas conclusões:

Conforme Russell e Norvig (2013), a IA pode ser entendida como um esforço para automatizar as tarefas intelectuais humanas, tornando-a importante em quase qualquer atividade que use raciocínio e tomada de decisão. Isso inclui desde jogos de xadrez e diagnósticos médicos até a criação de arte, como poemas. Nesse contexto, a Inteligência Artificial é um campo global, pois se dedica a investigar e replicar qualquer atividade intelectual.

Segundo *Haugeland* (1985), um dos enfoques é construir sistemas que imitem o pensamento humano, ou seja, máquinas capazes de replicar os processos mentais das pessoas. *Kurzweil* (1990) defende a IA como a criação de sistemas que se comportam como humanos, executando tarefas que exigem inteligência humana.

Charniak e McDermott (1985) sugerem outra direção: a dos sistemas que pensam de forma racional, compreendendo a IA como o estudo das habilidades mentais através de modelos computacionais. Por fim, Poole, Mackworth e Goebel (1998) veem a IA como o design de agentes inteligentes que agem racionalmente com base nas informações que possuem.

Russell e Norvig (2013) explicam que essas quatro perspectivas podem ser agrupadas: as focadas em pensamento e raciocínio (sistemas que pensam) e as centradas no comportamento (sistemas que atuam). A avaliação da eficiência dos sistemas também varia — algumas abordagens comparam o desempenho com o comportamento humano, enquanto outras usam um ideal de racionalidade.

Em termos históricos, todas essas áreas foram exploradas, dando origem a discussões sobre a melhor maneira de estudar e progredir na IA. Enquanto abordagens centradas no ser humano seguem métodos empíricos, as focadas na racionalidade utilizam fundamentos matemáticos e técnicas de engenharia.

8 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A história da IA é antiga, com ideias sobre máquinas pensantes; porém, foi no século XX o momento da consolidação do campo. Em 1943, Warren McCulloch e Walter Pitts propuseram um modelo de neurônios artificiais com base na lógica formal e no funcionamento do cérebro humano. Eles foram os primeiros a sugerir que redes neurais poderiam representar o funcionamento lógico do pensamento.

Em 1950, Alan Turing lançou um olhar mais aprofundado sobre a IA em seu artigo “Computing Machinery and Intelligence”. Turing propôs o renomado Teste de Turing, onde uma máquina é considerada inteligente se suas respostas forem indiscerníveis das respostas dadas por humanos. O teste, até hoje, serve como um ponto de referência conceitual importantíssimo no campo da IA.

A Conferência de Dartmouth, em 1956, é vista como o ponto de partida da IA como área acadêmica formal. Pesquisadores como John McCarthy, Marvin Minsky, Allen Newell e Herbert Simon marcaram presença nesse evento, definindo as bases para o futuro da IA.

9 APLICAÇÕES ATUAIS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A IA, de forma expansiva, alcança diversas áreas e transforma o dia a dia das pessoas. Destacam-se:

- **Assistentes virtuais:** Siri, Alexa, Google Assistant e tantos outros empregam IA para entender comandos de voz e executar tarefas.
- **Sistemas de recomendação:** Netflix e Amazon, por exemplo, utilizam algoritmos de IA para recomendar produtos e conteúdos com base no comportamento do usuário.
- **Veículos autônomos:** A Tesla e a Waymo são exemplos de empresas que constroem carros que usam IA, com a finalidade de navegar e tomar decisões em tempo real.
- **Diagnóstico médico:** Os sistemas de IA auxiliam na interpretação de exames, além de identificar doenças com rapidez, melhorando a precisão e a eficiência dos diagnósticos.
- **Reconhecimento de imagens e voz:** Aplicações para identificar rostos, objetos e padrões de fala são amplamente utilizadas na segurança e na acessibilidade.

Essas aplicações demonstram a versatilidade da IA e seu potencial para transformar diversos setores da sociedade.

10 DESAFIOS ÉTICOS E SOCIAIS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

O crescimento da IA gera dúvidas éticas e sociais consideráveis. Entre os desafios mais importantes, destacam-se:

- **Privacidade e segurança de dados:** a coleta e utilização de dados pessoais em grandes quantidades pelos sistemas de IA podem ameaçar a privacidade das pessoas, bem como gerar insegurança quanto ao destino dessas informações.
- **Desemprego tecnológico:** a automatização das tarefas pode substituir o trabalho humano, gerando mudanças no mercado de trabalho.
- **Tomada de decisões automatizadas:** sistemas de IA podem reforçar preconceitos e discriminações ao tomar decisões relevantes, como concessão de crédito ou seleção de candidatos.
- **Responsabilidade legal:** definir quem é responsável pelas decisões ou ações tomadas por sistemas de IA é um desafio em constante evolução.
- **Autonomia e controle:** é vital garantir que os sistemas de IA atuem conforme os interesses humanos e sob supervisão adequada, para evitar resultados indesejados.

A discussão ética sobre IA é crucial para guiar seu desenvolvimento de forma responsável e harmonizada com os valores da sociedade.

11 PERSPECTIVAS FUTURAS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

O futuro da IA apresenta grandes avanços, podendo afetar ainda mais a sociedade. Algumas tendências são:

IA generativa: desenvolvimento de sistemas capazes de criar conteúdo original, como textos, imagens e música.

Integração com a Internet das Coisas: aparelhos conectados que usam IA para melhorar os processos e a eficiência em vários ambientes.

Medicina personalizada: utilização de IA para analisar dados genéticos e proporcionar tratamentos sob medida para pacientes.

Educação adaptativa: plataformas de ensino que alteram o conteúdo e a metodologia com base no desempenho e nas necessidades dos estudantes.

Sustentabilidade ambiental: uso de IA para monitorar e administrar recursos naturais, auxiliando na conservação do meio ambiente.

Essas visões sugerem que a IA continuará avançando, mudando gradualmente sua rota e tendo um papel cada vez maior na transformação digital.

Concluindo, a Inteligência Artificial representa uma das maiores inovações tecnológicas do nosso tempo. Ela consegue imitar o cérebro, aprender com os dados e ir muito além do que podemos imaginar. Isso a torna uma ferramenta poderosa para solucionar desafios e trazer melhor qualidade de vida. Porém, é importante que seu desenvolvimento seja acompanhado de debates éticos e sociais, para garantir que as vantagens da IA cheguem a todos e que os riscos sejam minimizados.

12 A UTILIZAÇÃO DAS INTELIGÊNCIAS ARTIFICIAIS NAS PRODUÇÕES AGRÍCOLAS

A agricultura é uma das atividades mais antigas da humanidade, servindo como base para o desenvolvimento das civilizações e para a garantia da sobrevivência humana ao longo dos séculos. No entanto, mesmo sendo uma prática tradicional, a agricultura precisou se reinventar diversas vezes para acompanhar as transformações sociais, econômicas e tecnológicas. No cenário atual, marcado por mudanças climáticas aceleradas, demanda crescente por alimentos e necessidade de produção sustentável, novas tecnologias emergem como aliadas fundamentais. Entre elas, a Inteligência Artificial (IA) se destaca como uma das ferramentas mais revolucionárias, capaz de transformar metodologias de cultivo, manejo, monitoramento e tomada de decisão no campo.

No Brasil, que figura entre os maiores produtores globais de soja, milho, café e diversos outros produtos agrícolas, esse processo de modernização se torna ainda mais urgente e significativo. Conforme divulgado pela UOL Economia (2024), a IA já é vista como um insumo básico na agricultura atual, sendo comparada à importância que fertilizantes e defensivos tiveram nas revoluções agrícolas anteriores. O uso inteligente de dados, sensores, sistemas automatizados e algoritmos de aprendizado tem permitido um avanço sem precedentes na eficiência das produções rurais.

Assim, compreender essa relação entre a agricultura moderna e a Inteligência Artificial se torna essencial para analisar o futuro do agronegócio brasileiro e global. Este capítulo tem como objetivo aprofundar a fundamentação teórica que explica o papel da IA no campo, detalhando suas aplicações práticas, seus benefícios econômicos e ambientais, seus desafios estruturais e as perspectivas para os próximos anos. Dessa forma, busca-se evidenciar como a digitalização da agricultura está reformulando o setor e promovendo novos paradigmas produtivos alinhados à sustentabilidade e à competitividade global.

12.1 Inteligência artificial e agricultura de precisão

A Inteligência Artificial é um ramo da tecnologia que possibilita que máquinas aprendam com dados, adaptem seu comportamento e executem tarefas complexas

de forma autônoma, simulando processos cognitivos humanos. Na agricultura, essa capacidade de processar grandes volumes de informações e identificar padrões invisíveis ao olhar humano torna-se crucial para o avanço da agricultura de precisão. Esse modelo produtivo busca monitorar cada aspecto da lavoura — desde o solo até a atmosfera — e aplicar insumos de forma específica, evitando desperdícios e reduzindo impactos ambientais.

De acordo com o Instituto AgroGalaxy (2023), a integração entre IA e agricultura de precisão permite que o produtor tenha acesso a análises detalhadas e em tempo real, oferecendo previsões mais confiáveis e auxiliando na tomada de decisão. Sistemas inteligentes podem avaliar a fertilidade do solo, identificar períodos ideais de plantio, prever riscos climáticos e até sugerir manejos personalizados para cada talhão da propriedade rural. Essa abordagem tem elevado o índice de produtividade e ampliado a competitividade das propriedades, especialmente em um contexto no qual o clima se torna cada vez mais imprevisível.

Além disso, a IA tem ampliado a capacidade de análise de dados gerados por sensores, drones e maquinários agrícolas, tornando possível o acompanhamento minucioso da saúde das plantas e do desenvolvimento das culturas. A união desses elementos reforça a agricultura de precisão como uma estratégia essencial para o futuro do agronegócio, promovendo maior sustentabilidade e eficiência nas operações diárias das fazendas.

12.2 Aplicações práticas da ia no campo

A Inteligência Artificial está presente em praticamente todas as etapas da cadeia produtiva agrícola, desde o planejamento do plantio até o transporte e armazenamento da colheita. Uma das suas aplicações mais relevantes é o uso de algoritmos de *Machine Learning*, que analisam dados históricos e ambientais para gerar previsões sobre produtividade, ocorrência de pragas, condições climáticas e riscos de perdas. Esses sistemas permitem que o agricultor planeje com antecedência suas ações e minimize incertezas, elevando o crescimento econômico da propriedade.

Outra aplicação fundamental ocorre por meio da visão computacional, que utiliza câmeras de alta definição instaladas em drones, satélites ou máquinas agrícolas para identificar doenças, deficiências nutricionais ou plantas daninhas ainda

em estágios iniciais. O portal *StartSe* (2024) destaca sistemas capazes de aplicar defensivos somente sobre áreas infestadas, reduzindo drasticamente o uso de produtos químicos. Isso contribui não apenas para a economia financeira, mas também para a redução do impacto ambiental.

Além disso, a robótica agrícola vem ganhando espaço, com tratores autônomos, robôs de colheita e máquinas inteligentes capazes de operar 24 horas por dia sem supervisão direta. Esses equipamentos favorecem a padronização das operações, aumentam a segurança no campo e diminuem a dependência de mão de obra em atividades mais exaustivas. Sistemas inteligentes de irrigação também auxiliam na economia de água ao ajustar automaticamente a quantidade necessária para cada área da lavoura, com base em sensores de umidade, temperatura e evapotranspiração. Assim, evidencia-se como a IA tem transformado o campo em um ambiente cada vez mais tecnológico, integrado e eficiente.

13 BENEFÍCIOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS

Os benefícios da IA na agricultura ultrapassam o aumento da produtividade e abrangem uma série de vantagens financeiras e socioambientais. Do ponto de vista econômico, o uso de tecnologias inteligentes reduz falhas humanas, aumenta a precisão das operações e evita desperdícios de insumos caros, como fertilizantes e defensivos. O relatório da *SciCrop* (2024) aponta reduções significativas no consumo de água — em até 30% — e no uso de pesticidas — em mais de 20% — o que demonstra a eficiência dessas ferramentas.

Para o agricultor, isso se traduz em diminuição de custos operacionais e maior controle sobre os recursos utilizados na propriedade. A automatização de tarefas repetitivas e o monitoramento em tempo real reduzem o tempo necessário para a tomada de decisão, possibilitando respostas rápidas a ameaças como seca, pragas ou doenças, e evitando prejuízos que poderiam comprometer toda a safra.

Do ponto de vista ambiental, a IA contribui para a promoção de práticas mais sustentáveis ao reduzir impactos negativos no solo, na água e na biodiversidade. Ao promover o uso racional de insumos e otimizar sistemas de irrigação, as tecnologias inteligentes preservam recursos naturais e evitam a contaminação de ecossistemas próximos. Essa integração entre produtividade e sustentabilidade torna a Inteligência Artificial uma aliada fundamental na busca por uma agricultura moderna que concilie rendimento, preservação ambiental e responsabilidade socioeconômica.

14 DESAFIOS E LIMITAÇÕES DA ADOÇÃO DA IA NA AGRICULTURA

14.1 Infraestrutura tecnológica e conectividade rural

Apesar dos avanços significativos da IA na agricultura, sua adoção ainda enfrenta obstáculos estruturais, sendo a falta de conectividade rural um dos principais deles. Muitas regiões agrícolas do Brasil sofrem com ausência de internet de qualidade, o que inviabiliza o funcionamento de sistemas inteligentes que dependem de redes estáveis para coleta, transmissão e análise de dados. A Sustentare WIPIS (2023) relata que aproximadamente 40% das propriedades rurais ainda não têm conexão adequada para utilizar tecnologias digitais de forma eficiente.

Essa limitação tecnológica impede que muitas fazendas adotem equipamentos modernos ou softwares avançados, restringindo seu acesso à agricultura de precisão e dificultando a competitividade com propriedades que já possuem infraestrutura digital. Além disso, os custos elevados de aquisição e manutenção de sistemas baseados em IA representam um desafio significativo, especialmente para pequenos e médios produtores, que muitas vezes não possuem capital suficiente para investir em inovações de ponta.

A falta de programas de incentivo e a ausência de políticas públicas eficazes também dificultam a democratização dessas tecnologias. Sem apoio governamental para ampliar a conectividade e reduzir custos, o uso da IA no campo tende a se concentrar apenas em propriedades de grande porte, o que pode acentuar desigualdades dentro do agronegócio brasileiro. Assim, a expansão da agricultura digital depende diretamente de investimentos estruturais que garantam acesso tecnológico universal e equitativo aos produtores rurais.

14.2 Capacitação técnica e resistência cultural

A adoção da IA no campo também enfrenta desafios relacionados à capacitação técnica da mão de obra. Muitos trabalhadores rurais, especialmente em regiões mais afastadas, não possuem acesso à formação tecnológica ou não estão familiarizados com o uso de softwares e equipamentos digitais. Como resultado, pode haver resistência inicial à incorporação dessas ferramentas, seja por insegurança, falta de conhecimento ou receio de mudanças na rotina tradicional de trabalho.

O Instituto AgroGalaxy (2023) destaca que a capacitação contínua é essencial para que a IA seja aplicada de forma eficiente, evitando erros operacionais e garantindo que as tecnologias sejam utilizadas em seu potencial máximo. Entretanto, programas de capacitação ainda são escassos, principalmente para pequenos produtores, que muitas vezes não têm acesso a treinamentos especializados.

Além disso, há uma resistência cultural presente em algumas comunidades rurais, que podem enxergar a digitalização como uma ameaça ao modo de vida tradicional. Para superar esse desafio, é necessário investir em educação, assistência técnica e campanhas de conscientização que mostrem os benefícios reais que essas tecnologias podem trazer, incluindo a redução do trabalho manual exaustivo, a diminuição de riscos físicos e o aumento da renda familiar. Assim, a aceitação da IA depende tanto de avanços tecnológicos quanto de transformações sociais e educacionais no campo.

14.3 Questões éticas e sustentabilidade social

A utilização da IA na agricultura também levanta debates éticos importantes, principalmente quando se trata de automação e governança de dados. A substituição de mão de obra por máquinas inteligentes pode reduzir postos de trabalho em algumas áreas, afetando diretamente comunidades rurais que dependem da agricultura como fonte de renda. Embora a IA crie novas oportunidades, como a demanda por operadores e analistas de dados, essa transição pode ser desigual e prejudicar trabalhadores que não têm acesso à qualificação profissional.

Outro ponto de atenção é a privacidade e o controle sobre os dados agrícolas. A Sustentare WIPIS (2023) alerta que a coleta massiva de informações sobre solo, clima e produtividade pode gerar dependência de empresas fornecedoras de tecnologia, levantando questões sobre quem possui e gerencia esses dados. Sem regulamentação adequada, existe o risco de concentração de informações estratégicas nas mãos de poucas corporações, o que poderia comprometer a autonomia dos produtores rurais.

Além disso, a rápida expansão da IA deve ser acompanhada por debates sobre sua sustentabilidade social. A tecnologia precisa ser vista não apenas como uma ferramenta produtiva, mas como parte de um processo mais amplo de desenvolvimento humano e comunitário. Assim, garantir transparência,

regulamentação, inclusão social e proteção de dados é fundamental para que a IA seja utilizada de forma ética, responsável e alinhada aos princípios de justiça social no campo.

15 PERSPECTIVAS FUTURAS

15.1 Avanços tecnológicos e digitalização do agronegócio

As perspectivas futuras para a IA na agricultura são extremamente promissoras. Estima-se que, até 2030, o uso dessas tecnologias cresça de forma acelerada devido à integração com novas inovações, como Internet das Coisas (IoT), computação em nuvem, big data e veículos autônomos. O Estadão Agro (2025) prevê que o mercado de tecnologias agrícolas baseadas em IA deve dobrar nos próximos anos, tornando o Brasil um dos principais expoentes da agricultura digital no mundo.

Esse crescimento estará diretamente ligado ao desenvolvimento de sensores cada vez mais precisos, drones com maior autonomia e maquinários inteligentes que operam de forma coordenada. A conectividade por redes 5G também deve ampliar significativamente a capacidade de comunicação no campo, permitindo monitoramentos em alta resolução e decisões em tempo real.

Além disso, a digitalização tende a tornar os processos produtivos mais eficientes, reduzindo desperdícios, elevando a competitividade internacional e fortalecendo a posição do Brasil como um dos líderes globais no setor. Com isso, o futuro da agricultura está cada vez mais conectado à adoção de tecnologias inteligentes que transformam o campo em um ambiente automatizado, sustentável e orientado por dados.

15.2 Parcerias entre academia, empresas e governo

A consolidação da agricultura inteligente depende da união entre diferentes setores da sociedade. As universidades desempenham papel essencial na formação de profissionais capacitados e no desenvolvimento de pesquisas voltadas ao aperfeiçoamento de sistemas de IA aplicados ao campo. A elas cabe investigar novas formas de integração tecnológica, promover cursos de capacitação e fomentar pesquisas que atendam às necessidades reais dos produtores.

As empresas privadas, por sua vez, são responsáveis por transformar essas pesquisas em soluções aplicáveis, criando softwares, sensores, robôs agrícolas e sistemas autônomos adaptados às condições de produção brasileira. Ao investir em

inovação e colaborar com pesquisadores, o setor privado impulsiona o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e acessíveis.

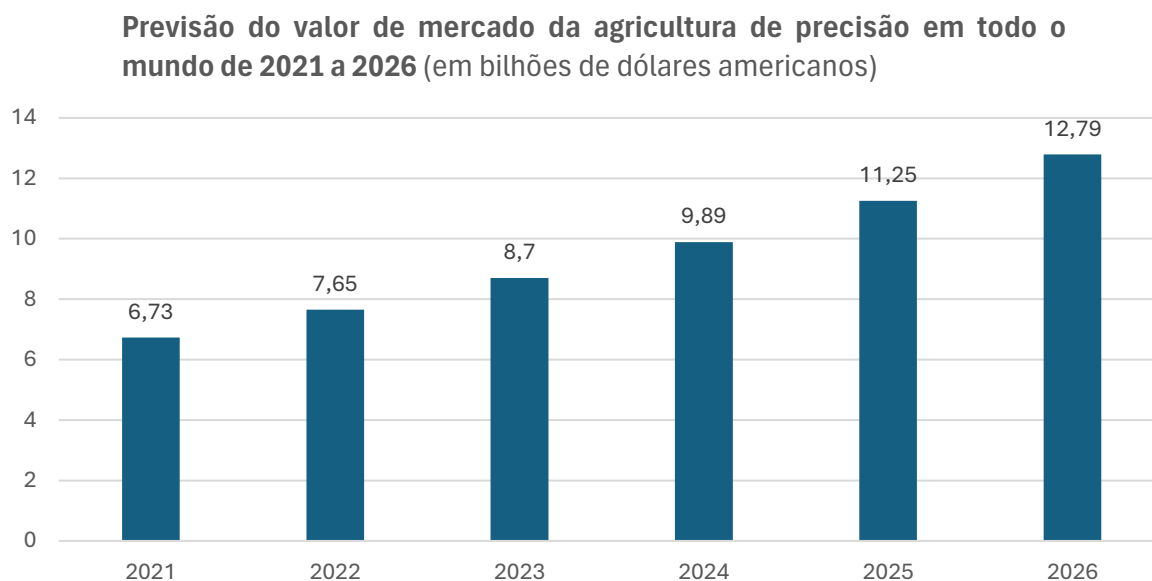
O governo, por fim, possui papel estratégico na criação de políticas públicas que ampliem o acesso à tecnologia, como programas de inclusão digital no campo, linhas de crédito para modernização das propriedades, incentivos fiscais e regulamentações claras sobre o uso de dados agrícolas. A construção dessas parcerias fortalece a agricultura nacional e garante que a modernização ocorra de forma equilibrada, democrática e orientada para o desenvolvimento sustentável.

16 PANORAMA ATUAL DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO SETOR AGRÍCOLA

Antes de considerar as alterações possíveis, é necessário situar o estágio atual de adoção da IA no agronegócio. A aplicação da IA na agricultura tem sido explorada extensivamente na literatura acadêmica nos últimos anos. Estudos indicam que a IA pode transformar a agricultura através da otimização de processos e aumento da eficiência operacional (Smith et al., 2020; Johnson; Brown, 2021) De acordo com uma pesquisa realizada pela Liga Ventures – consultoria de inovação baseada em startups e tecnologia – em 2024, no Brasil, o setor agrícola “é o que mais utiliza IA” entre as startups nacionais. “Todo mundo fala de agricultura de precisão, só que, quando falamos de IA na agricultura de precisão, falamos de outra quebra que é para qual tipo de cultura, porque tem muita diversidade. O que serve para cana de açúcar não resolve o café” – Afirma o sócio Guilherme Massa.

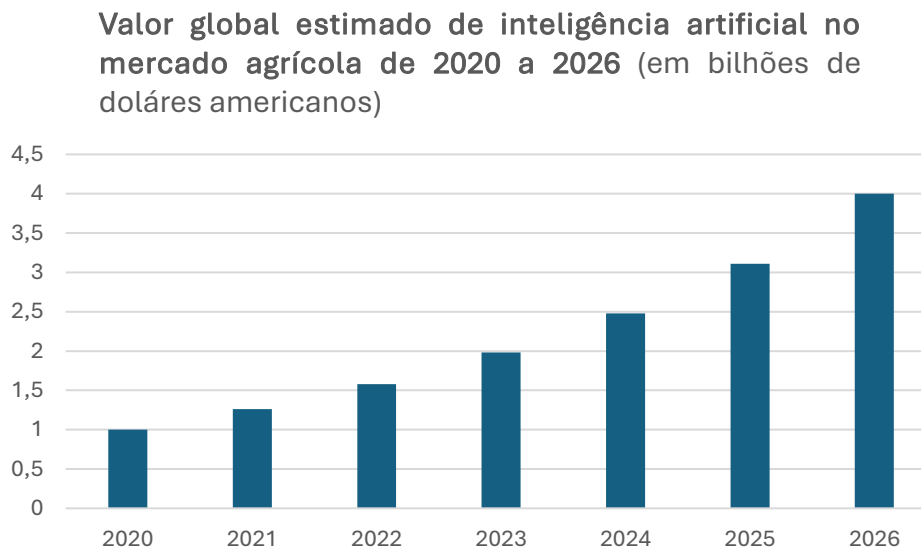
A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), por exemplo, já aplica algoritmos de aprendizado de máquina, aprendizagem profunda e lógica clássica para otimização de processos internos e solução de desafios agronômicos. Segundo o artigo “A Inteligência Artificial (IA) já chegou no Agronegócio”, publicado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequena Empresas (SEBRAE), estima-se que o mercado de IA aplicado à agricultura no Brasil cresça cerca de 25,5 % entre 2020 e 2026.

Gráfico 8. Previsão do valor de mercado da agricultura de precisão global



Fonte: Statista; Imarc, 2021.

Gráfico 9. Valor global estimado de inteligência artificial no mercado agrícola



Fonte: MarketsandMarkets; Statista, 2021

Esses dados permitem concluir que estamos em um momento de transição, no qual a IA deixa de ser apenas uma promessa e começa a se incorporar nas operações agrícolas de forma mais sistemática. Isso abre espaço para que o modo de cultivar — ou seja, como se planejam, executam e monitoram as culturas — seja transformado.

17 ALTERAÇÕES TÉCNICAS NO MODO DE CULTIVAR: MANEJO, MONITORAMENTO E DADOS

Uma das primeiras alterações que se evidenciam com a entrada massiva da IA no mercado agrícola refere-se ao manejo das culturas, ao monitoramento da lavoura e à decisão baseada em dados.

17.1 Manejo e precisão

Com IA, sensores, drones, imagens de satélite, sistemas de previsão e modelos de aprendizado de máquina permitem decisões mais finas e adaptadas à realidade de cada lote. Por exemplo, a metodologia desenvolvida no Cerrado alcançou acurácia de até 97% no mapeamento de intensificação agrícola.

“Os resultados demonstram a robustez da metodologia desenvolvida com foco na identificação de processos de dinâmica de uso da terra, como a intensificação agrícola”, avalia o pesquisador Édson Bolfe, da Embrapa Agricultura Digital, e coordenador do projeto Mapeamento agropecuário no Cerrado via combinação de imagens multisensores - MultiCER, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo (Fapesp).

Isso implica que práticas tradicionais de cultivo que dependem em grande medida da experiência do agricultor e de regras gerais passam a conviver ou serem substituídas por modelagens preditivas que determinam, por exemplo, quando irrigar, quanto fertilizar, como manejar pragas e doenças.

“Como parte da IA, esses algoritmos são capazes de analisar e aprender padrões espectrais e texturais complexos a partir de conjuntos de dados agrícolas extensos e variados, permitindo a identificação precisa de diferentes tipos de culturas, condições do solo e variáveis ambientais”, argumenta Taya Parreiras, doutoranda no Instituto de Geociências da Unicamp e membro do Projeto MultiCER.

17.2 Monitoramento contínuo e em tempo real

O conceito de *Deep Learning* permite, ainda, monitoramento quase em tempo real da lavoura, com detecção precoce de anomalias (umidade, nutrientes, pragas,

doenças) e ajuste dinâmico das práticas. Esse nível de controle muda o modo de cultivar para um modo mais reativo e adaptativo.

Os modelos de aprendizado profundo (Deep Learning – DL) são constituintes de uma subárea particular de AM, com promissoras e intensas pesquisas. Derivam um arcabouço de técnicas que geralmente compartilham estruturas em camadas de algoritmos (unidades de computação) que extraem automaticamente características relevantes de dados não estruturados (ou semiestruturados) como, por exemplo, imagens, vídeos e áudios. Em geral, requerem grandes quantidades de dados para exibirem desempenhos satisfatórios nas suas aplicações (BASSI, Luís Henrique, Agricultura de Precisão: Um Novo Olhar na Era Digital, São Carlos, 2024, p. 53)

17.3 Tomada de decisão orientada por dados

O hábito de coleta de dados na lavoura já é muito difundido no campo. Muitos agricultores utilizam pluviômetros para verificar o nível de chuva, por exemplo. Com a adoção de tecnologias, como agricultura de precisão, os sensores químicos e biológicos começaram a se espalhar pelas propriedades. Esses dispositivos, entre outros, podem estar conectados entre si, com dados sendo transmitidos de forma automática por meio da chamada Internet das Coisas (IoT). Todas essas informações são armazenadas na internet e podem ser acompanhadas em tempo real pelo produtor, de qualquer lugar do mundo, via celular ou computador. Esse processo é denominado de Big Data.

A Trilha Agro do *Brazilian Institute of Data Science* (BIOS), por exemplo, liderado por Jurandir Zullo Junior, pesquisador do CEPAGRI/Unicamp desde 1987, trabalha nessa linha de decisões estratégicas para irrigação, colheita, gestão territorial. Portanto, a prática agrícola tende a se tornar mais tecnológica, mais dependente de infraestrutura digital, mais orientada por métricas, o que representa uma alteração significativa no modo de cultivar.

18 IMPACTOS NO TRABALHO AGRÍCOLA E NAS RELAÇÕES DE EMPREGO

18.1 Reconfiguração da função do trabalhador agrícola

As transformações técnicas introduzidas pela automação, pelo monitoramento em tempo real e pelas decisões apoiadas em inteligência artificial implicam alterações profundas nas tarefas agrícolas e, conseqüentemente, na função do trabalhador rural. Nesse contexto, as atividades repetitivas ou de baixa complexidade tendem a ser reduzidas ou transformadas, de modo que o trabalhador que anteriormente “operava manualmente tratores ou máquinas” passa a desempenhar funções de supervisão de equipamentos, interface tecnológica ou interpretação de relatórios automatizados.

Essa mudança de perfil decorre da incorporação de sistemas que monitoram o campo, drones ou sensores conectados e processos de tomada de decisão cada vez mais digitais. Conforme assinalado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), a automação agrícola pode “reduzir a necessidade de trabalho humano”, ao mesmo tempo em que exige novos modelos de supervisão e gestão tecnológica. Dessa forma, a tarefa agrícola deixa de ser exclusivamente executora e passa a envolver maior grau de mediação técnica, configurando um deslocamento, ainda que parcial, da “mão-de-obra manual” para uma mão-de-obra de supervisão e integração de sistemas.

18.2 Demandas de qualificação e novo perfil profissional

Com a adoção de tecnologias digitais e IA no campo, o perfil profissional exigido para atuar neste setor também se redefine. Torna-se cada vez mais necessária a familiaridade com sistemas digitais, a interpretação de dados, a manutenção de sensores, drones e a integração de plataformas de inteligência artificial. Estudos recentes destacam que a digitalização da agricultura não é apenas uma inovação tecnológica, mas altera os processos de trabalho, criando novas formas de controle, intensificação e exigência de qualificações especializadas.

Segundo o artigo “Adaptação ao Mercado de Trabalho Agrícola moldada pela Robotização” publicado pela *Sustainability* em 2024, em um levantamento sobre o mercado de trabalho agrícola mapeou-se a susceptibilidade à robotização de diferentes ocupações agrícolas, concluindo que aquelas cujas tarefas envolvem maior

grau de rotina ou manuais estão sob risco mais elevado, ao passo que ocupações com tarefas não-rotineiras e cognitivas exigem maior qualificação.

Assim, trabalhadores com menor nível de qualificação ou sem acesso a programas de formação adequados podem encontrar-se em desvantagem, o que coloca em evidência a necessidade de políticas de capacitação e requalificação para que possam se inserir nesse novo modelo produtivo.

18.3 Possibilidade de aumento da eficiência e valorização de tarefas especializadas

Por outro lado, vale destacar que essa transição tecnológica oferece oportunidades expressivas. Quando bem gerida, a automação pode elevar a eficiência produtiva, liberar trabalhadores de tarefas pesadas ou repetitivas e, potencialmente, valorizar funções mais especializadas. A adoção de máquinas autônomas e sistemas baseados em IA permite ao trabalhador atuar em tarefas de supervisão, análise de dados ou manutenção tecnológica — categorias de maior valor agregado.

De acordo com o artigo “Tendências que impulsionam a automação na fazenda” publicado pelo site *McKinsey & Company* em 2023, tudo indica que a combinação entre automação e gestão digital pode transformar o operador em gestor de frota ou de sistemas, aumentando a produtividade e, em consequência, a remuneração e a competitividade do negócio agrícola.

Sob esse prisma, a eficiência elevada não apenas reduz custos, mas pode criar novas oportunidades de emprego qualificado, fortalecer cadeias produtivas e promover modelos agrícolas mais sustentáveis e tecnologicamente avançados.

19 ALTERAÇÕES ORGANIZACIONAIS E NA CADEIA PRODUTIVA

19.1 Planejamento estratégico integrado

Os sistemas de IA permitem que o produtor agrícola ou a empresa agrária realize um planejamento de ciclo produtivo com elevado grau de precisão, selecionando culturas, definindo rotações, monitorando solo e clima em tempo real. Nesse sentido, o modo tradicional de cultivo, “anual e estático”, cede lugar a um processo mais dinâmico e fluido.

Neste contexto, a Agricultura 4.0 pode ser definida como uma produção agrícola mais baseada em conteúdo digital, tecnologia de ponta e conectividade em todos os elos da cadeia produtiva (pré-produção, produção, pós-produção), visando garantir a segurança alimentar, a segurança dos alimentos e a sustentabilidade (MASSRUHÁ, Silvia Maria, Agro 4.0: o papel da pesquisa e perspectivas para a transformação digital na agricultura, 2023, p.60).

Em consequência, o planejamento estratégico integra informação histórica, em tempo real e preditiva, permitindo tomar decisões como o momento exato de plantio ou colheita, o uso otimizado de insumos e a antecipação de cenários climáticos ou de mercado.

19.2 Diferença entre grandes e pequenos produtores

Uma implicação relevante dessa transformação está no aumento da diferenciação entre grandes operações agrícolas, com capacidade de investimento em IA e tecnologias avançadas, e pequenas propriedades com recursos limitados. Conforme o artigo “Inteligência Artificial na Agricultura: Como o Brasil Está se Posicionando na Revolução Tecnológica do Campo para 2025” publicado pela Agrológica – Empresa Júnior de Engenharia Agrícola – “o Brasil ocupa uma posição única nesta revolução tecnológica... Os desafios são significativos: a conectividade rural ainda insuficiente, a necessidade de capacitação técnica e os altos investimentos iniciais representam barreiras que precisam ser superadas”.

Portanto, enquanto grandes produtores poderão operar sob um modelo de alta tecnologia, pequenas propriedades podem permanecer em modelo tradicional ou

adotar um formato híbrido — o que tende a gerar diversificação produtiva e, por vezes, exclusão tecnológica.

19.3 Impacto sobre insumos e recursos

Finalmente, a aplicação de IA propicia a otimização no uso de insumos e recursos naturais — menor desperdício de fertilizantes, uso mais eficiente de água, aplicação de defensivos mais precisa.

Conforme destacado no artigo “Inteligência Artificial na Agricultura: Como a Tecnologia Está Transformando o Agronegócio Brasileiro” de Hugo Marx publicado em março de 2025, “a inteligência artificial está se consolidando como uma aliada fundamental da sustentabilidade no agronegócio... Ao possibilitar uma gestão mais precisa dos recursos naturais e ao reduzir desperdícios ao longo da cadeia produtiva”.

Esse novo modo de cultivar tende a ser mais sustentável, com menores impactos ambientais e custos reduzidos, refletindo em vantagem competitiva tanto diante de normas ambientais quanto de exigências de mercado.

20 BARREIRAS E INCERTEZAS NA ADOÇÃO

20.1 Infraestrutura e conectividade

A adoção de sistemas baseados em IA, principalmente em tempo real, exige uma infraestrutura tecnológica robusta e conectividade digital adequada. De acordo com. De acordo com o blog *FieldView*, no Brasil, a limitação dessa infraestrutura é significativa: apenas 18,8% da área agrícola dispõe de cobertura de internet em 4G ou 5G, conforme o Indicador de Conectividade Rural. Em regiões remotas ou de cultivos extensivos, a instabilidade ou ausência de conexão à rede compromete a implantação de sensores, drones ou plataformas que requerem fluxo contínuo de dados.

20. 2 Custo de investimento e retorno

A implementação de tecnologias como sensores inteligentes, drones, máquinas autônomas e plataformas de IA acarreta um custo elevado de aquisição, instalação e manutenção. Para o produtor, especialmente de pequeno ou médio porte, torna-se essencial avaliar o retorno sobre o investimento e o risco associado.

Além disso, embora haja ganhos potenciais de produtividade e eficiência, a incerteza acerca do prazo e da magnitude desses benefícios pode desestimular o investimento, sobretudo em empreendimentos com margens operacionais mais estreitas.

20. 3 Capacitação e resistência à mudança

A introdução de IA no agronegócio implica uma mudança de paradigma nas práticas de cultivo e gestão. Tal mudança exige formação técnica, desenvolvimento de competências digitais e alterações culturais por parte dos produtores e operadores rurais. Segundo levantamento da Associação Brasileira do Agronegócio (ABAG), somente cerca de 32% das empresas do setor superaram o déficit de habilidades técnicas necessárias para operar soluções avançadas de IA.

A resistência à mudança, comum entre produtores que utilizam métodos tradicionais consolidados, representa uma barreira adicional à difusão das tecnologias de IA.

20.4 Privacidade, segurança de dados e regulação

A adoção massiva de IA no campo implica a coleta e o processamento de grandes volumes de dados relativos ao solo, clima, produção, entre outros. Essa realidade suscita questões de governança de dados, privacidade, segurança cibernética e propriedade das informações agrícolas. Conforme aponta a literatura, essas questões regulatórias e éticas podem influenciar negativamente a confiança do produtor nas tecnologias de IA e, conseqüentemente, a taxa de adoção.

A adoção de IA na agricultura, embora promissora, enfrenta desafios que incluem a necessidade de investimentos significativos em tecnologia, a capacitação de profissionais e produtores rurais para trabalhar com novas ferramentas digitais, e questões de segurança cibernética relacionadas à coleta e ao processamento de dados (DA PAIXÃO, Bruno Ferreira, aplicação de inteligência artificial para aumento da produtividade na cultura da soja, Brasília, 2024, p. 23)

Conforme aponta a literatura, essas questões regulatórias e éticas podem influenciar negativamente a confiança do produtor nas tecnologias de IA e, conseqüentemente, a taxa de adoção. Adicionalmente, a dependência de plataformas externas de IA, sujeitas a licenciamento, atualizações e vulnerabilidades técnicas, aumenta o grau de incerteza tecnológico e sistemático.

21 BENÉFICOS DA ENTRADA DAS INTELIGÊNCIAS ARTIFICIAIS NO SETOR AGRÁRIO

A agricultura sempre esteve ligada à inovação. Desde as primeiras ferramentas manuais até as modernas colheitadeiras, o campo vem se transformando ao longo do tempo. Nos últimos anos, uma nova revolução começou a acontecer no setor: a entrada da Inteligência Artificial (IA) nas práticas agrícolas. Essa tecnologia permite que o agricultor tenha mais controle, precisão e eficiência em todas as etapas da produção, desde o plantio até a comercialização.

Diante dos desafios atuais — como as mudanças climáticas, a escassez de recursos, a demanda por maior produtividade e a necessidade de práticas mais sustentáveis —, a IA surge como uma aliada poderosa. Suas aplicações vão desde a previsão do clima até o monitoramento de pragas, doenças, qualidade do solo e automação de máquinas (SANTOS; FERREIRA, 2022).

21.1 Progressão tecnológica

A entrada da Inteligência Artificial na agricultura representa mais um passo dentro da longa trajetória de evolução do setor. Assim como a mecanização promoveu uma revolução no campo durante o século passado e a biotecnologia trouxe melhorias na produção, a IA agora surge como um elemento orgânico dessa evolução tecnológica (CAMPOS; PEREIRA, 2021).

Essa tendência não só moderniza as operações agrícolas, como também remodela a maneira como o agricultor toma decisões — por exemplo, quando e onde aplicar fertilizantes, o momento certo para plantar, prever o rendimento e organizar a logística. A avaliação de informações em tempo real, a automatização de atividades e a integração de variadas tecnologias concebem um sistema agrícola mais inteligente, conectado e ecologicamente correto (FARIAS; LIMA; SILVA, 2020).

Dessa forma, a IA deixa de ser considerada uma inovação isolada e passa a ser compreendida como uma sequência de um caminho histórico de mudança, que assegura ao setor agrícola maior aproveitamento, competitividade e aptidão para enfrentar os desafios futuros.

21.2 Agricultura de precisão

A agricultura de precisão é uma das áreas mais beneficiadas com o uso da IA. Ela consiste em aplicar os insumos — como água, fertilizantes e defensivos — na medida exata, no lugar certo e no momento mais adequado. Para isso, sensores, drones e máquinas inteligentes coletam dados detalhados do solo, das plantas e das condições climáticas. Esses dados são analisados por algoritmos de IA, que fornecem recomendações específicas para cada talhão da fazenda (ARAÚJO; MOURA, 2022).

Esse tipo de manejo evita desperdícios e reduz custos, ao mesmo tempo que aumenta a produtividade. Além disso, contribui para a preservação do meio ambiente, pois diminui o uso excessivo de produtos químicos (MARTINS; GONÇALVES, 2021).

21.3 Monitoramento da saúde das culturas

Com o uso de drones, câmeras e softwares de visão computacional, é possível identificar doenças, pragas e deficiências nutricionais com grande precisão. O sistema analisa imagens da lavoura e, com base em padrões previamente aprendidos, consegue detectar sinais de problemas que poderiam passar despercebidos (PEREIRA; SOUZA, 2020).

Essa detecção precoce ajuda o agricultor a agir rapidamente, utilizando os produtos certos, nas quantidades corretas e apenas nas áreas afetadas, reduzindo custos e impactos ambientais.

21.4 Previsão do clima e dos preços

A IA contribui tanto na previsão do tempo quanto na análise do mercado agrícola. Sistemas baseados em *deep learning* conseguem prever o clima com até 90% de precisão, permitindo melhor planejamento (OLIVEIRA et al., 2021).

Na área comercial, a IA analisa dados históricos de mercado e fatores econômicos para prever tendências de preços, auxiliando o produtor na escolha do melhor momento de venda. Essas previsões reduzem riscos e aumentam a rentabilidade.

21.5 Robótica e automação no campo

Atualmente, já existem tratores, pulverizadores e colheitadeiras autônomas que operam sem a necessidade de um motorista. Esses equipamentos utilizam sensores, câmeras e IA para navegar pelas plantações e executar tarefas com precisão (CARVALHO; FREITAS, 2021).

Além disso, robôs agrícolas realizam capina, colheita e até a eliminação de pragas com o uso de laser de precisão, tornando as operações mais seguras e sustentáveis.

21.6 Previsão de produtividade e rendimento das safras

O avanço tecnológico no campo está diretamente ligado ao crescimento contínuo da produção de grãos. Entre 2016 e 2020, o Brasil alcançou 247,4 milhões de toneladas produzidas, segundo dados da Embrapa (2020).

De 2020 a 2023, o uso de ferramentas digitais, como a Inteligência Artificial, contribuiu para um salto ainda maior, resultando em um crescimento de cerca de 75% na produtividade das safras (EMBRAPA, 2023).

Esses resultados demonstram o potencial da IA em transformar dados em decisões estratégicas, elevando a eficiência e a sustentabilidade do agronegócio.

Aqui temos um gráfico que mostra como o avanço tecnológico no campo está ligado ao crescimento contínuo da produção de grãos entre 2016 e 2020, chegando a 247,4 milhões de toneladas.

De 2020 a 2023, o uso de ferramentas digitais, como a Inteligência Artificial, contribuiu para um salto ainda maior, resultando em um crescimento de 75% na produtividade das safras.

22 CRESCIMENTO DO USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO SETOR AGRÁRIO

O uso da Inteligência Artificial na agricultura tem crescido de forma significativa nos últimos anos, impulsionado pela necessidade de aumentar a produtividade, otimizar recursos e reduzir impactos ambientais. Tecnologias como sensores inteligentes, análise de dados e sistemas preditivos estão revolucionando a forma como o campo opera, tornando as decisões mais precisas e estratégicas (SOUZA; ALMEIDA, 2023).

Gráfico 10 - Inteligência Artificial no Setor Agrícola



Fonte: MarketsandMarkets, Statista, 2021

A IA se consolida, portanto, como uma ferramenta essencial para o desenvolvimento sustentável do setor, ajudando o Brasil a manter sua posição de destaque no agronegócio mundial.

22.1 Uso eficiente dos recursos e sustentabilidade

A agricultura moderna enfrenta um grande desafio: produzir mais com menos impacto ambiental. A Inteligência Artificial (IA) se destaca nesse aspecto ao permitir um uso mais racional dos recursos naturais.

Por meio da análise de dados em tempo real, os sistemas baseados em IA indicam a quantidade exata de água, fertilizante ou defensivo necessário para cada área da lavoura. Isso evita o uso excessivo de insumos e contribui para a preservação dos solos, da água e da biodiversidade (SILVA, 2023).

Além disso, o uso de sistemas automatizados de irrigação reduz drasticamente o consumo de água. Como a irrigação representa cerca de 80% da energia usada na agricultura, essa economia gera impacto também na redução de custos e no consumo de energia elétrica (FERREIRA; ALMEIDA, 2022).

Outro ponto importante é a possibilidade de criar bancos de dados públicos com informações sobre práticas sustentáveis. Com esses dados, os agricultores podem aprender uns com os outros, adotando métodos que funcionam melhor e que são menos agressivos ao meio ambiente. Isso fortalece a adoção de boas práticas em todo o setor (COSTA, 2021).

23 DESAFIOS E PERSPECTIVAS

Apesar de todos os benefícios, a entrada da Inteligência Artificial no setor agrário ainda enfrenta alguns desafios. O principal é o custo inicial para a implementação dessas tecnologias. Muitos produtores, principalmente os pequenos, ainda não têm acesso a equipamentos modernos nem conhecimento técnico para utilizar essas ferramentas (OLIVEIRA, 2023).

Também há certa resistência por parte de quem está acostumado com métodos tradicionais. A falta de conectividade em áreas rurais pode dificultar a aplicação de tecnologias que dependem da internet e da troca constante de dados (MARTINS; PEREIRA, 2022).

No entanto, com o passar do tempo e a popularização das soluções tecnológicas, os custos tendem a diminuir, e o acesso se tornará mais democrático. Já é possível observar, no Brasil e no mundo, propriedades de diferentes tamanhos colhendo os frutos do uso da IA no campo.

Um exemplo é o das Fazendas Reunidas, em Goiás, que adotaram robôs autônomos equipados com Inteligência Artificial para monitorar e controlar plantas daninhas em lavouras de soja. Com essa tecnologia, foi possível aumentar a produtividade em cerca de 10 sacas por hectare e reduzir em até 85% o uso de herbicidas, mostrando como a aplicação da IA no campo contribui para maior eficiência produtiva e sustentabilidade (FAZENDAS REUNIDAS, 2024).

Com o avanço das pesquisas, o apoio de políticas públicas e o incentivo à educação tecnológica no meio rural, é esperado que a Inteligência Artificial se torne uma aliada indispensável do agricultor moderno (CARVALHO, 2024).

A Inteligência Artificial já está mudando a forma como o setor agrícola funciona. Com ela, é possível produzir mais, com menos desperdício, maior qualidade e menor impacto ambiental. As vantagens incluem maior precisão nas decisões, monitoramento detalhado das lavouras, previsões mais confiáveis e automação de tarefas (GOMES, 2023).

Mesmo que ainda existam barreiras, os benefícios são inegáveis e mostram que o futuro da agricultura será cada vez mais tecnológico, sustentável e eficiente. A IA não substitui o conhecimento do produtor, mas o potencializa. Juntos, homem e

máquina podem construir uma agricultura mais inteligente, produtiva e respeitosa com o meio ambiente (SANTOS; LIMA, 2023).

A Inteligência Artificial já está mudando a forma como o setor agrícola funciona. Ela permite produzir mais, com menos desperdício e menor impacto ambiental. A IA não substitui o conhecimento do produtor, mas o potencializa, construindo uma agricultura mais inteligente, produtiva e sustentável (SILVA, 2023).

24 REESTRUTURAÇÃO DE FUNÇÕES APÓS O ADVENTO DE IAS NO CULTIVO DE SOJA

24.1 Antes da IA/ agricultura digital: trabalho humano intensivo

No período anterior à adoção de tecnologias digitais e IA, apesar da mecanização estar presente em grandes propriedades, havia uma grande necessidade de mão-de-obra para atividades como preparo do solo, semeadura, colheita e, principalmente, na inspeção e correção manual. Estudos apontam que o trabalho era “fortemente influenciado pela experiência empírica do produtor e da assistência técnica local”. Por exemplo, o portal da Embrapa descreve que, ao evoluir a cultura da soja no Brasil, essa dependência de adaptação implicava “recuperação/manutenção da fertilidade do solo, técnicas de manejo da cultura, controle de plantas daninhas e pragas e doenças, melhoria da qualidade das sementes, entre outras. Esse conjunto de tecnologias tem permitido a sustentabilidade agrícola da cultura da soja no Brasil”. (Nepomuceno, 1975) Além disso, em estudo sobre agricultura de precisão para soja, constata-se que, para a adoção inicial dessa tecnologia, “o perfil dos proprietários que adotam a agricultura de precisão é jovem, instruído, propenso a utilizar mais tecnologias e informática, além de cultivar grandes extensões de terras”. (Embrapa, 2014.) Essa evidência indica que, antes da IA, as propriedades que não tinham esses perfis enfrentavam maior limitação tecnológica e maior dependência de mão-de-obra simples e direta.

24.2 Transição tecnológica

Com o avanço da agricultura de precisão, iniciou-se uma nova etapa em que a variabilidade dentro dos talhões passou a ser mapeada, registrada e tratada com tecnologia. Conforme artigo da Embrapa, uma propriedade rural não é homogênea, com o avanço de novas tecnologias foi possível detectar e registrar essas variações existentes dentro de uma lavoura ou de um talhão. (Embrapa, 2013.) Esse reconhecimento da variabilidade espacial é essencial para entender como a IA e a automação entram no processo, elas permitem que o manejo seja adaptado a cada microzona dentro da lavoura.

25 USOS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Na agricultura, as IA's são utilizadas para analisar grandes quantidades de dados, incluindo imagens de satélite e drones, telemetria de máquinas, além de sensores de solo e clima, oferecendo orientações operacionais agronômicas. Por exemplo, a *Food and Agriculture Organization* (FAO) declara que a automação da agricultura tem o potencial de elevar a produtividade e a resiliência, aprimorar a qualidade dos produtos e a eficiência no uso dos recursos, além de diminuir a necessidade de trabalho humano e mitigar a escassez de mão de obra. É importante destacar que a Embrapa possui uma sólida trajetória na aplicação de tecnologias de Inteligência Artificial no setor agrícola, evidenciando o uso institucional e de pesquisa dessa tecnologia no Brasil.

25.1 Quem a utiliza

Essas tecnologias são geralmente empregadas por produtores de maior escala, maior nível educacional e melhor acesso ao capital. No Brasil, a soja e milho são as culturas mais cultivadas com a agricultura de precisão, enquanto culturas menores ou propriedades de menor escala ainda têm menor adoção. (Embrapa, 2014)

25.2 Uso geográfico

A implementação não é generalizada. Regiões com melhor infraestrutura, conectividade, recursos financeiros e suporte técnico estão à frente. Em áreas onde esses fatores são reduzidos, o acesso é mais limitado.

25.3 Etapas utilizadas

A IA/instrumentação digital está presente em todas as fases da sementeira, germinação, desenvolvimento vegetativo e colheita, embora com diferentes intensidades. Por exemplo, tecnologias de direção assistida e taxa variável estão presentes desde a sementeira, enquanto drones e sensores desempenham um papel

importante no desenvolvimento. Sistemas de telemetria e previsão têm um papel significativo na colheita. Aplicações concretas na soja:

- **Semeadura:** já se utiliza amplamente o guiamento por GPS (direção assistida) e mapas de prescrição para taxa variável de semeadura. Esses mapas podem ser elaborados a partir de mapas de produtividade anteriores e de modelos que consideram solo e clima. Essas recomendações visam ajustar a densidade de plantas de acordo com a variabilidade do solo.
- **Germinação:** nesse estágio, a IA se manifesta principalmente no monitoramento (imagens de alta resolução por meio de drones e satélites), sendo capaz de identificar problemas de emergência e vigor inicial. A intervenção geralmente é manual ou realizada com maquinário, porém o diagnóstico precede a ação.
- **Desenvolvimento vegetativo:** é o período em que mais se utiliza a IA; os modelos monitoram o estresse hídrico, identificam focos de pragas e doenças por meio da visão computacional e sugerem pulverizações localizadas (spot-spraying) ou ajustes na adubação por meio de mapas de taxa variável. Drones e plataformas possibilitam a identificação de áreas que necessitam de atenção e a realização de intervenções específicas, diminuindo distâncias e recursos utilizados.
- **Colheita:** sensores de produtividade integrados às colheitadeiras, juntamente com previsões de maturação fundamentadas em imagens e modelos climáticos, auxiliam na determinação do período de colheita. Sistemas autônomos de colheita ainda estão em fase emergente, porém, a tecnologia de autoguiado e telemetria já diminui a demanda por operadores em jornadas prolongadas. Em suma, as tecnologias estão presentes em todas as etapas, mas têm maior destaque no monitoramento e na prescrição durante o desenvolvimento. A automação física completa (tratores/colheitadeiras autônomas) ainda é pouco utilizada.

25.4 Uso em diversos cultivos

No Brasil, a soja é um dos principais cultivos que utilizam agricultura de precisão e inteligência artificial, devido à sua relevância econômica e à extensão das áreas plantadas. No entanto, não é a única: tanto a soja quanto o milho são os cultivos mais adotados com o uso de agricultura de precisão (Embrapa, 2014). Culturas de menor escala ou menos mecanizáveis adotam abordagens específicas,

frequentemente por meio de serviços terceirizados (como hortaliças e pequenas hortas).

26 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, conclui-se que o projeto permitiu compreender os avanços tecnológicos referentes ao uso de Inteligência Artificial no âmbito agrícola nacional, em especial no que concerne ao cultivo da soja, através do estudo de sua trajetória histórica desde suas origens até seu estabelecimento como uma das principais culturas do agronegócio brasileiro. Evidencia-se, a partir da análise, que a expansão da sojicultura no Brasil é produto de fatores interligados, dentre eles avanços científicos, políticas públicas, modernização produtiva e inserção estratégica do país no mercado internacional de commodities. Outrossim, observou-se que, durante os séculos XX e XXI, a soja consolidou-se como protagonista da economia nacional, sendo uma parcela significativa do Valor Bruto da Produção e firmando o Brasil como um dos maiores produtores e exportadores mundiais.

Mediante a análise dos dados sobre a área cultivada, produtividade e volume produtivo nas diferentes regiões do Brasil, nota-se a consistência e sustentação do crescimento da cultura. A modernização das práticas agrícolas, amparada por técnicas de manejo do solo, controle de pragas e adaptação de cultivares às diferentes condições edafoclimáticas, foi crucial para que regiões antes inaproveitadas para tal cultivo, como o Cerrado, pudessem se tornar referências globais em produção agrícola.

Outro aspecto vital elaborado durante o trabalho foi a incorporação de agentes de Inteligência Artificial no setor agrário e sua inter-relação com o plantio da soja. Denotou-se que a agricultura brasileira experienciou uma transição para modelos produtivos digitalizados, nos quais tecnologias de machine learning, visão computacional, sensores, drones e sistemas autônomos exercem função central na gestão das lavouras. A Inteligência Artificial, nesse viés, otimiza processos e aumenta a precisão das decisões, bem como promove a sustentabilidade, reduz desperdícios e amplia a competitividade do setor. Entretanto, tornaram-se igualmente perceptíveis as dificuldades que surgem com essa transformação, como a necessidade de infraestrutura tecnológica, capacitação da mão de obra e criação de políticas públicas que democratizem o acesso à agricultura digital.

Logo, depreende-se que a integração entre o desenvolvimento histórico da soja e a adoção contemporânea de tecnologias inteligentes revela um panorama de

evolução constante no agronegócio brasileiro. A modernização do setor, fomentada pela Inteligência Artificial, não configura uma quebra, mas o fluxo natural de um processo histórico de inovação que acompanha a agricultura desde suas origens. À vista disso, a consolidação de um modelo produtivo eficiente, sustentável e digital depende da articulação entre pesquisa científica, investimento tecnológico, formação profissional e políticas de incentivo que garantam equidade e crescimento para todas as regiões e perfis de produtores.

Em síntese, reitera-se que a oleaginosa, enquanto cultura estratégica do país, seguirá desempenhando papel essencial na economia e sendo uma forte commodity global. Igualmente, a Inteligência Artificial se configura como ferramenta essencial para os novos paradigmas de produção agrícola, significando não apenas uma tendência tecnológica, mas uma necessidade para o futuro do agronegócio brasileiro.

GLOSSÁRIO

Adubação – Processo de adicionar nutrientes ao solo para melhorar sua fertilidade.

Adubo verde – Planta cultivada para ser incorporada ao solo, melhorando sua qualidade.

Agricultura de precisão – Sistema que utiliza dados, sensores e tecnologias digitais para manejar lavouras de forma específica e eficiente.

Agricultura digital – Conjunto de tecnologias (sensores, IA, drones, big data) aplicadas à produção agrícola.

Agronegócio – Cadeia produtiva que engloba produção, processamento e comercialização de produtos agrícolas.

Algoritmo – Conjunto de regras sequenciais usadas por computadores para resolver problemas.

Antropogênico – Causado pela ação humana.

Autoguiado – Sistema em que máquinas agrícolas operam com orientação automática, geralmente via GPS.

Big Data – Grande volume de dados coletados e analisados digitalmente.

Calagem – Correção da acidez do solo por meio da aplicação de calcário.

Commoditie – Mercadoria padronizada comercializada em larga escala (como soja).

Conectividade rural – Disponibilidade de acesso à internet no campo.

Cunho – Finalidade ou intenção de algo.

Deep learning (aprendizado profundo) – Técnica avançada de IA que aprende padrões complexos a partir de grandes volumes de dados.

Densidade de semeadura – Quantidade de sementes por área de plantio.

Drones agrícolas – Veículos aéreos não tripulados usados para monitoramento ou aplicação localizada.

Edafoclimático – Relativo às características do solo e do clima de uma região.

Escassez hídrica – Falta de quantidade adequada de água disponível.

Exponencialidade – Crescimento rápido e acelerado.

Farelo de soja – Subproduto da extração do óleo usado principalmente na alimentação animal.

Forrageira – Planta utilizada para alimentação de animais.

Fronteira agrícola – Áreas novas incorporadas à produção agropecuária.

Gestão territorial – Organização e planejamento do uso do espaço rural.

Guiamento por GPS – Direcionamento automático de máquinas agrícolas via satélite.

Hectare (ha) – Unidade de medida de área, equivalente a 10.000 m².

In natura – Produto em estado natural, sem processamento.

Internet das Coisas (IoT) – Interconexão de dispositivos que coletam e trocam dados.

IA generativa – Tipo de IA capaz de criar textos, imagens, sons ou vídeos.

Inspeção agrícola – Avaliação visual ou digital da lavoura para detectar problemas.

Lógica computacional – Regras matemáticas que descrevem o funcionamento de sistemas inteligentes.

Mapitoba – Região agrícola formada por Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia.

Manejo Integrado de Pragas (MIP) – Estratégia que combina técnicas biológicas, químicas e culturais para controlar pragas.

Machine learning (aprendizado de máquina) – Campo da IA que permite que sistemas aprendam com dados.

Multissensor – Equipamento que capta dados de diferentes fontes e frequências.

Oleaginosa – Planta rica em óleo, como a soja.

Polocentro – Programa governamental que incentivou o desenvolvimento dos Cerrados na década de 1970.

Telemetria – Sistema que transmite dados à distância, usado em máquinas agrícolas.

Talhão – Subdivisão da área agrícola para manejo específico.

Taxa variável – Aplicação diferenciada de insumos conforme a necessidade do solo.

Variabilidade espacial – Diferenças no solo, clima ou produtividade dentro da mesma área.

Vegetal forrageiro – Planta destinada à alimentação animal.

VPB (Valor Bruto da Produção) – Indicador econômico do valor produzido pelo agronegócio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRO, S. Inteligência artificial: aplicações e desafios no agronegócio | Agro Estadão. Disponível em: <https://agro.estadao.com.br/summit-agro/inteligencia-artificial-aplicacoes-e-desafios-no-agronegocio>. Acesso em: 30 set. 2025.

AGROADVANCE. Inteligência artificial na agricultura. AgroAdvance, s.d. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-inteligencia-artificial-na-agricultura/>. Acesso em: 25 nov. 2025.

AGROLÓGICA PROJETOS E CONSULTORIA. Inteligência Artificial na Agricultura: Como o Brasil Está se Posicionando na Revolução Tecnológica do Campo p. Disponível em: <https://www.ejagrologica.org/post/intelig%C3%Aancia-artificial-na-agricultura-como-o-brasil-est%C3%A1-se-posicionando-na-revolu%C3%A7%C3%A3o-tecnol%C3%B3gica>. Acesso em 22 jul. 2025.

ALEXSANDRO. Inteligência artificial na agricultura: conheça a Trilha Agro do BIOS. Disponível em: <https://bi0s.unicamp.br/2025/05/20/inteligencia-artificial-na-agricultura-conheca-a-trilha-agro-do-bi0s/>. Acesso em: 06 out. 2025.

APROSOJA BRASIL. A soja. Aprosoja Brasil. Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/>. Acesso em: 4 nov. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS – ABIOVE. Estatísticas: cadeia da soja. Disponível em: <https://abiove.org.br/estatisticas-cadeia-da-soja/>. Acesso em: 12 out. 2025.

BASSI, Luís Henrique, Agricultura de Precisão: Um Novo Olhar na Era Digital, São Carlos, 2024, p. 53. Acesso em 18 out. 2025.

BLAND, R. et al. Trends driving automation on the farm. Disponível em: <https://www.mckinsey.com.br/industries/agriculture/our-insights/trends-driving-automation-on-the-farm>. Acesso em: 11 out. 2025.

BONATO, EMÍDIO RIZZO; BONATO, ANA LÍDIA VARIANI. A soja no Brasil: história e estatística. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1987. Acesso em 19 set. 2025

BRAGA, ANTÔNIO DE PÁDUA; CARVALHO, ANDRÉ C. P. L. F.; LUDERMIR, TERESA B. Redes neurais artificiais: teoria e aplicações. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Produção de grãos 24/25 atinge recorde histórico de 350,2 milhões de toneladas. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-24-25-atinge-recorde-historico-de-350-2-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 28 set. 2025.

CHARNIAK, Eugene; MCDERMOTT, Drew. A Bayesian Model of Plan Recognition. Massachusetts: Addison-Wesley, 1985. Acesso em 05 nov. 2025.

CIÊNCIA E CULTURA. Inteligência artificial e sociedade. Ciência e Cultura, s.d. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252018000300005. Acesso em: 25 nov. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Portal de Informações Agropecuárias. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 28 set. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Portal de Informações Agropecuárias. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 12 out. 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Notícias sobre indústria brasileira e inovação. Portal da Indústria, s.d. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br>. Acesso em: 25 nov. 2025.

ESPÍNDOLA, CARLOS JOSÉ; CUNHA, ROBERTO CESAR COSTA; JABBOUR, ELIAS KHALIL. Trajetória da tropicalização da soja: desempenho econômico e a demanda chinesa. *ENTRE-LUGAR*, v. 15, n. 30, p. 55-80, 2024.

FAO. Artificial intelligence in agriculture. FAO, 2019. Disponível em: <https://www.fao.org/obj>. Acesso em: 25 nov. 2025.

FAO. Brasil – Soja: eventos e notícias. FAO Brasil. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/1613670/>. Acesso em: 4 nov. 2025.

FAO. The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging automation to transform agrifood systems. Disponível em: <https://www.fao.org/newsroom/detail/FAO-state-of-food-and-agriculture--SOFA-2022-automation-agrifood-systems/en>. Acesso em: 11 out. 2025.

FERREIRA, B.; paixão, d. Universidade de Brasília faculdade de agronomia e medicina veterinária gestão de agronegócios. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/40002/1/2024_BrunoFerreiraDaPaixao_tcc.pdf. Acesso em: 09 nov. 2025.

FONSECA, S. et al. 3) Agro 4.0: o papel da pesquisa e perspectivas para a transformação digital na agricultura. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1154917/1/PL-Agro4.0-2023.pdf>.

FREITAS, Marcelo Mueller de. Fatores intrínsecos à plantas de soja na expressão da resistência constitutiva e induzida a *Spodoptera cosmioides* (WALKER, 2018) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE). Orientador: Arlindo Leal Boiça Junior. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, 2016.

FREITAS, Márcio de Campos Martins de. "A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola." Enciclopédia Biosfera 7.12 (2011): 1-12.

GAZZONI, DECIO LUIZ; DALL'AGNOL, AMÉLIO. A Saga da Soja: de 1050 a.C. a 2050 d.C. 1ª Edição. Londrina, PR, Brasil: Embrapa Soja. 2018.

HAUGELAND, John. Artificial Intelligence: The Very Idea. Massachusetts: The MIT Press, 1985.

HONORATO, R. Agricultura é setor que mais usa inteligência artificial. Disponível em: <https://www.meioemensagem.com.br/proxima/liga-ventures-agricultura-e-o-setor-que-mais-usa-ia>. Acesso em: 30 set. 2025.

IDE, JORGE. Inteligência artificial: conceitos e aplicações. Revista Olhar Científico – Faculdades Associadas de Ariquemes, v. 1, n. 2, ago./dez. 2010.

INSTITUTO AGROGALAXY. Inteligência Artificial na Agricultura. São Paulo, 2023.

JORNAL EMPRESAS & NEGÓCIOS. Saiba como a inteligência artificial auxilia o trabalho da agricultura no campo. Jornal Empresas & Negócios, s.d. Disponível em: <https://jornalempresasenegocios.com.br/agronegocio/saiba-como-a-inteligencia-artificial-auxilia-o-trabalho-da-agricultura-no-campo/>. Acesso em: 25 nov. 2025.

MARX, H. Inteligência Artificial Na Agricultura: Como A Tecnologia Está Transformando O Agronegócio Brasileiro. Disponível em: <https://ai2news.com.br/inteligencia-artificial-na-agricultura-brasileira/>. Acesso em: 03 nov. 2025.

MEGETO, G. A. et al. Aplicações de Inteligência Artificial na Era da Agricultura 4.0. Revista Ciência Agronômica, UFC, 2023.

NASCIMENTO, ANDRÉ. A Importância da Soja na Balança Comercial Brasileira. Trabalho de Conclusão de Curso. Rio de Janeiro: Faculdade Presbiteriana Mackenzie Rio, 2024.

OECD. Digital opportunities for agriculture. OECD, 2021. Disponível em: <https://www.oecd.org>. Acesso em: 25 nov. 2025.

REHAGRO. Inteligência artificial na agricultura. Rehagro Blog, s.d. Disponível em: <https://rehagro.com.br/blog/inteligencia-artificial-na-agricultura/>. Acesso em: 25 nov. 2025.

REVISTA CONTEMPORÂNEA. Artigo acadêmico sobre inteligência artificial. Revista Contemporânea, s.d. Disponível em: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/4596>. Acesso em: 25 nov. 2025.

RUSSELL, STUART; NORVIG, PETER. Inteligência Artificial. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

SCICROP. A Revolução Tecnológica no Agronegócio. São Paulo, 2024.

SCIELO BRASIL. Artigo sobre inteligência artificial e administração pública. SciELO Brasil, s.d. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/c4sqqrthGMS3ngdBhGWtKhh>. Acesso em: 25 nov. 2025.

SCIELO BRASIL. Inteligência artificial e suas implicações no mercado de trabalho. SciELO Brasil, s.d. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 25 nov. 2025.

SIDALC. Documento técnico sobre inteligência artificial aplicada à agricultura. SIDALC, s.d. Disponível em: <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-infoteca-e-doc-1043614/Description>. Acesso em: 25 nov. 2025

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO MILHO, SOJA E SEUS DERIVADOS NO ESTADO

DE SÃO PAULO – SINDMILHO & SOJA. Soja e suas riquezas – história.

Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/sindimilho/sobre-o-sindmilho/curiosidades/soja-e-suas-riquezas-historia/>. Acesso em: 18 set. 2025.

SNA. Soja e milho são os mais cultivados com uso da agricultura de precisão, aponta

Embrapa. SNA. Disponível em: <https://sna.agr.br/soja-e-milho-sao-os-mais-cultivados-com-uso-da-agricultura-de-precisao-aponta-embrapa/>. Acesso em: 4 nov. 2025.

STARTSE. Como a Inteligência Artificial está transformando o agro. São Paulo, 2024.

SUSTENTARE WIPIS. Inteligência Artificial e Sustentabilidade na Agricultura. Brasília, 2023.

UOL ECONOMIA. IA torna-se insumo essencial e gera aumento de produção e sustentabilidade. São Paulo, 2024.

USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EMBRAPA - Portal Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/inteligencia-artificial-na-embrapa>. Acesso em 30 set. 2025

VIEIRA FILHO, JOSÉ EUSTÁQUIO RIBEIRO. A cadeia produtiva de soja e o desenvolvimento econômico e regional no Brasil. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2024. (Texto para Discussão, n. 3042). DOI: <https://doi.org/10.38116/td3042-port>.