



Pontifícia
Universidade
Católica do
Rio de Janeiro

Ana Beatriz de Sá Araújo

**COMÉRCIO EXTERIOR, AGRONEGÓCIO E TECNOLOGIA:
Como o Brasil atingiu a liderança no mercado de soja**

Trabalho de conclusão de curso

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Relações Internacionais da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Relações Internacionais.

Orientador: Prof. Carlos Frederico de Souza Coelho

Rio de Janeiro
Dezembro de 2024

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do/a autor/a e do orientador.

Ana Beatriz de Sá Araújo

Estudante do curso de Graduação em Relações Internacionais do IRI / PUC-Rio.

Ficha Catalográfica

Araújo, Ana Beatriz de Sá

Comércio Exterior, Agronegócio e Tecnologia: como o Brasil atingiu a liderança no mercado de soja / Ana Beatriz de Sá Araújo; orientador: Carlos Frederico de Souza Coelho. – 2024.

50 f.; 30 cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Relações Internacionais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

Inclui bibliografia.

1. Relações internacionais – Trabalhos de conclusão de curso. 2. Comércio Exterior 3. Agronegócio. 4. Tecnologia. 5. Soja. 6. Agro 4.0. I. Coelho, Carlos Frederico de Souza. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Instituto de Relações Internacionais. III. Comércio Exterior,

Agronegócio e Tecnologia: como o Brasil atingiu a liderança no mercado de soja

CDD: 327

Agradecimentos

Dedico não apenas este trabalho, mas também toda a minha formação, ao meu bem mais precioso: minha família. À minha mãe, minha maior apoiadora e impulsionadora, obrigada por todo o apoio e por não medir esforços para me ver realizando meus sonhos. Sem você, nada disso seria possível. Aos meus irmãos, Joaquim e Fefe, que sempre estiveram ao meu lado e, mesmo sem saber, me fizeram nunca desistir. Sem vocês, eu sequer teria feito minha matrícula na PUC. À minha avó Sone, por ser a pessoa mais amorosa e por sempre apoiar minhas mudanças de cidade em busca dos meus sonhos. Ao meu avô Joaquim, por ser meu maior exemplo de carreira, educação e amor pela leitura. À minha cunhada Vic, por todas as conversas e trocas profissionais. Amo vocês!

Os amigos são a família que escolhemos, e eu não poderia deixar de agradecer à família que ganhei no Rio de Janeiro. Minha Panelinha: Ana Clara, Érico, Gabi, Lari, Uli e Vitor; Giulia, Lari, Gabizinha e Lucas, por todos os cafezinhos e aulas. Agradeço também ao Coral da PUC, por ter sido meu momento de respiro semanal!

Aos mestres que trilharam meu caminho ao longo da minha formação, desde o Projeto Criança, passando pelo Marista, Dinâmico e PUC. Obrigada por todo o ensinamento e por me permitirem desenvolver senso crítico, possibilitando-me, através do conhecimento, traçar voos cada vez mais altos!

Resumo

Araújo, Ana Beatriz; Coelho, Carlos Frederico de Souza (Orientador). Comércio Exterior, Agronegócio e Tecnologia: como o Brasil atingiu a liderança no mercado de soja. Rio de Janeiro, 2024, 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação – Instituto de Relações Internacionais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O objetivo central do projeto de consultoria é oferecer recomendações ao setor agrícola brasileiro, com foco na cadeia produtiva da soja, visando à promoção de práticas sustentáveis, incremento da competitividade global e superação de gargalos estruturais. Na introdução, contextualiza-se a importância da soja no comércio exterior brasileiro, apresentando o panorama histórico e econômico que consolidou o Brasil como líder no mercado global. No desenvolvimento, são explorados os avanços tecnológicos no agronegócio, como a Agricultura de Precisão e a Agro 4.0, além de serem analisados os desafios enfrentados pelo setor, como logística, conectividade e desigualdades entre produtores. Na consideração do plano de implementação, são delineadas estratégias práticas para integrar inovações tecnológicas, mitigar os impactos ambientais e fortalecer a inclusão produtiva de pequenos e médios agricultores. Na conclusão, o projeto sintetiza os benefícios esperados das recomendações, destacando sua contribuição para a sustentabilidade e competitividade do agronegócio brasileiro em um cenário global em constante transformação.

Palavras-chave

Relações Internacionais; Comércio Exterior; Agronegócio; Tecnologia; Soja; Agro 4.0.

Abstract

Araújo, Ana Beatriz de Sá. Coelho, Carlos Frederico de Souza (Advisor). Foreign Trade, Agribusiness, and Technology: How Brazil Achieved Leadership in the Soybean Market. Rio de Janeiro, 2024. 50 p. Undergraduate Final Paper – International Relations Institute, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro.

The central objective of this consultancy project is to provide recommendations to the Brazilian agricultural sector, focusing on the soybean production chain, aiming to promote sustainable practices, enhance global competitiveness, and address structural bottlenecks. In the introduction, the importance of soybeans in Brazilian foreign trade is contextualized, presenting the historical and economic panorama that established Brazil as a leader in the global market. In the development section, technological advancements in agribusiness, such as Precision Agriculture and Agro 4.0, are explored, along with an analysis of the sector's challenges, including logistics, connectivity, and inequalities among producers. In the implementation plan, practical strategies are outlined to integrate technological innovations, mitigate environmental impacts, and strengthen the productive inclusion of small and medium-sized farmers. In the conclusion, the project synthesizes the expected benefits of the recommendations, highlighting their contribution to the sustainability and competitiveness of Brazilian agribusiness in an ever-evolving global scenario.

Keywords

International Relations; Foreign Trade; Agribusiness; Technology; Soybeans; Agro 4.0.

Sumário

Principais resultados	08
1. Introdução	09
1.1. Visão Geral da Soja no Mercado Brasileiro e Global	09
1.2. Brasil no mercado internacional	10
1.3. Ascensão da China e parceria comercial	14
1.4. Desafios e Oportunidades para o Brasil no mercado externo	15
2. Evolução Agrícola	18
2.1. Evolução do agronegócio e impacto na produção e exportação da soja	18
2.2. Soja no século XXI	22
2.3. Agricultura de Precisão	24
2.4 Agro 4.0 e a Soja Brasileira na Era da Agricultura Digital	25
2.5 Identificação de Problemas e Gargalos	32
3. Diagnóstico da Situação Atual	38
3.1 Avaliação das Tecnologias Atuais Utilizadas	41
3.2 Casos de implementação Agro 4.0	43
4. Projeções Futuras	44
5. Plano de Implementação	46
6. Conclusão	47

Principais resultados

- Brasil consolida liderança no mercado global de soja: A trajetória histórica e estratégica que posicionou o país como maior exportador mundial da commodity.
- Inovações tecnológicas impulsionam o agronegócio: Agricultura de Precisão e Agro 4.0 transformam a produção de soja, aumentando a eficiência e a sustentabilidade.
- Dependência do mercado chinês representa risco: Identificada a necessidade de diversificar parcerias comerciais para mitigar vulnerabilidades.
- Desafios logísticos e estruturais ainda persistem: Gargalos em transporte, armazenamento e conectividade limitam o pleno potencial do setor.
- Inclusão de pequenos produtores é essencial: Estratégias voltadas para reduzir desigualdades na cadeia produtiva promovem competitividade e inclusão.
- Sustentabilidade como diferencial competitivo: O alinhamento com práticas ambientais é fundamental para fortalecer o posicionamento internacional do Brasil.
- Recomendações estratégicas para o futuro: Integração tecnológica, diversificação de mercados e políticas públicas inclusivas são apontadas como soluções para superar os desafios e consolidar o setor.

1. Introdução

Esta seção tem como objetivo fornecer um panorama abrangente sobre o mercado de soja no Brasil e no mundo, analisando seu crescimento, importância econômica e histórica, e os fatores que levaram à consolidação no Brasil como um dos principais produtores e exportadores do grão. O subitem, 1.1 Visão Geral da Soja no Mercado Brasileiro e Global, aborda o crescimento do agronegócio da soja nas últimas décadas, destacando o papel da tecnologia e do desenvolvimento territorial brasileiro. Além disso, trata da relevância global do grão, com foco na concentração de produção em poucos países e o papel da China como o maior consumidor mundial. O subitem 1.2 Brasil no Mercado Internacional, explora a importância econômica da soja para o Brasil, evidenciando seu impacto na economia do país e desenvolvimento de regiões. Também são abordadas as dificuldades logísticas enfrentadas pelo país e a relevância das exportações para a economia nacional. O subitem 1.3 Ascensão da China e Parceria Comercial analisa o papel da China como principal destino da soja brasileira, destacando os fatores que impulsionaram a demanda chinesa, como as reformas econômicas e a parceria comercial Brasil-China. Por fim, o subitem 1.4 Desafios e Oportunidades para o Brasil no Mercado Externo, identifica essas questões, com foco na diversificação de mercado, sustentabilidade agrícola e fortalecimento da competitividade.

1.1. Visão Geral da Soja no Mercado Brasileiro e Global

O agronegócio da soja é um dos principais motores da economia agrícola, tanto no Brasil como no cenário global. Nas últimas décadas, a produção de soja experimentou um notável crescimento, impulsionado pela crescente demanda por proteína, uma vez que o farelo de soja é uma das principais fontes para a produção de rações animais, principalmente para aves e suínos, além de ser utilizada como proteína vegetal e biocombustível (Hirakuri; Lazzaroto, 2014)

O cenário mundial da soja é marcado por uma concentração significativa da produção em poucos países, sendo Brasil, Estados Unidos, Argentina e China os principais produtores. Esses quatro países foram responsáveis por cerca de 85% da produção mundial ao longo do século XXI (Brasil, 2024). A produção mundial em grãos aumentou cerca de 185 milhões de toneladas, passando de 184,9 milhões de toneladas na safra de 2000/2001 para 369,7 milhões de toneladas na safra de 2022/2023, sendo o Brasil responsável por 60% do aumento global, se tornando o principal ator no mercado da soja, passando de 23,5% no início do século para 42,2% em 2023 (Brasil, 2024). A China é o maior comprador de soja do mundo, com previsão de adquirir 102 milhões de toneladas na safra de 2023/2024 (Florentino, 2023)

Nos últimos 50 anos, o agronegócio brasileiro teve um grande salto, se tornando destaque no cenário internacional, principalmente no que tange a produção e exportação de soja. A soja foi introduzida no Brasil na Bahia em 1882, mas não teve êxito. Em 1914 é introduzida oficialmente no Rio Grande do Sul, que possui clima e solo favorável para o cultivo, mas seu principal objetivo era para alimentação de gado e suínos na própria região. A expansão para as demais áreas do território começa a partir dos anos 1970. Essa expansão foi atrelada ao desenvolvimento tecnológico do país, a concessão de créditos subsidiados, a criação da Embrapa (pesquisa e desenvolvimento) e Embrater (assistência técnica e extensão rural) (Gazzoni, 2023).

A implementação de tecnologia no campo foi fundamental para que a cultura da soja pudesse ser implementada e se expandir pelas regiões do país. Isso porque foram necessárias implementações de novas cultivares adaptadas as condições climáticas e topográficas das regiões brasileiras e tecnologias também para os solos do Cerrado, que são originalmente terras ácidas e inférteis (Gazzoni, 2023). Isso fez com que o Brasil se colocasse no mercado como um dos principais atores do complexo agroindustrial da soja, se tornando o principal exportador do grão (Hirakuri; Lazzaroto, 2014).

1.2. Brasil no mercado internacional

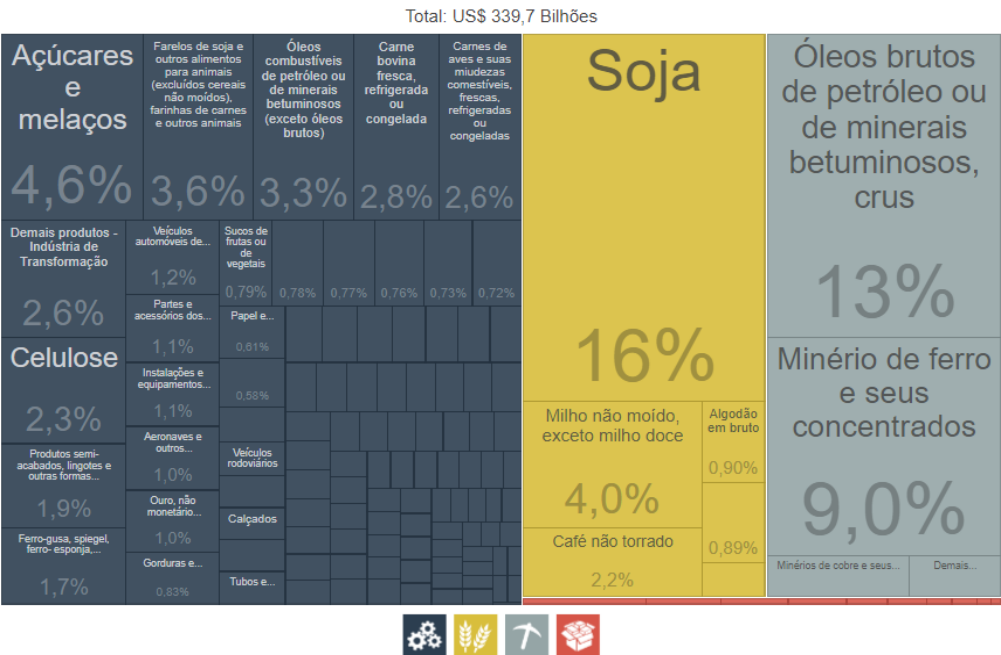
O Brasil se encontra em um cenário de crescimento constante, desde o início do século XXI, impulsionado pela demanda global, principalmente mercado chinês.

As exportações têm aumentado de forma significativa, acompanhando a expansão da produção interna, que aumentou 302,3%, e consolidando o país como um dos principais fornecedores para o mercado internacional (Brasil, 2024).

A produção de soja tem uma grande importância para a dimensão econômica do país, tendo em 2023 representado 23,2% do PIB do agronegócio e 5,9% do PIB brasileiro. No que tange ao mercado de trabalho, a cadeia da soja e biodiesel somou 2,32 milhões de pessoas, o que representa a 10,07% da população ocupada (PO) do país (CEPEA, 2024). Esse desenvolvimento econômico da soja, levou ao desenvolvimento e modernização de várias cidades brasileiras. A partir da década de 1970, iniciou-se o processo de mecanização das lavouras, profissionalizando cada vez mais o setor, além da modernização do sistema de transportes, ampliação de rodovias, expansão das fronteiras agrícolas, e levou a urbanização de diversas regiões (Paiva, Trennepohl, 2011).

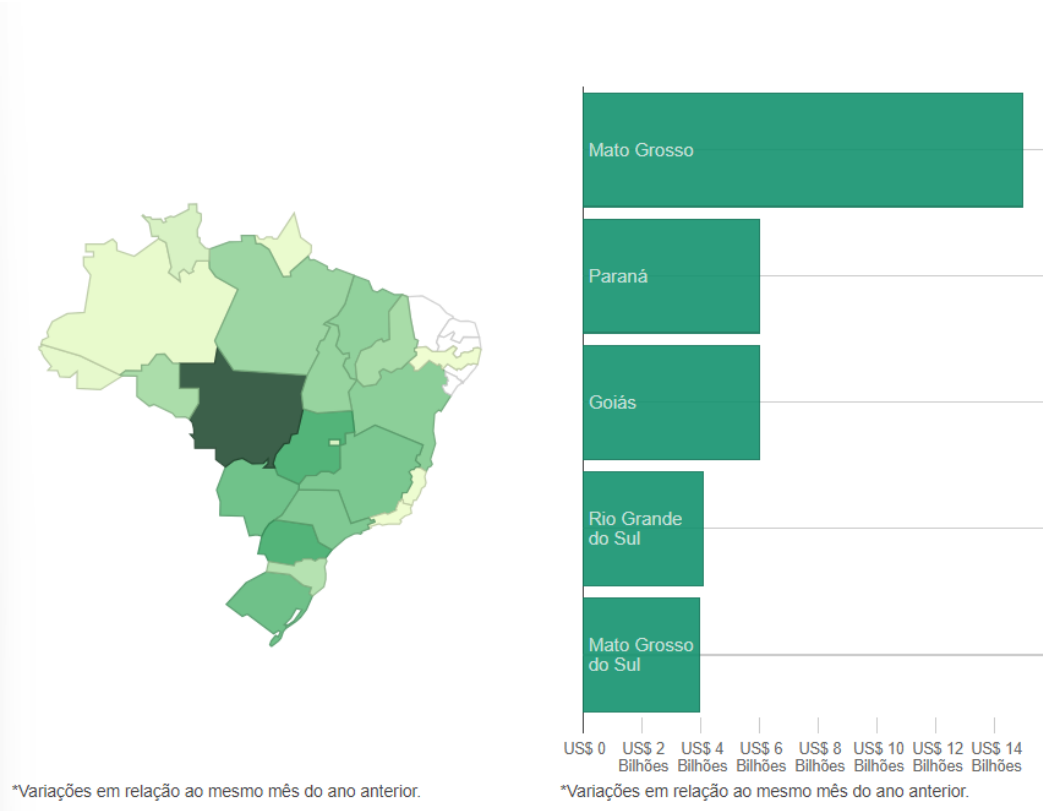
A soja é responsável por cerca de 16% da pauta de exportação brasileira e 65% da participação das exportações do setor agropecuário, o que equivaleu, no ano de 2023, a R\$53,2 bilhões (Comex Stat, 2024), sendo o principal produto de exportação. Cerca de 70% da produção de soja no Brasil é destinada à exportação (Conab, 2021). O produto vem principalmente do Mato Grosso, responsável por 28,2% da soja exportada em 2023, seguido por Paraná (11,3%), Goiás (11,3%), Rio Grande do Sul (7,7%) e Mato Grosso do Sul (7,49%) (Comex Stat, 2024).

Gráfico 1 - Visão Geral dos Produtos Exportados pelo Brasil em 2023



Fonte: Comex Stat, 2024.

Gráfico 2 - Exportações de soja por estado em 2023

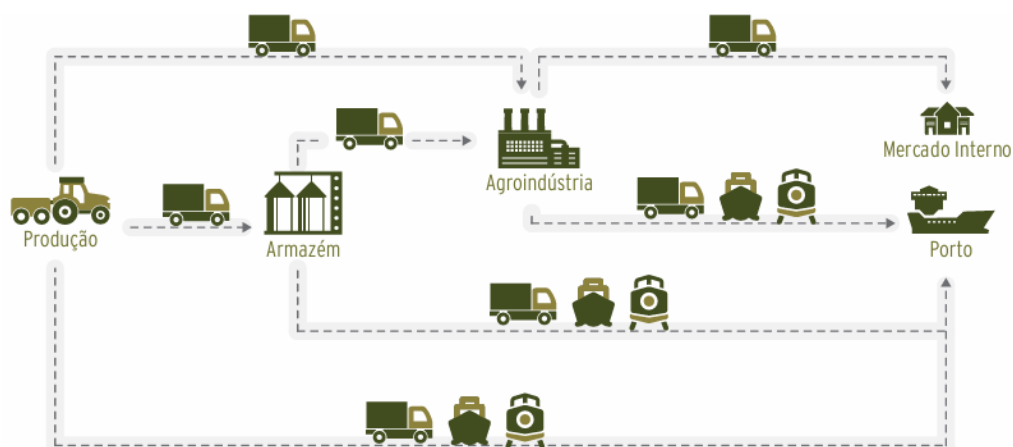


Fonte: Comex Stat, 2024

A comercialização e exportação da soja é feita por um canal curto, não precisando de beneficiamento especial depois da colheita. 70% das transações são feitas por empresas privadas, podendo ser nacionais ou transnacionais e os outros 30% por meio de cooperativas (Dall'Agnol et al, 2021). As cooperativas permitem que o pequeno e médio produtor se coloque no mercado, facilitando as negociações de insumos agrícolas, acesso a insumos, produtos e materiais.

O logística de transporte dos grãos é essencial para que tenha uma melhor eficiência, impactando na competitividade no mercado externo. Um sistema logístico eficiente impacta diretamente nas vantagens competitivas, melhorando a produtividade. Entretanto, o Brasil enfrenta dificuldade no quesito da má distribuição de modais e na falta de incentivo para intermodalidade e multimodalidade. A maior parte do transporte dos grãos para exportação ocorre, primeiramente rodoviário, saindo da produção, com destino aos armazéns, agroindústria ou diretamente para os portos (CNT, 2015).

Figura 1 - Logística de distribuição da soja no Brasil



Fonte: CNT, 2015.

O transporte da soja ocorre da forma a granel, transportadas em grandes volumes e como grande parte da produção sai da região centro-oeste do país, com destino à China, as distancias são longas e precisam de um sistema logístico que atenda uma capacidade elevada, com baixo custo. O Brasil possui uma malha

ferroviária pequena e não aproveita tão bem as hidrovias, utilizando a malha rodoviária, que tem um longo histórico de investimentos no país (CNT, 2015).

1.3. Ascensão da China e parceria comercial

A China é o principal destino das exportações, com 73,1% das exportações de soja voltadas para o país. A ascensão da República Popular da China (RPC) e sua consolidação como uma das principais potências mundiais no século XXI foram essenciais para que o Brasil tivesse o destaque na exportação da soja. (Marques; Campos, 2020). Para que a China chegasse nesse patamar foram fundamentais as reformas modernizantes de Deng Xiaoping em 1978, adotando reformas de modernização nos setores da indústria, agricultura, militar e ciência e tecnologia (Miguel, 2023). A política de atração de Investimento Estrangeiro Direto nos anos 1990 e a entrada do país na Organização Mundial do Comércio (OMC) em 2001 são fatores fundamentais para a abertura econômica do país para o comércio internacional. A renda per capita da população chinesa saiu de 156,4 dólares em 1978 para 12.614,1 em 2023 e a população saiu de 956.165.000 para 1.41 bilhões (World Bank, 2024). Esses fatores levaram o país a uma alta demanda por *commodities* (Marques; Campos, 2020).

A segurança alimentar é tratada como um dos pilares principais da estabilidade política do país pelo Partido Comunista Chines (PCCh). Foi implantada a Política de Autossuficiência Alimentar em 1996, para defender os problemas enfrentados pelo setor agrícola, como êxodo rural, redução de mão de obra no campo, escassez de terras agricultáveis e água e assegurar a alimentação dos centros urbanos, que aumentava cada vez mais, resultando do crescimento econômico do país. Dentre as ações tomadas estão o investimento em infraestrutura, tecnologia e inovação, desenvolvendo sistemas de irrigação, melhoria nas redes de armazenamento e distribuição, mecanização da produção, melhoria nas técnicas agrícolas e gestão do solo e água (Borges; Gillio, 2024).

Apesar de produzir 80% dos alimentos consumidos no próprio país, a China flexibilizou a política de autossuficiência para alimentos como a soja, a fim de poupar recursos, como terra e água. O Brasil entra como um importante parceiro comercial como fornecedor da commodity agrícola. A soja tem como principal

função a produção de alimentação animal, em especial suína, que é base da alimentação chinesa, que, apenas em 2023, teve um consumo de 58,7 milhões de toneladas (Borges; Gillio, 2024).

A parceria comercial Brasil-China inicia em 1974, enquanto a China aponta com sua revolução tecnológica e o Brasil na revolução da agricultura tropical, aumentando em 580% sua produtividade agrícola. Em 2004 é criada a Comissão Sino-Brasileira de Alto Nível de Concentração e Cooperação (Cosban), com objetivo de incentivar a relação bilateral entre os países, consolidando uma parceria estratégica. A parceria comercial agropecuária teve um crescimento médio de 29% ao ano, saindo de cerca de U\$2,3 bilhões em 2000, para U\$ 66,3 bilhões em 2015 (Fávaro, 2024) Em 2009 o comércio internacional com a China supera a relação Brasil-Estados Unidos pela primeira vez, se tornando o principal parceiro comercial do Brasil. Em 2023 27,1% do comércio internacional brasileiro foi feito com a China (ApexBrasil, 2024).

1.4. Desafios e Oportunidades para o Brasil no mercado externo

80% da produção mundial de soja é concentrada entre Brasil, Argentina e Estados Unidos, que destinam 74% da sua produção para exportação. O grão é exportado majoritariamente *in natura* e é processado na China, país que lidera o processamento da soja (Marques e Campos, 2020). O Brasil se destaca tanto na exportação de grãos, quanto de derivados de soja (farelo e óleo), os EUA tem seu enfoque na exportação de grãos. A Argentina já se especializou na exportação de farelo e óleo de soja. Esses produtos são exportados principalmente para União Europeia e Leste Asiático, sendo a China o principal comprador (Sampaio et al, 2012).

Os EUA em 2023 exportaram, no total de soja e derivados, U\$ 37,02 bilhões. Os principais compradores são China, com U\$15,11bilhões, União Europeia, U\$4,12 bilhões, México U\$ 4 bilhões. Na exportação apenas do grão, são U\$ 29,83 bilhões, sendo U\$ 15,06 da China.

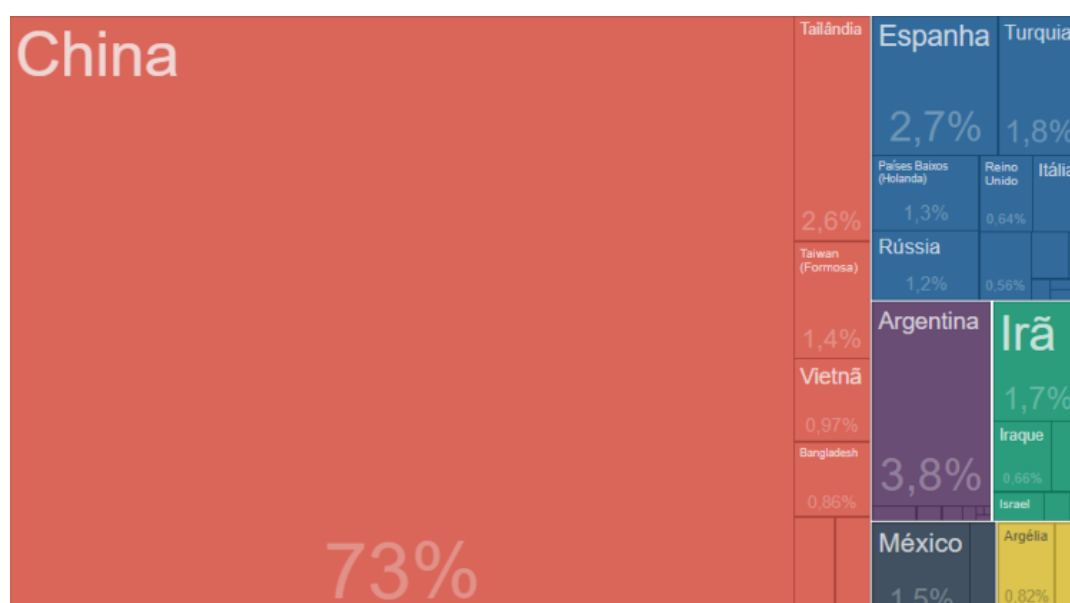
Tabela 1 - Principais compradores de soja e seus derivados dos EUA em 2023

Mercado	Valor total (USD)
China	US\$ 15,11 bilhões
União Europeia	US\$ 4,12 bilhões
México	\$4 bilhões
Japão	US\$ 1,51 bilhão
Indonésia	US\$ 1,35 bilhão
Canadá	US\$ 1,35 bilhão
Filipinas	US\$ 1,34 bilhão
Colômbia	\$ 988,67 milhões
Vietnã	US\$ 658,5 milhões
Taiwan	US\$ 647,57 milhões

Fonte: USDA, 2024

O Brasil destinou 73,1% da sua exportação para a China, US\$ 38,9 Bilhões, de um total de US\$ 53,24 bilhões.

Gráfico 3 - Principais destinos na soja brasileira em 2023



Fonte: ComexStat, 2024

A partir de 1998 o Brasil começa a apresentar vantagens comparativa na exportação de soja, havendo crescimento entre 1997 e 2002 de 2,56% a.a. no comércio do grão. Isso se deu após a insenção do Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (ICMS) sobre as exportações do grão (Figueiredo; Santos, 2005).

A China tem um crescimento projetado de aumento da sua classe média até 2030, aumentando também o consumo de carne bovina nessa população. Apontasse um aumento de 500 milhões de pessoas, que se colocarão como consumidores. O aumento do consumo da proteína bovina traz uma oportunidade de crescimento da exportação de soja, de 19,99% entre 2023 e 2027 (Lima, 2024).

O Ministerio da Agricultura da China (MARA) projeta uma redução da dependência externa para os próximos anos, com o maior desenvolvimento do mercado interno, chegando a 16 milhões de toneladas até 2032. Esse valor representa 21% das importações totais do grão na China. Assim, é necessário que o Brasil busque novos parceiros comerciais, para redução da dependência de um mercado só (Lima, 2024).

É importante para que o mercado da soja permaneça em crescimento, e que os mercados também se expandam, buscando maior diversificação e menor dependência de um único ator. O Governo Brasileiro atingiu o marco de abertura de 200 novos mercados na Agropecuária, em diversos setores (Brasil, 2024) e é necessário que o Ministério das Relações Exteriores e o Ministério da Agricultura atuem também para que essa diversificação possa ocorrer no mercado da soja.

Outro desafio que o Brasil deve enfrentar em resposta às tendências mundiais e as mudanças climáticas é a produção de uma agricultura mais sustentável. O cenário internacional se encontra cada vez mais à práticas sustentáveis. O Fórum Econômico Internacional de Davos em 2024, trouxe a necessidade de estratégias de longo prazo para questões climáticas (Cadeia; Whiting, 2024). É preciso desenvolver práticas agrícolas que minimizem o impacto ambiental. O desenvolvimento de tecnologia no campo é fundamental para que essas práticas ocorram.

2. Evolução Agrícola

Esta seção analisa a evolução do agronegócio brasileiro, com foco no impacto da produção e exportação de soja. Ela está estruturada em 2.1 Evolução do agronegócio e impacto na produção e exportação da soja, que explora o crescimento do setor e a consolidação da soja como carro-chefe do agronegócio; 2.2 Soja no século XXI, abordando os avanços tecnológicos e os desafios enfrentados neste período; 2.3 Agricultura de Precisão, que examina as inovações tecnológicas aplicadas à produção sustentável; 2.4 Agro 4.0 e a Soja Brasileira na Era da Agricultura Digital, explorando a digitalização do setor; e 2.5 Identificação de Problemas e Gargalos, discutindo desafios como conectividade, logística e sustentabilidade no agronegócio.

2.1. Evolução do agronegócio e impacto na produção e exportação da soja

A agricultura foi evoluindo ao longo dos anos, com a finalidade de aumentar a precisão, buscar maior eficiência de processos, diminuir riscos e procurar ter maior controle das atividades agrícolas. As revoluções agrícolas ocorridas ao longo do tempo, foram acompanhadas das revoluções industriais, pois estão ligadas (Mazoyer; Roudart, 2010). A soja é o marco primordial do desenvolvimento agroindustrial brasileiro, podendo dividir a fase do “Brasil da agricultura de subsistência”, até 1960, e o “Brasil do Agronegócio”, a partir de 1960 (Dall’Agnol; Gazzoni, 2018).

A modernização da agricultura brasileira foi um projeto de desenvolvimento nacional, com fundos de fontes internas, como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e outros fundos e externas por meio de financiamentos internacionais. O Sistema de Crédito Rural foi criado no dia 05 de novembro de 1965, por meio da Lei nº 4.829, com a meta de organizar e direcionar o crédito rural para impulsionar a produção, armazenamento, beneficiamento e industrialização de produtos agropecuários. A medida é tomada

para incentivar investimentos em infraestrutura rural, facilitar o custeio da produção e comercialização de produtos agropecuários, fortalecer economicamente os produtores e promover práticas de produção sustentável e proteção do solo. O crédito rural é dividido em custeio para despesas de produção, investimento para compras de bens e serviços, comercialização para apoiar a venda e transporte dos produtos e também concedido para industrialização (Brasil, 1965).

Em 1973 a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) é criada, com o objetivo de desenvolver tecnologia para o modelo de agropecuária tropical, buscando a melhoria em pesquisas, que levem a melhoria na qualidade e eficiência da produção (Embrapa, s.d.). A Lei Agrícola (Lei nº 8.171/1991) estabeleceu as diretrizes da política agrícola no país, tendo como objetivo o planejamento agrícola nacional, tendo o Estado como regulador e orientador, a fim de promover a produtividade; o desenvolvimento de ciência e tecnologia agrícola; preservação ambiental e recuperação dos recursos naturais. Dentre as ações contidas estão, planejamento, assistência técnica, extensão rural, defesa agropecuária, crédito e seguro. Além do estabelecimento de medidas que estimulem o desenvolvimento rural, organização do setor e promover a conservação ambiental (Brasil, 1991).

O primeiro ciclo da revolução da agricultura tropical no Brasil é feito a partir da união dos esforços de pesquisa e investimento. Esse fenômeno levou maior desenvolvimento para as áreas do interior do país. A educação foi um papel fundamental para o desenvolvimento do campo, porque necessita-se de profissionais capacitados para operar novas máquinas (Crestana; Sousa, 2008). Nesse momento, o Brasil se coloca para o mundo como um exemplo de aplicação de tecnologia e ciência no campo para o aumento da produtividade, o que levou a uma colocação importante no cenário do comércio internacional (Alves et al, 2008).

Os programas federais de incentivo ao desenvolvimento foram fundamentais para que a soja obtivesse sucesso no Brasil, pois possibilitaram o estabelecimento de infraestrutura e trouxeram maior retorno econômico da cultura (Calvo; Kiihl, 2008). É importante observar como o Brasil se coloca, ao longo dos anos, em uma posição de aproveitar a oportunidade do aumento de demanda externa pela soja no mundo. Isso só é possível porque o mercado interno tem um

desenvolvimento em pesquisa e desenvolvimento para melhoramento da produtividade.

A partir da tecnologia e pesquisa a soja deixou de ter suas cultivares importadas dos EUA e passou a desenvolver variedade adaptada para as condições tropicais, visto que o plantio de soja era restrito a latitudes próximas ou superiores aos 30°. A primeira cultivar genuinamente brasileira foi lançada em 1980 e a partir desse momento, as pesquisas voltadas para o melhoramento genético avançaram, fazendo com que o grão se adaptasse cada vez mais ao território brasileiro, produzindo cultivares de melhor qualidade. As tecnologias são utilizadas também para a melhorar a sustentabilidade dentro da produção, buscando preservar ao máximo o meio ambiente. O Sistema Plantio Direto (SPD) foi fundamental para a expansão da cultura da soja no Brasil, preservando a cobertura do solo por plantas cultivadas, resíduos vegetais e rotação de cultura, reduzindo a erosão do solo (Landgraf, 2023).

A pesquisa também foi fundamental para equalizar os solos, principalmente os com acidez elevada e baixa fertilidade, como os do Cerrado, permitindo o cultivo da soja. A inoculação com bactérias fixadoras de N (rizóbios) foi fundamental para a produção de soja, gerando uma economia de R\$72,7 bilhões por safra, que seriam gastos em adubos nitrogenados. A Embrapa ainda descobriu outra bactéria em 2014, *Azospirillum*, que estimula o crescimento da soja, atingindo um ganho de produtividade de 16%. Atualmente as pesquisas estão voltadas para a “Genética Avançada, Bioinsumos, Soja Baixo Carbono e Agricultura Digital” (Landgraf, 2023).

A logística de transportes é de extrema importância para o crescimento e competitividade do agronegócio brasileiro, impactando diretamente nos prazos e custos da exportação. A transferência das fronteiras agrícolas do sul e sudeste para norte e centro-oeste fizeram necessários novos pontos de logística, com novas rodovias, ferrovias, portos, armazéns e serviços de logística. Os principais portos para exportação são Santos (SP), Paranaguá (PR) e Rio Grande (RS). Sendo necessário portanto o transporte até esses portos. A distância média das fazendas aos portos é de 1500 km e o modal mais utilizado para transportar os grãos das fazendas aos portos é o modal rodoviário, o que acaba elevando os custos do produto (CNA, 2017).

O Brasil optou ao longo da história pelo modal rodoviário e hoje sofre com as consequências disso no custo de logística. É nítida a diferença dos custos, quando se compara com os EUA, que gastam U\$ 25 por tonelada transportada, enquanto no Brasil chega a atingir U\$ 150 por tonelada, dependendo da safra, no trecho que vai do Mato Grosso aos portos de Santos ou Paranaguá (CNA, 2017). É necessário que os avanços no agronegócio cheguem para a estrutura logística também, diminuindo os custos cada vez mais, para que o país se coloque como um ator cada vez mais competitivo no cenário internacional.

O desenvolvimento tecnológico no campo é importante para que a produtividade possa chegar ao nível máximo, além de reduzir o impacto ambiental. A inovação agrícola é uma forma de colocar o mercado brasileiro cada vez mais competitivo no cenário internacional. As inovações agrícolas estão sempre ligas às industriais, sendo assim, o termo Agro 4.0 remete ao termo Indústria 4.0 e se refere a digitalização do agronegócio. Tendo passado pela Agricultura 1.0, que utilizava tração animal, era voltada para subsistência, com baixa produtividade e dificuldade de acesso à tecnologia (Bazzi; Schenatto; Sobjak, 2023).

A agricultura 2.0 surge a partir do motor a combustão, que permitiu a implementação de maquinário no campo, entre os anos 1990 e 2010 (Bazzi et al., 2023). Nesse período ocorreu a revolução verde, que levou inovações ao campo, com a finalidade de aumentar produtividade por meio da variação genética de sementes, novas técnicas de fertilização dos solos, novos produtos e máquinas agrícolas (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023). Na Agricultura 3.0 houve um avanço na implementação de mecanização no campo, essa fase ficou compreendida como agricultura de precisão, proporcionando ganhos produtivos e aumentando também a utilização de insumos agrícolas (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023). A Agricultura 4.0 é um avanço importante da agricultura de precisão, sendo caracterizada pela digitalização do campo, é o momento de conectividade entre os elos da cadeia produtiva, através da tecnologia, visando a melhoria de todo o processo, levando mais segurança alimentar e sustentabilidade (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023).

Figura 2 - Evolução da agricultura



Fonte: Bazzi; Schenatto; Sobjak, 2023.

2.2. Soja no século XXI

Com os avanços tecnológicos no Cerrado, a região Centro Oeste se tornou a maior produtora de soja do Brasil a partir do ano 2000, tendo o Mato Grosso se consolidado como líder, com mais de 30% da produção nacional (Dall'Agnol; Gazzoni, 2018). Durante o século XXI, o aumento da produção de soja foi de 302,3% e o incremento da área de plantação foi de 215,5%, saindo de 13,97 milhões de hectares na safra de 2000/2001 para 44,07 milhões de hectares na safra de 2022/2023, tendo também um aumento na produtividade de 27,5%, saindo de 2,751 kg por hectare para 3,508 kg por hectare no mesmo período. O aumento da participação do Brasil na produção mundial de soja ao longo do século XXI foi de

18,7%, indo de 23,5% para 42,2% na safra 2022/2023, representando um forte crescimento na participação do país no mercado mundial (Brasil, 2024).

A produção de soja brasileira cresce para atender a demanda internacional, tendo cerca de 70% da sua produção destinada ao mercado externo. No início do século a União Europeia era a principal importadora da soja brasileira, importando 60% do total vendido no mercado internacional, e a China se colocava em segundo lugar, com 19,8%. O comércio internacional de soja aumentou 94,7 milhões de 2001 a 2022. Em 2009, a China passa a ser responsável por 50% do comércio de soja no mercado internacional e em 2022 se torna responsável pela importação de 81,5% dos grãos no mercado internacional. Assim, é possível perceber o poder do mercado chinês para o comércio internacional e aumento da safra brasileira (Brasil, 2024).

Quanto ao preço da soja no mercado internacional entre 2001 e 2002 girava em torno de U\$200 por tonelada, enquanto em junho 2022 chegou a U\$727,06 por tonelada (Brasil, 2024).

A consolidação da cadeia produtiva da soja criou fortes polos regionais e a população foi enriquecendo, melhorando a qualidade de vida e diminuindo os fluxos migratórios às megalópoles. O sucesso da soja veio acompanhado da geração de empregos diretos e indiretos. Em média, cada dez hectares de soja geram um emprego direto e um indireto, tendo o Brasil 35 milhões de hectares destinados a soja, o número de pessoas com empregos ligados a soja é de aproximadamente 7 milhões. Ocorreu também a modernização das relações trabalhistas no campo e incentivo ao treinamento e capacitação dos trabalhadores rurais, bem como de suas famílias (Dall'Agnol; Gazzoni, 2018).

O aumento da produção da soja foi responsável pela promoção da agricultura empresarial no Brasil, bem como a indústria ligada ao agronegócio, sendo possível reconhecer a clara divisão do agronegócio brasileiro antes e depois da implementação da cultura no país. Outro ponto foi a modernização e ampliação do sistema de logística. A expansão de fronteiras agrícolas para o oeste brasileiro levou ao desenvolvimento de cidades, que se tornaram grandes centros urbanos. O agronegócio brasileiro foi se tornando cada vez mais profissionalizado e as exportações foram aumentando junto ao desenvolvimento tecnológico no campo (Dall'Agnol, 2016).

2.3. Agricultura de Precisão

A Agricultura de Precisão é um conjunto de tecnologias e métodos que permite gerenciar de forma localizada as plantações, considerando a variabilidade dentro de uma mesma área, gerando maior eficiência produtiva e menor impacto ambiental, buscando aumentar a produtividade, reduzir custos e minimizar os impactos ambientais. Foi introduzida no Brasil nos anos 1990, mas com avanços principalmente nos anos 2000, com a popularização do GPS e outras tecnologias digitais. Atualmente integra ferramentas como Big Data e sensores autônomos, que possibilitam uma tomada de decisão mais precisa e preventiva (Senar, 2019).

As principais tecnologias envolvidas são os Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS), que permitem determinar a localização de atributos geográficos e trajetos de equipamentos agrícolas, como GPS. Outra inovação foram os sistemas de orientação, como barra de luzes, que auxilia operadores no direcionamento da máquinas para garantir precisão operacional e piloto automático que atua diretamente no controle do equipamento, eliminando erros humanos (Senar, 2019).

As principais ferramentas aplicadas na Agricultura de Precisão são amostragem georreferenciada, que identifica a variabilidade dentro do talhão, como diferenças de fertilidade do solo ou produtividade. Pode ser de baixo custo, como sensores de produtividade, ou de alto custo, como análises de fertilidade detalhada. O mapeamento das operações, a partir do mapa da colheita, que registra a produtividade de diferentes áreas do terreno, o mapa de distribuição de insumos, garantindo aplicação localizada e otimizada de fertilizantes e herbicidas, e o mapa de operações, que monitora a eficiência e qualidade das operações agrícolas. Sensoriamento foi outra ferramenta extremamente importante, podendo ser de forma direta, por sensores em contato com o solo ou plantas, como os medidores de compactação do solo, ou de forma remota, com sensores que capturam informações sem contato físico, como imagens via satélite ou drones (Senar 2019).

A partir da Agricultura de Precisão foi possível obter mais eficiência produtiva, tendo mais controle sobre insumos e operações, otimizando o uso de recursos. Desse modo, a aplicação de fertilizantes e herbicidas em doses variáveis, com base nas recomendações que essas tecnologias apresentam, reduz desperdícios

e melhora a eficiência dos insumos. Os sistemas de orientação garantem um trajeto mais preciso para as máquinas agrícolas, reduzindo sobreposições e falhas nas operações. Os dados apresentados pelo sensoriamento ainda podem antecipar problemas, permitindo a tomada de ações preventivas (Senar, 2019). A redução de impactos ambientais é um dos pilares da Agricultura de Precisão, buscando reduzir cada vez mais o desperdício de insumos, como fertilizantes e defensivos agrícolas, que são aplicados de forma controlada e localizada, evitando excesso de produtos que poderiam contaminar o solo e os recursos hídricos. Outro controle é no uso racional dos recursos naturais, fazendo uma gestão mais eficiente da água, por monitoramento de umidade do solo e mapas de produtividade, reduzindo o consumo hídrico sem comprometer a produção (Senar, 2019).

Melhorando a produtividade e reduzindo custos, os produtores atingem melhores ganhos financeiros com a implementação dessas tecnologias. Reduzindo custos operacionais, utilizando menos insumos, devido a aplicação precisa, e aumento da vida útil das máquinas e equipamentos, devido à otimização dos trajetos e operações. Aumento da produtividade ao identificar áreas de alto e baixo desempenho dentro dos terrenos, permitindo ações específicas para maximizar o potencial produtivo de cada região, e monitoramento contínuo e em tempo real de operações agrícolas permite manter a lavoura nas condições ideais. Além disso, um ponto importante que os produtores rurais precisam se atentar é o retorno sobre o investimento (ROI), visto que a implementação inicial das tecnologias tem um custo alto, mas apresentam benefícios a longo prazo, com o aumento da produtividade (Senar, 2019).

2.4 Agro 4.0 e a Soja Brasileira na Era da Agricultura Digital

Nessa nova era da agricultura a automação se torna cada vez mais importante, implementando máquinas autônomas para pulverização, semeadura e colheita, controlados com navegação via satélite. Essa automação permite maior agilidade e precisão, reduzindo falhas, desperdícios e sobreposições (Bazzi; Schenatto; Sobjak, 2023).

A Embrapa utiliza a agricultura digital como um pilar estratégico para promover inovação, sustentabilidade e competitividade no setor agrícola brasileiro (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023). Dentro do VII Plano Diretor da Embrapa (2020-2030)

ficaram estabelecidas diretrizes e metas para a atuação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) na próxima década, considerando os desafios e oportunidades do setor agropecuário brasileiro. A transformação da agricultura brasileira deve ser feita a partir de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) como base para uma nova era agrícola, com foco em biotecnologia, agricultura digital (IoT, drones, inteligência artificial), bioeconomia e sustentabilidade. Como objetivos estratégicos finalísticos tem-se a promoção da sustentabilidade, competitividade, agregação de valor, segurança alimentar e adaptação às mudanças climáticas. Dentro dos objetivos estratégicos organizacionais estão a melhoria da gestão, governança e eficiência administrativa (Embrapa, 2020).

Os temas prioritários abordados no Plano são a sustentabilidade ambiental e sistemas produtivos, uso de tecnologias digitais e automação, bioeconomia e desenvolvimento regional sustentável e inclusão produtiva de pequenos produtores. Visando reduzir os impactos sociais e econômicos, o documento aponta a redução de desigualdades no campo, promoção do acesso a tecnologias para pequenos agricultores e fomento a práticas agrícolas sustentáveis que equilibrem produção e conservação (Embrapa 2020).

Para reduzir as desigualdades no campo, é necessário promover acesso à educação e capacitação, promovendo assistência técnica e à extensão rural para capacitar pequenos produtores em práticas modernas, incentivar a educação básica e especialização em áreas rurais. O associativismo e cooperativismo também são importantes para estimular a organização de pequenos produtores para superar barreiras de mercado, como altos custos de insumos e baixos preços de venda. Além disso, é preciso apoiar a formulação e execução de políticas públicas voltadas para a inclusão produtiva e o desenvolvimento no campo, focando em regiões de maior vulnerabilidade, como o Semiárido brasileiro (Embrapa, 2020).

Visando promover o maior acesso a tecnologias para pequenos agricultores, é preciso desenvolver soluções tecnológicas voltadas para pequenos produtores, como cultivares adaptados e sistemas integrados de produção; facilitar o acesso a ferramentas digitais, como plataformas de monitoramento agrícola, que ajudem na tomada de decisões. Para que ocorra a inclusão digital é preciso oferecer programas de capacitação em tecnologia digital, incluindo o uso de aplicativos e sistemas de gestão agrícola. Trabalhar em parceria com ONGs, universidades e governos locais é importante para ampliar a adoção de tecnologia em áreas remotas. Cabe também

trazer soluções personalizadas, adaptando tecnologias para diferentes biomas e tipos de agricultura, considerando as necessidades específicas de pequenos agricultores (Embrapa, 2020).

Visando fomentar práticas agrícolas sustentáveis que equilibrem produção e conservação, é preciso que ocorra o incentivo a boas práticas agrícolas incentivando práticas sustentáveis como rotação de culturas, manejo integrado de pragas e técnicas de conservação do solo e da água, reforçando também a adoção de práticas agroecológicas e de baixo impacto ambiental. O uso de bioinsumos e tecnologias limpas pode substituir insumos químicos, utilizando fertilizantes orgânicos e controle biológico de pragas. Implementar sistemas para monitorar o uso de recursos naturais e promover a recuperação de áreas degradadas. É preciso priorizar a atuação de ações sustentáveis nos biomas mais ameaçados, como a Amazônia e o Semiárido, com tecnologias e políticas adaptadas às condições locais (Embrapa, 2020).

O documento da Embrapa (2020) ainda aponta a importância da transformação digital, a partir da modernização da infraestrutura de TI para suportar big data, blockchain, inteligência artificial e outras tecnologias. A agricultura digital tem como base a colheita e análise de grandes volumes de dados para otimizar processos, integrando tecnologias como biotecnologia, geotecnologias, mercados digitais e certificações. Essas transformações se alinham aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como o aumento da produtividade agrícola de pequenos produtores. Entretanto, a desigualdade ao acesso desses recursos e informações ainda é um desafio que precisa ser ultrapassado (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023).

Quando comparada a indústria, a revolução agrícola é bem mais complexa, visto que o produto final é imprevisível e depende de vários fatores que influenciam na qualidade final, como clima e os próprios fatores biológicos. Os processos de implementação tecnológica é o mesmo da indústria, mas o ambiente se diferencia (Bazzi; Schenatto; Sobjak, 2023). Na agricultura o produto final é dependente da natureza, que não é rápida como as demais evoluções tecnológicas. Para que ocorra uma melhoria em alguma área depois de ser testada é preciso o tempo da próxima safra, com isso as inovações acabam demorando mais. Mesmo com esse avanço mais devagar que outras áreas, a tecnologia deve ser cada vez mais aplicada no campo, para que possam ser colhidos melhores resultados a longo

prazo, possibilitando ao produtor tomar decisões com base em informações mais precisas, ao invés da observação de ações momentâneas ou baseadas em calendários (Ferraz, 2023).

As projeções futuras para a produção de grãos são de um aumento de 27,1% até 2030/2031, em relação a 2020/2021. O avanço tecnológico no campo está ligado diretamente a esse aumento da produção, transformando a agricultura em um campo cada vez mais preciso. Atualmente, 84% dos agricultores brasileiros utilizam alguma forma de tecnologia digital, com destaque para o uso da internet e conectividade (70%) e aplicativos móveis ou softwares de gestão (58%). Essas ferramentas possibilitam uma gestão mais eficiente das propriedades, desde a obtenção de informações básicas até a comercialização da produção (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023).

No campo a conectividade precisa ser maior, com propriedades chegando a milhares de hectares, não havendo aplicabilidade da transmissão em redes, limitando o nível de cobertura. A segurança é mais frágil, pois há uma facilidade maior de acesso devido à dificuldade de controlar o acesso com precisão das áreas cobertas pela rede de comunicação. O clima é uma outra dificuldade encontrada, visto que os sensores vão precisar passar por condições adversas, podendo prejudicar as interferências (Bazzi; Schenatto; Sobjak, 2023). Menos de 20% dos agricultores utilizam tecnologias de alta complexidade, devido a desafios como o alto custo de aquisição (67%), falta de conectividade à internet (48%) e carência de capacitação técnica (41%) (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023).

Esses fatores evidenciam a necessidade de maior investimento em infraestrutura e treinamento para democratizar o acesso a essas inovações. Assim, o agronegócio tem mais limites que as cadeias industriais e é preciso pensar em soluções para implementar e avançar cada vez mais com as tecnologias, para que essa parcela econômica se torne cada vez mais produtiva, melhorando a lucratividade e atingindo melhores resultados no mercado global. A agricultura 4.0 busca atingir cada vez mais os objetivos necessários para que as melhorias no campo ocorram, melhorando a Agricultura de Precisão (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023).

Mesmo com as dificuldades enfrentadas, os benefícios identificados pelos agricultores são significativos. Mais de 65% relataram aumento na produtividade agrícola, enquanto 63% destacam uma melhor organização do planejamento diários e redução de custos de produção. Além disso, 61% dos produtores apontam para o

aumento da receita gerada, evidenciando o impacto positivo da transformação digital no setor. Isso torna as expectativas futuras promissoras. Muitos agricultores demonstram interesse em ampliar o uso de tecnologias mais avançadas, especialmente para o controle de pragas, detecção de doenças, gestão hídrica e rastreamento de produtos agrícolas (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023).

A colaboração entre empresas e organizações como a Embrapa e o Sebrae desempenham um papel essencial nesse cenário, promovendo inovação e acessibilidade. O futuro da agricultura brasileira está atrelado ao equilíbrio entre modernização tecnológica, sustentabilidade tropical e produção de alimentos de alta qualidade. A Embrapa vem desempenhando um papel estratégico na construção de um ecossistema de inovação aberta que integra universidades, institutos de pesquisa, startups, aceleradores e empresas. A missão dessa ação é mapear as demandas dos produtores rurais e oferecer soluções tecnológicas que atendam às necessidades do setor, promovendo eficiência, sustentabilidade e avanço tecnológico (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023).

Dentro da agricultura digital, a Embrapa desenvolve projetos que exploram tecnologias de ponta, como inteligência artificial, blockchain, IoT (Internet das Coisas) e computação em nuvem. Essas inovações possibilitam o monitoramento de fatores ambientais, a gestão de riscos agrícolas, a identificação de características genéticas e biotecnológicas, e a otimização do uso da terra (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023). Além disso, soluções digitais têm sido criadas para apoiar políticas públicas, fortalecendo a cadeia produtiva e ampliando a competitividade do Brasil no mercado global (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023). Para viabilizar essas inovações, a Embrapa tem modernizado sua infraestrutura de computação de alto desempenho, o que aumenta sua capacidade de processamento e armazenamento de grandes volumes de dados. Esse esforço contribui para a transformação do setor agropecuário, potencializando o uso de tecnologias em larga escala (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023).

O ecossistema de inovações coordenado pela Embrapa conta com mais de 1574 startups identificadas no Radar Agtech Brasil 2020/2021, atuando nas etapas de pré-produção, produção e pós produção (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023). Para facilitar a integração dessas startups com o setor agrícola, foi criada a Plataforma AgroAPI, que disponibiliza dados, algoritmos e modelos gerados pela Embrapa. Essa ferramenta fomenta parcerias público-privadas, permite a criação de novos

modelos de negócios e impulsiona o desenvolvimento de soluções digitais (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023).

Outro destaque é a proposta de um corredor de inovação aberta na região de Campinas, Piracicaba, São Carlos e Ribeirão Preto (SP). Esse corredor abrange 112 instituições de ensino e pesquisa, 52 ambientes de inovação e 168 agtechs, reforçando o estado de São Paulo como um polo de excelência em tecnologia agrícola (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023). Além disso, a Embrapa lançou o AgNet, um laboratório vivo dedicado à experimentação em campo, agricultura digital e sustentabilidade, oferecendo suporte às empresas na validação de suas soluções (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023).

A liderança global do Brasil em agricultura sustentável depende da colaboração entre diversos atores, como produtores rurais, fornecedores de insumos, processadores de diferentes áreas, incluindo agronomia, biologia, engenharia, computação, matemática e estatística (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023). Por meio de iniciativas como AgNet e Plataforma AgroAPI, e Embrapa não apenas conecta esses atores, mas também promove o desenvolvimento de tecnologias alinhadas às necessidades do campo. Essa abordagem reforça a posição do Brasil como referência em inovação agrícola, garantindo a sustentabilidade e o crescimento do setor (Bolfe; Leite; Massruhá, 2023).

Em agosto de 2019 a Câmara do Agro 4.0 foi lançada. Uma iniciativa coordenada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e pelo Ministério da Ciência Tecnologia e Inovações (MCTI). O projeto integrado por instituições públicas, privadas e acadêmicas alinha-se às diretrizes do Plano de Internet das Coisas (IoT), estabelecido pelo Decreto nº 9.854/2019. O objetivo dessa Câmara é posicionar o Brasil como líder global em soluções digitais para agropecuária tropical, além de aumentar a produtividade e a sustentabilidade no setor agropecuário. O plano tem foco em introduzir tecnologias digitais na agropecuária, garantir oferta de soluções tecnológicas para produtores de todos os portes, expandir a conectividade no campo e evitar duplicação de esforços entre instituições públicas e privadas (Brasil, 2021).

As iniciativas foram estruturadas em quatro áreas de atuação, cada uma coordenada com um dos GTs da Câmara. O GT de Desenvolvimento, Tecnologia e Inovação ficou responsável por mapear os ambientes de inovação voltados ao Agro 4.0 no Brasil, identificar instrumentos de fomento e financiamento para inovação e

promover transferência de tecnologias já disponíveis. O GT Desenvolvimento Profissional ficou responsável por incorporar temas como agricultura digital e de precisão nos currículos de graduação e pós-graduação e ampliar capacitação por meio de educação à distância e cursos especializados. O GT de Cadeias Produtivas e Desenvolvimento de Fornecedores tem por objetivo identificar gargalos e propor soluções para as cadeias produtivas, integrar elos das cadeias produtivas para melhorar rastreabilidade e valor agregado e traçar o perfil tecnológico de pequenos e médios produtores. O GT de Conectividade no Campo tem por objetivo explorar tecnologias para conectividade no meio rural, identificar e implementar linhas de financiamento para projetos de conectividade e desenvolver marcos regulatórios para facilitar a expansão da conectividade (Brasil, 2021).

Esses GTs tem como meta de longo prazo fomentar inovações tecnológicas, aumentando a adoção de tecnologias no campo e a eficiência produtiva; apoiar startups e empresas de base tecnológica, estimulando o surgimento de soluções inovadoras para a agropecuária e ampliar a base de conectividade no campo, viabilizando internet de qualidade para pequenos e grandes produtores. Para que tais medidas possam ser implementadas é suma importância a colaboração entre governo, iniciativa privada, academia e produtores rurais, para que o Brasil possa se consolidar como referência global em tecnologia agrícola (Brasil, 2021).

O domínio das tecnologias dentro do Agro 4.0 é um fator essencial para que o Brasil se mantenha competitivo no mercado internacional. A digitalização do Agro trouxe o uso de dados e informações para o centro da agricultura, com a agricultura de precisão, monitoramento climático e de frotas, com uso de satélites e drones para coleta de dados, e digitalização das cadeias produtivas, a partir do comércio, compra de insumos e finanças. O Brasil pode ser colocado em um lugar de protagonismo global, com soluções que tem potencial para exportação, aumentando a competitividade em mercados globais. A rastreabilidade e sustentabilidade também podem levar a essa posição de destaque, com demandas crescentes no mercado internacional, que podem ser alavancadas com tecnologia. O desenvolvimento de tecnologias nacionais pode gerar uma gama de empregos qualificados no campo, atraindo novas gerações para o setor. Além disso, a pesquisa agrícola baseada em dados pode acelerar a inovação e permitir avanços em larga escala, permitindo uma integração de sucesso entre academia e mercado (Albuquerque, 2023).

Dessa forma, o Brasil precisa equilibrar o acesso a tecnologias globais com o desenvolvimento de soluções locais para garantir competitividade. A integração de dados e tecnologias digitais na agricultura é essencial, mas traz exigências de cooperação entre governo, setor privado e academia. O domínio tecnológico não é apenas uma questão econômica, mas uma estratégia nacional para colocar o país como uma potência agrária (Albuquerque, 2023).

2.5 Identificação de Problemas e Gargalos

A modernização do agronegócio brasileiro exige energia confiável e conectividade eficiente, fundamentais para a adoção de tecnologias avançadas no campo. Embora o Brasil possua uma matriz energética majoritariamente renovável, desafios como a baixa cobertura de internet em áreas rurais, podem limitar esse progresso. Além disso, a expansão agrícola causa impactos ambientais, como desmatamento, uso intensivo de insumos químicos e disputas pelo uso da água. Paralelamente, a disparidade entre grandes produtores tecnificados e pequenos produtores demanda políticas inclusivas que garantam acesso à tecnologia, para que possam promover sustentabilidade e fortalecimento da competitividade do setor, alinhando às metas globais de segurança alimentar e redução de desigualdades.

2.5.1 Energia e conectividade

O setor agrícola brasileiro está cada vez mais dependente de tecnologias modernas de automação e telecomunicação, isso exige um fornecimento de energia elétrica confiável e eficiente. Para atender a essa demanda, é preciso compreender a estrutura e os agentes que compõem o sistema elétrico brasileiro, dividido em geração, transmissão e distribuição de energia (Santos, 2023).

A geração de energia elétrica no Brasil é caracterizada pela conversão de fontes como hidráulica, eólica, solar e biomassa em energia elétrica. Em 2021, 78,1% da matriz elétrica brasileira era composta por fontes renováveis, refletindo o compromisso do país com a sustentabilidade (Santos, 2023). Contudo, a localização das usinas hidrelétricas, responsáveis por mais da metade da energia gerada, em áreas distantes dos grandes centros consumidores, demanda uma robusta rede de transmissão em alta tensão para transportar essa energia de forma eficiente (Santos, 2023).

O setor elétrico brasileiro passou por profundas mudanças nas últimas décadas, incluindo a desverticalização das atividades de geração, transmissão e distribuição, a privatização de empresas e a criação de instituições reguladoras como ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e o ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) (Santos, 2023). Essas transformações abriram espaço para participação de agentes privados e para o surgimento de empresas dedicadas à comercialização de energia, aumentando a eficiência e a competitividade do setor. A confiabilidade do fornecedor de energia elétrica é vital para o uso de tecnologias agrícolas modernas, como sistemas de irrigação automatizados, sensores de monitoramento e equipamentos de telecomunicação no campo. O uso intensivo de energia para operar essas tecnologias destaca a necessidade de uma infraestrutura robusta e bem gerida (Santos, 2023).

Os consumidores de energia elétrica no Brasil têm à disposição dois ambientes de contratação: Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). No ACR, os consumidores cativos, com demanda inferior a 1000kW contratam energia diretamente de concessionárias locais. As tarifas são padronizadas pela ANEEL e revisadas periodicamente. Esse sistema oferece simplicidade e previsibilidade, sendo ideal para pequenos consumidores ou aqueles que não desejam lidar com negociações complexas. O custo é definido por tarifas específicas, incluindo a Tarifa de Energia (TE) e Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), aplicadas com base no consumo mensal em horários de ponta e fora de ponta (Santos, 2023).

Já o ambiente de Contratação Livre (ACL) é destinado a consumidores acima de 1000kW e podem negociar de forma direta com geradoras ou comercializadoras de energia, dentro ou fora de suas áreas de concessão. A negociação direta oferece a possibilidade de preços mais competitivos, protegendo contra flutuações tarifárias do mercado regulado. É mais técnico e o consumo contratado é ajustado por meio do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), que é calculado com base na oferta de geração e na demanda do sistema, variando em períodos de escassez hídricas, por exemplo (Santos, 2023).

Existe uma regulamentação específica para consumidores rurais, incluindo benefícios para atividades sazonais ou ligadas diretamente à agricultura, pecuária e pesca. A resolução 1000/2021 da ANEEL estabelece condições diferenciadas para esses consumidores, reconhecendo sua importância estratégica para a economia

brasileira (Santos, 2023). Os consumidores rurais devem planejar cuidadosamente seu consumo de energia especialmente para evitar custos adicionais relacionados ao uso acima da potência contratada, podendo impactar a operação da rede elétrica e o atendimento de outros usuários (Santos, 2023). Assim, para o setor agropecuário, a energia elétrica é um insumo estratégico que requer planejamento e análise, podendo ter a oportunidade de adotar estratégias que otimizem os custos e fortaleçam a competitividade (Santos, 2023).

A conectividade no meio rural é fundamental para viabilizar a transformação digital no campo e consolidar a Agricultura 4.0 como uma realidade no Brasil. Apesar dos avanços tecnológicos, a cobertura de internet nas áreas rurais ainda enfrenta desafios significativos, comprometendo a universalização dos benefícios tecnológicos para o setor agrícola. Atualmente, grande parte das áreas agrícolas e de pastagens não possui acesso adequado à internet. 74% das áreas agrícolas e 52% das pastagens tendo acesso a cobertura 4G de baixa qualidade ou inexistente (Barretto et al., 2023). As tecnologias via satélite oferecem uma alternativa para conectar regiões remotas, entretanto, os custos são elevados e possui latência, o que dificulta a utilização em aplicações que demandam respostas rápidas, como automação de máquinas e robôs (Barretto et al., 2023).

Os produtores rurais variam em seu nível de engajamento digital, desde a comunicação básica presencial, até o uso de plataformas digitais avançadas. Avançar para estágios mais elevados exige investimento em capacitação e na ampliação da conectividade (Barretto et al., 2023). Outro ponto importante é o papel da Assistência Técnica e Extensão Rural, que desempenha um papel central na inclusão digital, levando conhecimento e tecnologia aos produtores rurais (Barretto et al., 2023).

As barreiras à conectividade são um grande desafio que ainda precisa ser enfrentado. A insuficiência de infraestrutura, altos custos de implementação e as desigualdades regionais dificultam o acesso à internet no meio rural. É necessário o engajamento do poder público para suprir esses gargalos, a partir de estratégias de regulamentação e incentivo que priorizem a expansão da infraestrutura de conectividade, a capacitação técnica e inclusão digital. O fortalecimento de iniciativas como cooperativismo, crédito rural e comercialização digital também são essenciais para maximizar os benefícios da Agricultura 4.0 (Barretto et al., 2023).

2.5.2 Sustentabilidade

O agronegócio traz diversos impactos para o meio ambiente. O desmatamento e expansão de fronteiras agrícolas é um desses pontos, visto que a pressão por novas terras agricultáveis muitas vezes leva ao desmatamento de áreas florestais, como Amazônia e Cerrado. Isso resulta na perda de biodiversidade e aumento das emissões de carbono. O uso intensivo de insumos químicos como fertilizantes, defensivos agrícolas e corretivos pode levar a contaminação do solo e dos recursos hídricos daquela região, prejudicando não só aquela zona que utiliza o recurso, como as regiões ao entorno. Os grandes projetos de irrigação competem diretamente com o consumo humano e outras demandas, especialmente em regiões com baixa disponibilidade hídrica, levando a conflitos pelo uso da água. As queimadas e incêndios criminosos são muitas vezes utilizados como forma de limpeza de terrenos, aumentando o nível de degradação ambiental (Bergamaschi; Rodrigues, 2023).

Além disso, o uso intensivo de terras para monoculturas, como é o caso da soja, unido a ausência de práticas de manejo sustentável levam à erosão, compactação e perda da fertilidade do solo. A emissão de gases de efeito estufa na agricultura vem principalmente do óxido nitroso, presente nos fertilizantes, causando impactos para as mudanças climáticas, contribuindo para o aquecimento global, secas e enchentes, que são exacerbados devido a essas práticas. O descarte de resíduos químicos e orgânicos da produção agroindustrial muitas vezes não são descartados de maneira apropriada, impactando negativamente os ecossistemas (Bergamaschi; Rodrigues, 2023).

Os impactos que o agronegócio causam para o meio ambiente são muito claros, principalmente as monoculturas. Entretanto, é preciso que esses avanços tecnológicos sejam implementados para mitigar ao máximo esses danos. Não é possível zerá-los, mas é possível buscar um desenvolvimento mais sustentável. A evolução do Agro 4.0 traz cada vez mais soluções para minimizar os impactos ambientais causados por essas monoculturas, como a soja. É preciso ir em busca de uma agricultura cada vez mais sustentável buscando também acabar com a fome e insegurança alimentar, buscando atingir o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2 da agenda 2030.

2.5.3 Desigualdade

O agronegócio brasileiro é marcado por uma elite produtiva altamente tecnificada e conectada, enquanto parte significativa dos produtores permanece vulnerável e dependente de políticas públicas. Essa elite produtiva representa 1% dos estabelecimentos, mas gera 49% do Valor Bruto de Produção (VBP) em 33% da área (117 milhões de hectares), atuando principalmente em commodities agrícolas, utilizando tecnologias avançadas. Os produtores extensivos, com áreas maiores que 500 hectares, geram apenas 1% do VBP. Os produtores emergentes, compreendem 98% dos estabelecimentos, gerando 50% do VBP em 42% da área (151 milhões de hectares). Sendo subdividido em: empreendedores, tecnificados, com alta produtividade e foco em commodities; resilientes, menos intensivos, enfrentam dificuldades econômicas de longo prazo, em grande parte pecuaristas de corte e leite; e os vulneráveis, pequenos estabelecimentos (< 100 ha), dependentes de atividades externas e conectividade básica (Barretto et al., 2023).

Os grandes produtores adotam rapidamente tecnologias avançadas devido ao ganho em escala, enquanto pequenos produtores enfrentam barreiras de acesso a conectividade. O aumento das desigualdades exige políticas que promovam a inclusão produtiva e conectividade para pequenos agricultores (Barretto et al., 2023).

A Agricultura 4.0 deve se basear em três pilares fundamentais: conectividade, capacidade técnica e conteúdo adequado. A conectividade implica qualidade e disponibilidade do sinal de internet para que possa ocorrer a implementação tecnológica. Locais de baixa conectividade dependem de soluções simples, como orientação offline e sensores portáteis, enquanto regiões com alta produtividade podem adotar ferramentas inovadoras, como robótica e blockchain para cadeias produtivas. A capacidade técnica é fundamental para dominar sistemas, sensores e ferramentas digitais pelos produtores e suas equipes, se mostrando um componente-chave para a maximização de benefícios dessas tecnologias. Por fim, as inovações devem ser adaptadas às realidades locais, com conteúdo adequado, atendendo às especificidades dos diferentes perfis produtivos (Barretto et al., 2023).

A automação e informatização podem reduzir ocupações tradicionais no campo, exigindo políticas eficazes de recolocação e qualificação para evitar o aumento da migração para atividades com remuneração maior. Por outro lado, a

Agricultura 4.0 pode contribuir para o desenvolvimento rural, promover a fixação de jovens no campo e criar novas oportunidades educacionais e econômicas (Barretto et al., 2023).

3. Diagnóstico da Situação Atual

O agronegócio 4.0 representa uma evolução significativa no setor agropecuário, promovendo a adoção de tecnologias avançadas que impactam diretamente a eficiência e a sustentabilidade da produção no campo. No entanto, a implementação dessas inovações depende de fatores cruciais, como infraestrutura e acessibilidade tecnológica. No item 3.1 são analisadas as principais tecnologias que compõem o Agronegócio 4.0, incluindo IoT, Big Data, drones e inteligência artificial, destacando sua aplicabilidade e as melhorias proporcionadas na gestão agrícola. Já no item 3.2, os desafios enfrentados pelo setor, como a conectividade limitada, os custos elevados de implementação e a necessidade de capacitação técnica, evidenciando as barreiras que ainda precisam ser superadas para consolidar esse modelo no Brasil. Dessa forma, esse diagnóstico busca apresentar um panorama atualizado, evidenciando os potenciais e os entraves do Agronegócio 4.0 no cenário atual.

3.1. Avaliação das Tecnologias Atuais Utilizadas

A IoT é uma rede de dispositivos inteligentes que se conectam e trocam informações de maneira autônoma. No agronegócio sua aplicação engloba desde sensores climáticos até controle de equipamentos, facilitando o monitoramento e a tomada de decisões em diferentes etapas da produção agrícola. Essa tecnologia possibilita uma gestão mais precisa e eficiente, com impactos diretos na produtividade, redução de custos e sustentabilidade (Espejo; Silva, 2020).

As principais aplicações são para o monitoramento de culturas, utilizando sensores conectados que permitem acompanhar em tempo real as condições do solo, como umidade e nutrientes, além de fatores climáticos essenciais para o desenvolvimento das plantações. É possível detectar de forma precoce pragas e doenças, ajudando a otimizar o uso de defensivos e reduzir perdas. Os dispositivos IoT podem controlar sistemas de irrigação automatizados, ajustando o fornecimento de água de acordo com a necessidade específica de cada área cultivada, promovendo economia de recursos hídricos e maior eficiência no manejo das plantações. A IoT é usada para monitorar a logística, desde o transporte até o armazenamento dos produtos. Sensores conseguem captar as condições de temperatura e umidade, garantindo a qualidade até o consumidor final. As

informações sobre o processo produtivo ainda são disponibilizadas ao consumidor, agregando valor aos produtos. Ainda é possível tomar decisões a partir da coleta de dados por dispositivos IoT, auxiliando na previsão de safras, avaliação de produtividade e estimativa de crescimento, permitindo planejamento estratégico mais assertivo (Espejo; Silva, 2020).

Isso traz diversas vantagens para o produtor, levando maior eficiência operacional, reduzindo desperdícios no uso de água, fertilizantes e pesticidas, promovendo um manejo mais sustentável, otimizando recursos e aumentando a produtividade agrícola. Pode também levar melhorias para a sustentabilidade, melhorando a gestão dos recursos naturais, reduzindo impactos ambientais, contribuindo também para práticas agrícolas de baixa emissão de carbono, alinhadas às demandas de sustentabilidade. O controle automatizado reduz o consumo de insumos e energia, além de minimizar perdas durante o cultivo e colheita, reduzindo custos. A rastreabilidade e monitoramento em tempo real permitem entregar ao mercado produtos com padrões elevados de qualidade e segurança (Espejo; Silva, 2020).

Assim, os produtores que adotem IoT conseguem se posicionar melhor nos mercados nacional e internacional, tendo maior eficiência e rastreabilidade de suas operações. Porém, a IoT possui barreiras, devido a seus altos custos de implementação, principalmente para pequenos produtores, necessidade de infraestrutura adequada, como conectividade em áreas rurais, e capacitação técnica para operar e interpretar os dados fornecidos pelos dispositivos (Espejo; Silva, 2020).

A Inteligência Artificial (IA) implementada no agronegócio tem transformado a forma de produção, permitindo ganhos de eficiência, precisão e sustentabilidade. Suas aplicações incluem desde o preparo do solo até o monitoramento da produção e colheita, utilizando tecnologias como aprendizado de máquina, visão computacional e redes neurais. As principais aplicações são no preparo do solo, em que redes neurais são usada para estimular a retenção de água, ajudando no planejamento do manejo e conservação do solo. O monitoramento das lavouras pode ser feito com drones equipados com IA e sensores térmicos são capazes de identificar anomalias, como a presença de pragas ou parasitas, aumentando a segurança e saúde das plantações. A irrigação sustentável pode ser feita a partir de algoritmos de aprendizados de máquinas que preveem indicadores meteorológicos

e de umidade do solo, otimizando o uso de água e reduzindo desperdícios. A colheita ainda pode ser automatizada a partir de sistemas de visão computacional que classificam frutos por maturação, garantindo maior qualidade na colheita e armazenamento (Coelho, 2024).

A utilização de Inteligência Artificial no campo permite aumentar a eficiência, reduzindo o tempo de trabalho manual e aumento da produtividade por hectare. O uso de insumos diminui com o melhor manejo dos recursos, sendo benéfico para a sustentabilidade. A precisão aumenta com a identificação precoce de problemas, permitindo ações corretivas rápidas e específicas. Outro benefício é a rastreabilidade, visto que há um monitoramento contínuo da produção, desde o campo até a mesa do consumidor (Coelho, 2024).

Quanto aos desafios e limitações, o acesso à tecnologia é um deles, visto que a implementação de IA é mais comum na área comercial do agronegócio, enquanto na agricultura familiar as barreiras são maiores devido a custos e falta de infraestrutura. A baixa conectividade à internet e qualidade de imagens capturadas por drones impactam a eficiência dos algoritmos. A falta de capacitação e conhecimento técnico para operar sistemas avançados em áreas rurais é um problema também enfrentado em muitos lugares (Coelho, 2024).

O uso de Big Data e Analytics no agronegócio tem revolucionado a forma como informações são coletadas, processadas e utilizadas para melhorar a gestão e a produtividade. Essas tecnologias possibilitam a análise em tempo real de grandes volumes de dados coletados de sensores, drones, imagens de satélite e outros dispositivos. Esses dados abrangem variáveis como umidade do solo, condições climáticas, padrões de crescimento de culturas e monitoramento de rebanhos (Campolina et al, 2018).

As principais aplicações são o monitoramento de cada detalhe da lavoura e planejamento das ações específicas para melhorar o desempenho em diferentes áreas da propriedade. A análise de dados permite o uso mais eficiente de recursos como água, fertilizantes e pesticidas. As decisões deixam de ser intuitivas e passam a ser baseadas em análises preditivas e tendências extraídas dos dados históricos e em tempo real. Dados meteorológicos combinados com informações coletadas no campo ajudam a prever mudanças climáticas e seus impactos na produção, permitindo ajustes oportunos. A Big Data ainda é essencial para práticas agrícolas

sustentáveis, reduzindo desperdícios e promovendo a eficiência energética e hídrica (Campolina et al, 2018).

Assim, a produtividade pode aumentar com a identificação de oportunidades de melhoria em cada etapa do processo agrícola, reduzir custos, com o uso direcionado de insumos, evitando excessos e perdas. Leva benefícios também para a sustentabilidade ambiental, com a redução do impacto ambiental por meio do gerenciamento preciso de recursos naturais. Entretanto há desafios de implementação devido a conectividade limitada, infraestrutura insuficiente e capacitação técnica dos produtores para interpretar e aplicar os dados no cotidiano (Campolina et al, 2018).

3.2. Casos de implementação Agro 4.0

O Programa Agro 4.0, implementado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), teve como objetivo fomentar a adoção de tecnologias digitais no setor agropecuário brasileiro. Entre os projetos pilotos realizados em 2020, destacam-se iniciativas que apresentaram resultados expressivos em eficiência, sustentabilidade e redução dos custos (Carvalho et al, 2023).

A Pulverização Inteligente utiliza sensores acoplados a pulverizadores que identificam áreas específicas com plantas a serem tratadas, eliminando a necessidade de aplicação de químicos em toda a área. Tem como base o sensoriamento remoto, detectando a presença de vegetação viva e aplicando os defensivos agrícolas de forma direcionada. Os resultados alcançados foram de 70% de redução no uso de herbicidas, beneficiando a economia de custos e impacto ao meio ambiente e redução de 20% no uso de desfolhantes na cultura da soja (Carvalho et al, 2023).

A Irrigação Inteligente é um sistema integrado de sensores no solo alimentados por energia solar, que monitoram a umidade do solo e outros parâmetros climáticos. Os dados são transmitidos por comunicação via rádio frequência para uma plataforma web, onde são analisados índices de umidade e configurados tipos de solo e culturas. Os resultados alcançados foram de até 30% no consumo de água, ajustando a irrigação às necessidades específicas de cada solo e tipo de plantio, 30% no redução no consumo de energia, com a maior eficiência dos sistemas de irrigação

e melhoria na saúde e qualidade das plantas e solo, com irrigação personalizada para cada necessidade e aplicada com base em dados (Carvalho et al, 2023).

A automação de plantio e colheita é baseada na geolocalização, sensoriamento remoto e inteligência artificial para otimizar as operações de plantio e colheita. Os equipamentos são automatizados e monitoram as variáveis do campo, como densidade de sementes, espaçamento e condições climáticas. Os resultados alcançados foram a redução dos custos operacionais, com menor necessidade de mão de obra e maior eficiência no uso de insumos, aumento da eficiência, com operações mais rápidas e precisas, com menor índice de falhas, e sustentabilidade, reduzindo o impacto ambiental através da aplicação otimizada de recursos e insumos (Carvalho et al, 2023).

O controle de ferrugem da soja utiliza equipamentos avançados para coletar amostras de esporos da ferrugem asiática diretamente no campo. As amostras coletadas são analisadas por um sistema automatizado que combina microscopia avançada e inteligência artificial (IA), que identifica esporos da ferrugem com precisão. O processo automatizado traz agilidade e possui maior confiabilidade que os métodos convencionais, dispensando a necessidade de operadores especializados (Carvalho et al, 2023).

Dentre as tecnologias envolvidas nesse caso estão a Internet da Coisa (IoT), com conexão e integração dos equipamentos com plataformas remotas para análise e armazenamento de dados; sensoriamento remoto, com monitoração de amostras sem necessidade de contato humano constante; inteligência artificial e visão computacional, identificando de forma automatizada e precisa esporos em amostras complexas; e Data Analytics, com análise de dados coletados para gerar relatórios precisos e acionáveis. Os resultados obtidos foram de 22,6% no uso de fungicidas ou sua substituição por alternativas mais sustentáveis, como defensivos, e melhoria na tomada de decisões baseadas nos dados coletados pelo sistema, permitindo uma aplicação mais localizada e racional dos insumos. Ocorreu por tanto a promoção de ganhos de sustentabilidade e eficiência na produção de soja, ao reduzir a dependência de fungicidas químicos e otimizar o manejo de pragas, além de trazer economia significativa para os produtores (Carvalho et al, 2023).

4. Projeções Futuras

As projeções futuras para o mercado da soja são de um aumento de 35,3%, correspondendo de 2023/24 a 2033/34, com um salto de 147,4 milhões de toneladas para 199,5 milhões de toneladas. Essa expansão será impulsionada pelo aumento da área plantada e pela melhoria na produtividade, devido às melhorias tecnológicas e manejo. As áreas plantadas deverão crescer de 46 milhões de hectares (2023/24) para 57,6 milhões de hectares (2033/34), correspondendo a uma expansão de 25,1%. Esse crescimento será liderado por novas fronteiras agrícolas, especialmente na região do Matopiba (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) e a substituição de pastagens degradadas (Brasil, 2024).

Atualmente a produtividade é estimada em 3,23 toneladas por hectare, enfrentando desafios relacionados à variabilidade climática, manejo eficiente e acesso a tecnologias por pequenos e médios produtores. Apesar do crescimento da produção, a produtividade não tem aumentado proporcionalmente, o que evidencia a dependência da expansão de área para sustentar o crescimento (Brasil, 2024).

Quanto ao consumo, o cenário atual é de um consumo doméstico de 52,5 milhões de toneladas, com projeção de crescimento de 19,1%, atingindo 62,6 milhões de toneladas. Esse aumento será impulsionado principalmente pela demanda do setor de rações e do processamento de óleo de soja para atender o mercado interno e a indústria de biocombustível. No cenário de exportação, a projeção para a safra de 2023/24 é de 92,4 milhões de toneladas, para a safra 2033/34 a estimativa é de 130,8 milhões de toneladas, representando um crescimento de 33,6%. O Brasil deverá consolidar sua liderança como maior exportador de soja do mundo, atendendo principalmente à demanda chinesa (Brasil, 2024).

5. Plano de Implementação

O diagnóstico inicial tem como objetivo identificar os gargalos e as oportunidades do cenário atual e a implementação de tecnologia nos cultivos de soja, visando melhor atratividade no mercado internacional. Nessa etapa serão mapeados os processos atuais de importação e exportação, analisando dados sobre logística, documentação, custos e prazos, identificando também gargalos e oportunidades na cadeia de suprimentos e nos mercados-alvo. Nesse momento será entregue um relatório de diagnóstico detalhado com a identificação de desafios e potenciais estratégias de melhoria.

A segunda etapa é o planejamento tecnológico, traçando um plano estratégico para a adoção de tecnologias na produção e exportação de soja. Nessa etapa terão as seleções de tecnologias que podem ser aplicadas, como sensores IoT para monitoramento do solo e condições climáticas, drones para mapeamento e monitoramento de pragas e doenças, softwares de gestão agrícola integrada a rastreabilidade. Também ocorrerá o planejamento de integração dessas tecnologias aos processos atuais e por fim será elaborado um cronograma detalhado com etapas de implementação. Sendo entregue portanto um documento com o plano de tecnologia, especificações e cronograma.

A terceira etapa consiste na capacitação e adequação, com o objetivo de preparar a equipe para operar as tecnologias e garantir a conformidade com os padrões de exportação. Serão realizados treinamentos sobre o uso de sensores, drones e softwares. Nessa etapa também estará contida a adequação dos processos de manejo agrícola às exigências dos mercados internacionais, como certificações de qualidade e sustentabilidade. Além da orientação sobre o uso de dados para otimização da produção e monitoramento em tempo real. Será entregue portanto, um manual de operações das tecnologias e certificados de treinamento.

A quarta etapa consiste na implementação das tecnologias, com o objetivo de instalar as tecnologias selecionadas ao manejo da soja. Implantando sensores IoT para coleta de dados sobre umidade, temperatura e nutrientes do solo. Uso de drone para identificar áreas de baixa produtividade e problemas fitossanitários. Integração de softwares de rastreabilidade para garantir a conformidade com as exigências do

mercado de exportação. Assim, serão feitos os testes iniciais das ferramentas implementadas e ajustes conforme necessário. Será entregue um relatório técnico da implementação com mapeamento das áreas beneficiadas.

A quinta etapa é o monitoramento e avaliação, que tem como objetivo acompanhar os resultados obtidos com a tecnologia e realizar ajustes contínuos. Nessa etapa serão feitos os monitoramentos dos indicadores de desempenho (KPIs), como o aumento da produtividade por hectare, redução no uso de insumos e custos operacionais, taxa de conformidade com padrões de exportação. Reuniões periódicas para avaliação e alinhamento das estratégias. Identificação de lições aprendidas para replicação em outras propriedades. Nessa etapa serão entregues relatórios de desempenho e análise de impacto.

A última etapa consiste no encerramento e sustentação, para consolidar as melhorias implementadas e garantir a continuidade do uso das tecnologias. Serão apresentados os resultados finais da implementação. Haverá o desenvolvimento de um plano de manutenção para os equipamentos e sistemas utilizados. Por fim, orientações para que os produtores aproveitem ao máximo as ferramentas implementadas. Será entregue um relatório final com análise consolidada dos resultados e plano de continuidade.

Os indicadores de sucesso (KPIs) serão:

- Aumento da produtividade por hectare em X%
- Redução do uso de água e insumos químicos em X%
- Melhoria na qualidade do grão para atender padrões internacionais
- Redução de custos logísticos e operacionais

6. Conclusão

O Brasil se tornou líder no mercado global de soja por meio de uma combinação de políticas públicas estratégicas, inovação tecnológica e avanço nas práticas de agronegócio. Ao longo do estudo, identificou-se que fatores como a criação da Embrapa, a implementação de tecnologias agrícolas adaptadas às condições tropicais e a parceria comercial com a China foram determinantes para o crescimento da produção e exportação da soja.

Apesar das conquistas, o agronegócio brasileiro enfrenta desafios significativos, como gargalos logísticos, desigualdades entre pequenos e grandes produtores e questões relacionadas à sustentabilidade. Este trabalho apresentou estratégias que buscam superar essas barreiras, promovendo a modernização tecnológica e a inclusão produtiva, além de enfatizar a importância de diversificar os mercados internacionais e reduzir a dependência do mercado chinês.

Por fim, o projeto de consultoria reafirma que o fortalecimento do setor depende de esforços integrados entre governo, iniciativa privada e academia, com foco na inovação sustentável e na competitividade global. Com isso, o Brasil pode consolidar sua posição de destaque no mercado internacional, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social do país.

7. Referências bibliográficas

APEX BRASIL. **Mapa de investimentos estrangeiros diretos brasileiros.** Disponível em: <https://apexbrasil.com.br/br/pt/solucoes/inteligencia/estudos-e-publicacoes/mapa-de-investimentos-estrangeiros-diretos-brasileiros/mapa-bilateral-de-comercio-e-investimentos-brasil---china-2024.html>. Acesso em: 01 nov. 2024.

APROSOJA BRASIL. **Economia.** Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/soja/economia/#:~:text=A%20cada%20100%20d%C3%B3lares%20exportados,sendo%20a%20metade%20em%20gr%C3%A7as>. Acesso em: 18 out. 2024.

BAZZI, Claudio Leones; SCHENETTO, Kelyn; SOBJAK, Ricardo. Conceitos sobre o Agro 4.0 e Indústria 4.0. *In: DIAS, Eduardo et al. Agro 4.0: fundamentos, realidades e perspectivas para o Brasil.* 1. ed. Rio de Janeiro: Autografia Edição e Comunicação Ltda, 2023. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/storage/arquivos/DCPV/files/Agro4.0-livro.pdf>. Acesso em 08 nov. 2024.

BRASIL. **Comissão Sino-Brasileira de Alto Nível de Concertação e Cooperação (COSBAN).** Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/vice-presidencia/acesso-a-informacao/outros/cosban>. Acesso em: 03 nov. 2024.

BRASIL. **Lei n. 4.829, de 5 de novembro de 1965.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4829.htm. Acesso em: 10 nov. 2024.

BRASIL. **Lei n. 8.171, de 17 de janeiro de 1991.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8171.htm#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20pol%C3%ADtica%20agr%C3%ADcola.&text=Art.,das%20atividades%20pesqueira%20e%20florestal. Acesso em: 10 nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Brasil e China: os 50 anos de parceria que revolucionam o século XXI.** Disponível em:

<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/brasil-e-china-os-50-anos-de-parceria-que-revolucionam-o-seculo-xxi>. Acesso em: 01 nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Soja em grãos**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/relacoes-internacionais/Sojaemgros.pdf>. Acesso em: 03 out. 2024.

CEPEA. **PIB da cadeia da soja e do biodiesel cresce 21% em 2023**. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/releases/cepea-abiove-pib-da-cadeia-da-soja-e-do-biodiesel-cresce-21-em-2023-mas-renda-real-recua-5-3.aspx>. Acesso em: 03 nov. 2024.

CNA BRASIL. **Agro 4.0**. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/storage/arquivos/DCPV/files/Agro4.0-livro.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2024.

CNA BRASIL. **Infraestrutura e logística: desafios para o escoamento dos produtos agropecuários**. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/publicacoes/infraestrutura-e-log%C3%ADstica-desafios-para-o-escoamento-dos-produtos-agropecu%C3%A1rios-1>. Acesso em: 10 nov. 2024.

CNT. **Entraves logísticos: escoamento da soja e milho**. Disponível em: <https://cnt.org.br/entraves-logisticos-escoamento-soja-milho>. Acesso em: 10 set. 2024.

COELHO, Felipe de Moura. **Inteligência Artificial aplicada ao agronegócio: uma revisão acerca dos resultados obtidos após sua implementação**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Sorocaba. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/09aa7fe1-10c0-4f6a-aed7-c16c048b9402/content>. Acesso em: 25 nov. 2024.

CONAB. **Roraima: índice de exportação da soja chega a 70% da produção do estado**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4174-roraima-indice-de-exportacao-da-soja-chega-a-70-da-producao-do-estado>. Acesso em: 15 out. 2024.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Agro 4.0: Fundamentos, realidades e perspectivas para o Brasil**. Brasília: CNA, 2023. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/publicacoes/agro-4-0-fundamentos-realidades-e-perspectivas-para-o-brasil>. Acesso em: 30 nov. 2024.

EMBRAPA. **Documentos 380.** Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/151223/1/Documentos-380-OL1.pdf>. Acesso em: 15 out. 2024.

EMBRAPA. **Mercado da soja.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/socioeconomia/mercado>. Acesso em: 15 out. 2024.

EMBRAPA. **RPA - Revista de Política Agrícola.** Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/download/526/888>. Acesso em: 01 nov. 2024.

EMBRAPA. **Sobre a Embrapa.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/sobre-a-embrapa#:~:text=A%20Empresa%20Brasileira%20de%20Pesquisa,agricultura%20e%20pecu%C3%A1ria%20genuinamente%20tropical>. Acesso em: 10 nov. 2024.

EMBRAPA. **Tecnologias sustentáveis para produção de soja.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/81613580/brasil-e-referencia-no-desenvolvimento-de-tecnologias-sustentaveis-para-producao-de-soja>. Acesso em: 10 nov. 2024.

FGV. **Agroanalysis.** Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/agroanalysis/article/view/91420>. Acesso em: 10 nov. 2024.

GLOBO RURAL. **Quais países mais importam soja no mundo?** Disponível em: <https://globo.rural.globo.com/agricultura/soja/noticia/2023/12/quais-paises-mais-importam-soja-no-mundo.ghtml>. Acesso em: 03 out. 2024.

INSPER. **China e segurança alimentar.** Disponível em: <https://agro.insper.edu.br/storage/papers/June2024/IAG%20China%20Seguranca%20Alimentar.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2024.

IPEA. **Soja e economia.** Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/revistas/index.php/rtm/article/download/265/259/883>. Acesso em: 15 out. 2024.

MAZOYER, Marcel; ROUDART, Laurence. **História das agriculturas no mundo.** São Paulo: Unesp, 10 nov. 2024.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Comex Stat.** Disponível em: <https://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral/114056>. Acesso em: 01 nov. 2024.

SENAR. **Agricultura de precisão para todos.** Disponível em: https://ead.senar.org.br/storage/senar-play/agricultura-de-precisao-conceitos/244_AP_Agricultura-de-precisao-para-todos_200313_154142_2022-06-03-142929_xhzq.pdf. Acesso em: 20 nov. 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA. **Estratégia e desenvolvimento econômico.** Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/37661/1/EstrategiaDesenvolvimentoeEconomico.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2024.

USDA. **Oilseeds commodities.** Disponível em: <https://fas.usda.gov/data/commodities/oilseeds>. Acesso em: 10 nov. 2024.

WORLD BANK. **GDP per capita.** Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?contextual=default&end=2023&locations=CN&start=1978>. Acesso em 03 nov. 2024.

WORLD BANK. **Total population.** Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?end=2023&locations=CN&start=1978>. Acesso em: 03 nov. 2024.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Climate and Nature at Davos 2024.** Disponível em: <https://www.weforum.org/stories/2024/01/everything-you-need-to-know-about-climate-and-nature-at-davos-2024/>. Acesso em: 10 nov. 2024.