

**UNIVERSIDADE DE SOROCABA  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA, EXTENSÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROCESSOS TECNOLÓGICOS E  
AMBIENTAIS**

**Wagner Costa Lachtim**

**APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO NOS PROCESSOS DA QUALIDADE  
EM CONSTRUÇÃO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

**Sorocaba/SP  
2024**

**Wagner Costa Lachtim**

**APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO NOS PROCESSOS DA QUALIDADE  
EM CONSTRUÇÃO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba, como exigência Parcial para obtenção do título de Mestre em Processos Tecnológicos e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Bertoli Gonçalves

**Sorocaba/SP  
2024**

## Ficha catalográfica

L144a Lachtim, Wagner Costa  
Aplicação do controle estatístico nos processos da qualidade em construção de máquinas agrícolas / Wagner Costa Lachtim. – 2024.  
111 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Bertoli Gonçalves.  
Dissertação (Mestrado em Processos Tecnológicos e Ambientais) - Universidade de Sorocaba, Sorocaba, SP, 2024.

1. Controle de processo – Métodos estatísticos. 2. Máquinas agrícolas. 3. Agroindústria. 4. Qualidade – Controle. I. Gonçalves, Daniel Bertoli, orient. II. Universidade de Sorocaba. III. Título.

**WAGNER COSTA LACHTIM**

**APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO NOS PROCESSOS DA  
QUALIDADE EM CONSTRUÇÃO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Processos Tecnológicos e Ambientais.

Aprovado: 08/08/2024

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 DANIEL BERTOLI GONCALVES  
Data: 09/08/2024 10:15:59-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Prof. Dr. Daniel Bertoli Gonçalves**

**Universidade de Sorocaba**

Documento assinado digitalmente  
 SARAH TANUS  
Data: 10/08/2024 22:47:05-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Prof. Dra. Sarah Tanus**

**Universidade de Sorocaba**

Documento assinado digitalmente  
 CLAUDIO ROBERTO LEANDRO  
Data: 19/08/2024 20:45:49-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Prof. Dr. Claudio Roberto Leandro**

**Universidade de Sorocaba**

Dedico este trabalho a todos que estiveram ao meu lado ao longo desta jornada acadêmica. À minha família, pelo amor incondicional, apoio e compreensão em todos os momentos. Aos meus amigos, pelos momentos de descontração que tornaram essa caminhada mais leve. Ao meu orientador, pela orientação sábia e pela confiança depositada em meu trabalho. A todos os professores e colegas de trabalho que contribuíram de alguma forma para o meu crescimento acadêmico e pessoal. Este trabalho é dedicado a vocês, com profunda gratidão e apreço.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que tornaram possível a realização deste trabalho.

À minha amada esposa Sheila, pelo amor, paciência e apoio incondicional ao longo de toda esta jornada. Sua compreensão e incentivo foram fundamentais para que eu pudesse dedicar-me plenamente aos estudos.

À minha família, em especial aos meus pais Pedro e Iraci pelo amor, apoio e incentivo desde o início da minha trajetória acadêmica. Seu apoio inabalável foi uma fonte constante de motivação para superar desafios e alcançar meus objetivos.

Aos professores do curso, pela dedicação em compartilhar conhecimento, orientação e estímulo ao longo do período de estudos. Suas aulas inspiradoras e orientações foram essenciais para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Em especial, gostaria de agradecer ao meu orientador Daniel, pela orientação precisa, incentivo constante e valiosos insights ao longo da elaboração deste trabalho. Sua expertise, dedicação e disponibilidade foram fundamentais para o sucesso desta pesquisa.

A todos os amigos, colegas de trabalho e demais pessoas que de alguma forma contribuíram para este trabalho, meu sincero agradecimento. Cada palavra de apoio, gesto de amizade e momento de troca de conhecimento foram importantes para enriquecer esta jornada acadêmica.

Por fim, agradeço a todos que acreditaram em mim e me apoiaram ao longo desta trajetória. Este trabalho é fruto não apenas do meu esforço, mas também do apoio e colaboração de cada um de vocês.

Muito obrigado!

"A ciência é mais que um corpo de conhecimento, é uma forma de pensar, uma forma cética de interrogar o universo, com pleno conhecimento da falibilidade humana."

Carl Sagan

## RESUMO

Nesta dissertação, investigou-se a aplicação do Controle Estatístico de Processos (CEP) no contexto da construção estrutural de máquinas agrícolas, com o objetivo primordial de aprimorar a qualidade do processo produtivo. O estudo adota uma abordagem metodológica de estudo de caso, se concentrando no processo de fabricação de colheitadeiras em uma empresa do setor agrícola. Inicialmente, realizou-se uma análise detalhada do processo de fabricação das máquinas, identificando variáveis críticas que influenciam diretamente a qualidade do produto final. Posteriormente, foi implementado o CEP como uma ferramenta para monitorar e controlar o processo em tempo real, utilizando indicadores de desempenho como CP e CPK para avaliar a capacidade do processo que inicialmente não era mensurada. Foram adicionadas ao processo de controle estatístico 140 dimensões de controle. Os resultados obtidos revelam a eficácia do CEP na detecção de variações indesejadas e na redução da variabilidade do processo, contribuindo significativamente para a melhoria da qualidade do produto final. As 140 dimensões controladas apresentaram  $CP > 95\%$  e  $CPK > 82\%$ . Além disso, discute-se a importância estratégica do CEP não apenas na garantia da qualidade, mas também no aumento da eficiência operacional e na redução de custos. Tais mudanças possibilitam a redução de paradas de linha de produção que impactam diretamente o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Como conclusão, o trabalho oferece recomendações práticas para a implementação contínua do CEP e sugestões para possíveis pesquisas futuras. Este estudo destaca a relevância do CEP como uma ferramenta essencial para aprimorar a qualidade e a competitividade da indústria de máquinas agrícolas.

Palavras-chave: Controle Estatístico de Processos, Máquinas Agrícolas, Qualidade, Estudo de Caso, Indústria Agrícola.

## ABSTRACT

In this dissertation, the application of Statistical Process Control (SPC) in the context of structural construction of agricultural machinery was investigated, with the primary objective of improving the quality of the production process. The study adopts a case study methodological approach, focusing on the manufacturing process of combine harvesters in an agricultural sector company. Initially, a detailed analysis of the machinery manufacturing process was conducted, identifying critical variables that directly influence the quality of the final product. Subsequently, SPC was implemented as a tool to monitor and control the process in real-time, using performance indicators such as CP and CPK to assess the process capability, which was not initially measured. 140 control dimensions were added to the statistical control process. The results obtained reveal the effectiveness of SPC in detecting undesirable variations and reducing process variability, significantly contributing to the improvement of the final product quality. The 140 controlled dimensions showed  $CP > 95\%$  and  $CPK > 82\%$ . Furthermore, the strategic importance of SPC is discussed not only in ensuring quality but also in increasing operational efficiency and reducing costs. These changes enable the reduction of production line stoppages, which directly impact Overall Equipment Effectiveness (OEE). In conclusion, the work offers practical recommendations for the continuous implementation of SPC and suggestions for future research. This study highlights the relevance of SPC as an essential tool for enhancing the quality and competitiveness of the agricultural machinery industry..

Keywords: Statistical Process Control, Agricultural Machinery, Quality, Case Study, Agricultural Industry.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Porcentagem de participação na indústria .....	54
Figura 2 – Aumento da produção resultante .....	55
Figura 3 – Participação no investimento empresarial em P&D.....	56
Figura 4 – Diferenças entre CP e CPK.....	60
Figura 5 – Medição feita na máquina tridimensional .....	73
Figura 6 – Colheitadeira John Deere S790 .....	75
Figura 7 – Estruturas de uma colheitadeira.....	76
Figura 8 – Definições Iniciais do estudo de CEP .....	77
Figura 9 – Fluxo geral do CEP .....	78
Figura 10 – Capacidade do processo.....	79
Figura 11 – Capabilidade do processo.....	80
Figura 12 – Fase de implementação .....	81
Figura 13 – Laser Tracker AT960-MR.....	82
Figura 14 – Explosão de um subconjunto .....	84
Figura 15 – Empresa na qual foi realizado o estudo .....	85
Figura 16 – Fluxo interno da empresa.....	85
Figura 17 – Fluxo Pintura .....	86
Figura 18 – Qualidade fabricação – TIME CEP .....	87
Figura 19 – Exemplo de planilha de controle .....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução CEP (CP) – Geral .....	82
Tabela 2 – Evolução CEP (CPk) – Geral .....	83
Tabela 3 – Evolução CP – Lower Framer (LF) e Upper Framer (UF).....	88
Tabela 4 – Evolução CPK – Lower Framer (LF) e Upper Framer (UF) .....	88
Tabela 5 – Evolução CP – Geral .....	89
Tabela 6 – Evolução CPK – Geral.....	89
Tabela 7 – Evolução do OEE .....	90

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AIAG	Automotive International Action Group
AR	Autoregressive
ARMA	Autoregressive–Moving-Average
BC	Black Carbon
CE	Circular Economy
CEP	Controle Estatístico de Processo
CNI	Confederação Nacional da Indústria
EAT	Ecological Agricultural Technologies
EWMA	Exponentially Weighted Moving Average
FCS	Fatores críticos de sucesso
FE	Fatores De Emissão
FM	Funktion Master
GEE	Gases de Efeito Estufa
GNSS	Global Navigation Satellite System
LCI	Life Cycle Inventory
LUCC	Land Use/Cover Change
MA	Moving Average
MPC	Model Predictive Control
NPT	Nonpneumatic Tires
OEE	Overall Equipment Effectiveness
PEMS	Portable Emission Measurement System
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PSS	Product-Service System
SQC	Statistical Quality Control
UTAUT	Unified Theory of Acceptance and Use of Technology
VOC	Volatile Organic Compound
FCS	Fatores criticos de sucesso.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	Objetivos do Trabalho .....	15
1.2	Estrutura da Dissertação .....	16
1.3	Questões de pesquisa.....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
2.1	Máquinas Agrícolas .....	17
2.2	Os desafios da mecanização em países em desenvolvimento.....	28
2.3	Os avanços da mecanização agrícola na China.....	32
2.4	Algumas questões ambientais envolvendo a mecanização das lavouras	46
2.5	Contexto da indústria de máquinas agrícolas no Brasil .....	54
2.6	O Controle Estatístico de Processo .....	58
2.7	Fatores Críticos de Sucesso em uma implementação CEP .....	68
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>70</b>
3.1	Método de Pesquisa .....	70
3.1.1	Justificativa para a Escolha do Estudo de Caso .....	70
3.1.2	Pontos Fortes e Limitações do Estudo de Caso .....	70
3.2	Informações sobre a Indústria Estudada.....	71
3.3	Etapas da Pesquisa .....	71
3.4	Coleta de Dados.....	72
3.5	Técnicas Estatísticas Utilizadas .....	73
3.6	Considerações Éticas.....	73
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>74</b>
4.1	O processo de fabricação de máquinas agrícolas.....	74
4.2	Identificação de variáveis críticas .....	75
4.3	Implementação do CEP e análise da capacidade do processo .....	79
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>92</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>95</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Projeções indicam que a população mundial continuará a crescer, alcançando 9,6 bilhões até 2050. Esse aumento na população exigirá um aumento significativo na produção global de alimentos, especialmente nos países em desenvolvimento, onde a demanda por alimentos já é alta e espera-se que continue a aumentar (Hinnou *et al.*, 2022). Para atender a essa crescente demanda, a eficiência e a produtividade agrícolas devem ser melhoradas, e a mecanização agrícola desempenha um papel crucial nesse contexto (Simões e Saraiva, 2023).

A indústria de máquinas agrícolas fornece equipamentos e tecnologias essenciais para aumentar a eficiência das atividades agrícolas. Desde os primórdios da agricultura mecanizada até os avanços tecnológicos mais recentes, as máquinas agrícolas têm sido fundamentais para impulsionar o desenvolvimento do setor agrícola em todo o mundo. Esta indústria abrange uma ampla gama de equipamentos, incluindo tratores, colheitadeiras, semeadoras, pulverizadores, entre outros, projetados para realizar uma variedade de tarefas agrícolas, desde o preparo do solo até a colheita e pós-colheita (Bule, 2023). Além disso, é uma fonte importante de emprego em áreas rurais, proporcionando oportunidades de trabalho para milhões de pessoas em todo o mundo (Lipton, 1980).

O constante avanço tecnológico na indústria de máquinas agrícolas tem sido impulsionado pela demanda por maior eficiência, precisão e sustentabilidade na produção agrícola. Novas tecnologias, como a agricultura de precisão, automação e sistemas de telemetria, têm revolucionado a forma como as operações agrícolas são conduzidas, permitindo aos agricultores monitorar e controlar suas operações de forma mais eficaz, reduzindo custos e otimizando o uso de recursos naturais (Zhao *et al.*, 2024). No entanto, a indústria enfrenta desafios significativos, como flutuações nos preços das commodities agrícolas, volatilidade nos mercados internacionais e a necessidade de se adaptar a mudanças climáticas e regulatórias (Puthenveetil e Sappati, 2024).

Apesar dos avanços tecnológicos, a qualidade dos produtos fabricados continua sendo uma preocupação central para os fabricantes, clientes e demais stakeholders. A busca pela excelência na qualidade dos produtos fabricados é imperativa, uma vez que a competitividade no mercado global exige padrões cada vez mais rigorosos de qualidade e confiabilidade (Singh *et al.*, 2024). Defeitos e falhas nos

produtos podem comprometer a reputação da empresa, resultar em prejuízos financeiros significativos e até mesmo representar riscos à segurança dos usuários (Costa *et al.*, 2023). Portanto, é essencial implementar medidas eficazes de controle de qualidade, como o Controle Estatístico de Processos (CEP), para garantir a conformidade dos produtos com as especificações técnicas e as expectativas dos clientes (Yan *et al.*, 2024).

O CEP é uma ferramenta essencial para monitorar e controlar a qualidade do processo produtivo, permitindo a detecção precoce de variações indesejadas e a correção de desvios que possam comprometer a qualidade do produto final. Sua aplicação em processos de fabricação tem se mostrado eficaz na redução da variabilidade e na melhoria da qualidade dos produtos (Cobb, 2024). No contexto da construção estrutural de máquinas agrícolas, o CEP pode identificar variáveis críticas e proporcionar melhorias significativas na eficiência operacional e na redução de custos (Gupta *et al.*, 2023). Tais mudanças possibilitam a redução de paradas na linha de produção, impactando diretamente a Overall Equipment Effectiveness (OEE) (Thiede, 2023).

A partir de um estudo de caso realizado em uma empresa localizada no interior do estado de São Paulo, esta dissertação investiga a aplicação do CEP no processo de construção estrutural de máquinas agrícolas, ocorrida entre os anos de 2021 e 2022, que buscou identificar e corrigir desvios e variações que estavam comprometendo a qualidade final do produto. Este estudo visa oferecer uma análise detalhada do uso do CEP no processo de fabricação, enquanto uma ferramenta de monitoramento e controle, capaz de avaliar a capacidade do processo e propor recomendações para a melhoria contínua da produção, sugerindo para consideração futura a integração de tecnologias avançadas, como sensores IoT e algoritmos de Machine Learning, para monitoramento e previsão de falhas em tempo real.

O maior insight identificado no estudo foi a substituição das barras de controle de cotas de montagem ao longo da cadeia produtiva por barras virtuais chamada de *Funktions Master* (do alemão mestre de funções). Nessa fase o ponto crucial para evoluir de um controle do produto especificado pela engenharia para o que o processo consegue entregar, verificando se o processo pode ou não atender os limites de engenharia conforme definido pelo autor (Novaski, 2021).

Mazzuchetti *et al.* (2010), cita que muitos programas de garantia de qualidade surgiram nas últimas décadas buscando maior produtividade das linhas de produção.

Entretanto, poucos proporcionaram o alinhamento total com a sua estratégia principal dentro das organizações. Foi observado neste estudo que uma das expectativas iniciais da empresa com o processo foi de construir um estudo alinhado com a metodologia existente de CEP, mas com um processo sem estabilidade e pouca possibilidade de se realizar amostras representativas. Foi adotado medições semanais com o controle das variações dos limites inferior de engenharia (LIE) e superior de engenharia (LSE) que definido por Novaski (2021) representam o que é exigido no projeto no intuito de atender o seu propósito. Doravante com a compra de novos equipamentos foi possível se expandir as amostras e dessa forma ainda segundo Novaski (2021) determinar os Limites de controle Inferior e superior com cálculos simples de estatísticas e que refletem a variação esperada de um período para o outro.

### **1.1 Objetivos do Trabalho**

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a eficácia do Controle Estatístico de Processos (CEP) na melhoria da qualidade do processo produtivo de construção estrutural de máquinas agrícolas, em uma empresa localizada no interior do Estado de São Paulo.

Para alcançar esse objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Realizar uma análise detalhada do processo de fabricação das máquinas agrícolas, da empresa em estudo, identificando as etapas críticas e as principais variáveis envolvidas.
- b) Detalhar como ocorreu a implementação do CEP como uma ferramenta de monitoramento e controle do processo na empresa, com enfoque nos indicadores de desempenho adotados.
- c) Avaliar a capacidade do processo de fabricação das máquinas agrícolas com base nos resultados obtidos pelo CEP.
- d) Propor recomendações para a melhoria contínua dos processos produtivos correlatos, visando aumentar a qualidade e a eficiência da produção.

## 1.2 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, cada um abordando aspectos específicos do estudo.

- a) O Capítulo 1 (Introdução) apresenta a definição do tema e do problema de pesquisa, contextualiza a importância do estudo, estabelece os objetivos do trabalho e descreve a estrutura da dissertação.
- b) O Capítulo 2 (Revisão Bibliográfica) aborda os principais conceitos relacionados ao Controle Estatístico de Processos, à indústria de máquinas agrícolas e aos índices de qualidade.
- c) O Capítulo 3 (Metodologia) descreve o método de pesquisa utilizado, detalha as etapas da pesquisa e justifica a escolha do estudo de caso como abordagem metodológica.
- d) O Capítulo 4 (Resultados) apresenta os resultados da aplicação do CEP na construção estrutural de máquinas agrícolas na empresa estudada.
- e) O Capítulo 5 (Conclusões) discute as principais conclusões do estudo, oferece recomendações práticas e sugere direções para pesquisas futuras.
- f) O capítulo não numerado das Referências, apresenta as fontes de pesquisas formatadas de acordo com a NBR 6023/2018.

## 1.3 Questões de pesquisa

Durante a confecção da revisão bibliográfica desta dissertação, foram utilizadas as seguintes questões de pesquisa.

- 1) Como a implementação do Controle Estatístico de Processos (CEP) impacta a qualidade e eficiência do processo de construção estrutural na fabricação de máquinas agrícolas?
- 2) Quais são os principais desafios e oportunidades enfrentados pelos fabricantes de máquinas agrícolas na adoção de técnicas de CEP para melhorar a qualidade do produto e o desempenho do processo?
- 3) Como a aplicação do CEP pode ser otimizada para abordar questões específicas de qualidade e variabilidade na produção de máquinas agrícolas, levando a uma maior competitividade e satisfação do cliente?

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

O capítulo de revisão bibliográfica deste trabalho fornecerá uma análise detalhada da indústria de máquinas agrícolas, contextualizando-a dentro do cenário econômico e social global. Serão discutidos os principais aspectos da indústria, como tendências de mercado, desafios enfrentados pelos fabricantes e demandas dos consumidores. Serão apresentados dados relevantes sobre o tamanho do mercado, crescimento esperado e principais players do setor.

Os principais conceitos relacionados ao Controle Estatístico de Processos, destacando sua importância na indústria de máquinas agrícolas. Serão discutidos os fundamentos teóricos do CEP, incluindo sua definição, objetivos e princípios básicos. Serão explorados os métodos e técnicas mais comuns utilizados no CEP, tais como gráficos de controle, análise de capacidade de processo e medidas de desempenho.

Por fim, o capítulo abordará os índices de qualidade mais utilizados na indústria de máquinas agrícolas, como CP e CPK, explicando sua importância na avaliação da qualidade do processo e do produto final. Serão discutidas as características e interpretações desses índices, bem como sua aplicabilidade na análise de desempenho do processo de fabricação de máquinas agrícolas.

### **2.1 Máquinas Agrícolas**

Não é de agora que o setor agrícola desempenha um papel fundamental na economia global, fornecendo alimentos, fibras e matérias-primas para diversas indústrias (Farina, 1999). No entanto, para que a produção agrícola seja eficiente e sustentável, é essencial contar com o apoio de máquinas agrícolas. Esses equipamentos desempenham um papel crucial ao otimizar e facilitar uma variedade de tarefas agrícolas, desde o preparo do solo até a colheita final (Schefer, 2020).

As máquinas agrícolas são projetadas e desenvolvidas para atender às demandas específicas do setor agrícola, oferecendo soluções para desafios como o aumento da produtividade, a redução dos custos operacionais e a melhoria da qualidade dos produtos. Esses equipamentos variam em tamanho, complexidade e função, abrangendo uma ampla gama de atividades agrícolas, desde a semeadura e o cultivo até a colheita e o processamento pós-colheita (Nicoli, 2023).

No contexto do ambiente produtivo agropecuário, as máquinas agrícolas desempenham um papel multifacetado e crucial. Elas não apenas aumentam a eficiência e a produtividade das operações agrícolas, mas também permitem uma gestão mais precisa e sustentável dos recursos naturais, como solo, água e energia. Além disso, ao automatizar tarefas manuais e repetitivas, as máquinas agrícolas ajudam a reduzir a dependência da mão de obra humana e a mitigar os desafios relacionados à escassez de trabalho rural (Casagrande; Torkomian, 2021).

Portanto, compreender o funcionamento, a aplicação e a importância das máquinas agrícolas são essenciais para o desenvolvimento e aprimoramento contínuo do setor agrícola. Neste contexto, este capítulo de revisão bibliográfica tem como objetivo explorar os avanços, desafios e perspectivas relacionados ao uso de máquinas agrícolas na agricultura moderna, fornecendo uma base sólida para a compreensão e análise dos temas abordados neste trabalho.

O texto de Ruffoni e Reichert (2022) aborda a importância do setor de máquinas e equipamentos no desenvolvimento econômico, destacando seu papel como indicador de atividade de inovação das empresas. O estudo tem como objetivo identificar como as empresas brasileiras de máquinas agrícolas utilizam suas capacidades para obter alto desempenho em inovação.

Para os autores, a mecanização agrícola, associada à Indústria 4.0 e à Agricultura 4.0, tem contribuído significativamente para aumentar a produtividade na agricultura, tornando-se crucial para garantir o abastecimento mundial de alimentos, especialmente diante das mudanças climáticas. Nesse contexto, o Brasil, como um dos maiores produtores agrícolas do mundo, desempenha um papel fundamental.

Embora a maioria dos estudos sobre inovação no setor de máquinas e equipamentos se concentre no desenvolvimento de novos produtos ou processos, há uma lacuna no entendimento de como diferentes tipos de inovação estão relacionados ao desempenho inovador das empresas. Para abordar essa questão, os autores utilizaram a abordagem das capacidades de inovação, analisando quatro tipos de capacidades: desenvolvimento (inovação em produto), operação (inovação em processo), gestão (inovação organizacional) e transação (inovação comercial).

Os resultados mostram que apenas a capacidade de operação não é suficiente para garantir alto desempenho inovador. As empresas combinam diferentes capacidades, como desenvolvimento, gestão e transação, para obter sucesso em inovação.

O trabalho de Hettwer (2022) realizou uma análise histórica do segmento de máquinas agrícolas, especificamente tratores e colheitadeiras, no Brasil. A pesquisa busca compreender os contextos históricos, a concepção de desenvolvimento nacional e a evolução do segmento industrial.

Para os autores, os entraves históricos para a industrialização brasileira foram influenciados por oligarquias nacionais em aliança com o capital estrangeiro. A partir da Revolução de 1930, houve uma mudança de paradigmas, com a construção da indústria de base e a implementação de políticas nacionais-desenvolvimentistas que impulsionaram o crescimento econômico e deram origem à indústria brasileira de máquinas agrícolas. Entretanto, em anos posteriores, houve uma revisão desses pressupostos, abrindo-se o mercado para a instalação de empresas estrangeiras no país.

O trabalho de Silva e Vian (2017) aborda o mercado de máquinas agrícolas, destacando suas características de concentração, barreiras à entrada e processos de fusões e aquisições. No Brasil, esse mercado é dominado por grandes empresas multinacionais e nacionais, que buscam manter uma relação de longo prazo com os consumidores, investindo em pesquisa e desenvolvimento para melhorar a qualidade e o desempenho de seus produtos.

Segundo os autores, as barreiras à entrada, como economias de escala, tecnologia embarcada nos produtos e reputação das marcas, permitem que as empresas estabelecidas exerçam poder de mercado, elevando os preços acima do nível competitivo. O processo de fusões e aquisições contribui para a concentração do mercado, reduzindo a concorrência e fortalecendo a estrutura de oligopólio.

O Brasil é um mercado estratégico para as empresas de máquinas agrícolas devido à sua grande demanda e potencial de expansão. A presença dessas empresas no país é marcada pela instalação de unidades fabris e centros de pesquisa e desenvolvimento. Além disso, o mercado brasileiro serve como porta de entrada para outros países da América do Sul, devido à sua produção agrícola diversificada e à eliminação de barreiras alfandegárias dentro do Mercosul (Silva e Vian, 2017).

Apesar das oportunidades de mercado, a atuação de importadores independentes é dificultada por diversos fatores, como a necessidade de pronto atendimento em caso de manutenção, a falta de intercambialidade entre peças de diferentes fabricantes e os custos adicionais de transporte e tarifas de importação.

Os autores também destacam o processo de concentração do mercado brasileiro de tratores agrícolas ao longo do tempo, com empresas multinacionais adquirindo fabricantes locais e ampliando sua participação no mercado.

O trabalho de Zaslów (1989) discute a indústria de equipamentos agrícolas na União Soviética, destacando que ela é responsável por mais de 40% dos tratores produzidos mundialmente, além de ser uma importante produtora de colheitadeiras e outros equipamentos agrícolas. No entanto, apesar disso, quase três quartos dos 33 milhões de trabalhadores agrícolas soviéticos são classificados como trabalhadores manuais.

O artigo se concentra em como a indústria está sendo modernizada para lidar com esse problema e como esse esforço se encaixa no programa geral de reestruturação econômica. Também examina brevemente algumas dimensões espaciais da produção de maquinário agrícola, incluindo a distribuição das fábricas de montagem de tratores dentro do país e alguns dos fatores de localização envolvidos.

O trabalho de Jeyakumar *et al.* (2021) descreve um projeto relacionado à agricultura, focado na utilização de máquinas agrícolas multifuncionais que visam substituir recursos obsoletos. O projeto abrange sementes para ração animal, pesticidas e equipamentos agrícolas multifuncionais para fertilização e descarte, proporcionando aos agricultores ferramentas econômicas e versáteis que sejam limpas, fáceis de manter, simples de manusear e não exijam combustível direto, reduzindo custos e auxiliando os agricultores em suas atividades.

De acordo com os autores, essa máquina utiliza a potência do trator para realizar todas as operações agrícolas. A mecanização emprega o uso de uma máquina híbrida entre a fonte de energia e o trabalho. O projeto utiliza um cabo de tomada de força para transmitir energia do trator para a máquina multifuncional. Essa energia se estende a todos os processos necessários, como semeadura, irrigação, pulverização, aração e corte.

A pesquisa de Lin *et al.* (2022) trata de um estudo que visa abordar a questão da criação de máquinas agrícolas inteligentes, uma das principais preocupações da pesquisa atual. No entanto, apesar dos avanços tecnológicos em outros setores, a produção agrícola global e a tecnologia de plantio têm ficado para trás por muito tempo, e em muitas regiões a produção agrícola continua a depender principalmente do trabalho manual, resultando em altos custos trabalhistas e baixa eficiência de

produção. Portanto, é crucial estudar as máquinas modernas utilizadas na produção de arroz.

Os autores propõem investigar e projetar uma máquina agrícola de rastreamento baseada no microcontrolador STM32F103 para alcançar a função de rastreamento de equipamentos de mecanização agrícola em terrenos agrícolas tradicionais, como campos de arroz e estufas. A máquina também possui uma função de posicionamento GPS; quando perde o sinal de rastreamento, enviará ao usuário dados precisos de posicionamento em tempo real. Quando combinada com fertilizantes, a máquina pode fertilizar as plantações. Ela é adaptável a uma variedade de cenários operacionais e tem excelente potencial de crescimento.

Drovnikov e Kalmykov (2019) discutem as características atuais das máquinas agrícolas, que são caracterizadas por um baixo nível técnico e alto desgaste. A frota de tratores é basicamente composta por máquinas desatualizadas que não atendem aos requisitos modernos de consumo de combustível e óleo, confiabilidade, impacto ambiental, condições de trabalho e nível de automação, entre outros indicadores.

O texto destaca que o uso generalizado de colheitadeiras mostra deficiências significativas típicas das colheitadeiras atualmente produzidas. A alta concentração de operações em uma única máquina, com alta produtividade, leva a restrições severas na colheita, perda e danos aos grãos, além de exigir alta durabilidade, confiabilidade e peso elevado, o que acarreta problemas como compactação do solo durante a colheita e redução dos rendimentos das culturas.

O artigo analisa as tendências de desenvolvimento futuro das máquinas agrícolas com base nas soluções propostas em patentes russo-bielorrussas, destinadas a resolver esses problemas.

Izmaylov *et al.* (2020) descrevem a AGRITECHNICA 2019, a maior exposição agrícola especializada do mundo, que ocorreu na Alemanha de 10 a 16 de novembro de 2019, no centro de exposições Deutsche Messe em Hannover. A exposição abrangeu uma área de mais de 320.000 m<sup>2</sup> e incluiu 28 locais. Todas as principais empresas do setor estavam representadas no evento. Cerca de 600 novas empresas utilizaram essa plataforma de mercado internacional para apresentar seus produtos.

O slogan da exposição, "Agricultura Global - Responsabilidade Local", reflete o tema do evento. Durante a exposição, foram registrados cerca de 300 novos produtos, com destaque para a transmissão eletromecânica EAutoPower, que recebeu a medalha de ouro. Outras 39 empresas foram premiadas com medalhas de prata. A

exposição apresentou principalmente modelos de máquinas de tração autopropelidas e de colheita, bem como máquinas para preparo do solo e cuidados com as culturas. Houve uma atenção especial para a melhoria dos sistemas de esteira e, particularmente, para sistemas de corrida rastreáveis removíveis para tratores e outros veículos autopropelidos.

De acordo com os autores, quase todas as empresas apresentaram diferentes tipos de soluções de automação e robotização para operações parciais na agricultura, tanto para o preparo básico do solo quanto para o controle de ervas daninhas.

Ainda de acordo com os autores, a descentralização do trabalho, visando alcançar os melhores resultados na produção de máquinas completas e na liberação de componentes separados, foi observada como uma tendência. O fabricante doméstico Rostselmash recebeu um reconhecimento especial ao ganhar uma medalha de prata pelo desenvolvimento do sistema de visão noturna RSM Night Vision. Isso permite concluir que o nível de preparação técnica e tecnológica de máquinas e equipamentos agrícolas está aumentando, o que implica uma expansão do componente tecnológico do trabalho agrícola.

O texto de Kim (2016) destaca a importância das máquinas agrícolas para reduzir a mão de obra e os custos de produção, além de acompanhar a tendência atual de escassez de mão de obra causada pela redução da força de trabalho devido ao envelhecimento nas áreas rurais. As máquinas agrícolas mais recentes se desenvolveram em uma grande indústria agrícola para aplicar e integrar tecnologias de telecomunicações, baterias de próxima geração, semicondutores, comunicações sem fio, conteúdo e tecnologia de display de alta tecnologia com uma ampla gama de aplicações. Neste estudo, para aplicar as tecnologias de informação e comunicação em plantadeiras agrícolas que antes dependiam de métodos mecânicos, foi projetada uma plantadeira de convergência rápida e sofisticada em TIC que permite monitoramento.

Zhang e Li (2015) discutem o papel da mecanização agrícola na China e os desafios enfrentados no desenvolvimento desse setor. Inicialmente, destaca-se a importância da agricultura como parte fundamental do desenvolvimento econômico nacional e a necessidade de modernização da indústria agrícola para atender às demandas crescentes e superar problemas como a escassez de mão de obra e o envelhecimento da população rural. O texto menciona que, embora a mecanização agrícola na China tenha avançado consideravelmente, ainda existem desafios

significativos a serem superados. Por exemplo, a falta de investimento, restrições de terra e a adoção limitada de tecnologias modernas têm dificultado o aumento da produtividade agrícola e a redução dos custos de produção. Além disso, as disparidades econômicas entre áreas rurais e urbanas dificultam a capacidade dos agricultores de investir em maquinário moderno.

Outro ponto importante abordado é a complexidade geográfica da China, com áreas montanhosas onde a mecanização agrícola é limitada devido à falta de tecnologia e infraestrutura adequadas. Isso resulta em uma dependência contínua de métodos tradicionais de cultivo nessas regiões.

Os autores concluem a sua pesquisa ressaltando a necessidade de um maior investimento em pesquisa e desenvolvimento agrícola, bem como políticas governamentais mais abrangentes para promover a modernização e a mecanização da agricultura em toda a China.

Kushnariov (2013) discute as tendências básicas para aumentar o nível tecnológico das empresas do complexo agroindustrial e melhorar a eficiência da exploração de máquinas agrícolas com base na concentração e especialização das empresas. Essencialmente, isso sugere que concentrar e especializar as atividades das empresas no setor agroindustrial pode levar a ganhos significativos em termos de eficiência e avanço tecnológico. Isso pode ser alcançado por meio de investimentos em tecnologias modernas, automação e inovação nos processos de produção agrícola.

Além disso, segundo o autor, a concentração e especialização das empresas podem permitir uma melhor utilização dos recursos disponíveis, reduzindo redundâncias e otimizando os processos de produção. Isso, por sua vez, pode contribuir para o aumento da competitividade e sustentabilidade do setor agroindustrial como um todo.

Tóth e Daróczy (2013) discutem o papel crucial que a maquinaria desempenha na produção agrícola. Na Hungria, após um período de transição, houve uma redução na compra de novas máquinas, enquanto a utilização das máquinas usadas aumentou, o que retardou a modernização. No entanto, ao longo das últimas décadas, houve um desenvolvimento intensivo na maquinaria agrícola. É observado que, na produção agrícola, predominam máquinas atualizadas. O objetivo é utilizar essas máquinas de forma eficiente. Uma abordagem para alcançar essa eficiência é a agricultura de precisão, que envolve o uso de máquinas de maior capacidade para

aumentar a eficiência da força de trabalho. Embora a agricultura de precisão ainda não seja amplamente adotada, ela está em estágio inicial na Hungria.

O livro de Chen (2018) descreve as enormes dificuldades enfrentadas pela indústria agrícola em todo o mundo, incluindo a disponibilidade limitada de terras aráveis e água doce, bem como os efeitos das mudanças climáticas. Destaca-se o papel crucial da maquinaria na agricultura e nos sistemas agrícolas para alimentar a crescente população mundial. Nos últimos anos, ocorreram avanços significativos na maquinaria agrícola e nas tecnologias associadas, especialmente à medida que fabricantes e pesquisadores desenvolvem e aplicam várias formas inovadoras de automação, bem como capacidades de coleta e análise de dados e informações de suas máquinas.

O autor apresenta informações de ponta sobre as inovações importantes na indústria agrícola e hortícola. Ele revisa e apresenta diferentes tecnologias inovadoras e a implementação dessas tecnologias para otimizar os processos agrícolas e de produção de alimentos.

O artigo de Yao *et al.* (2024) revisa, compara e analisa estudos anteriores sobre tecnologias de navegação automática e planejamento de trajetória de máquinas agrícolas. Primeiramente, são apresentados os componentes fundamentais da direção autônoma de máquinas agrícolas, incluindo navegação automática, planejamento de trajetória, sistemas de controle e módulos de comunicação. Geralmente, os métodos para tecnologia de navegação automática podem ser divididos em três categorias: Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), Visão Artificial e Radar a Laser. As estruturas, vantagens e desvantagens de diferentes métodos e as dificuldades técnicas da pesquisa atual são resumidas e comparadas.

De acordo com os autores, atualmente, a forma mais bem-sucedida é usar o GNSS combinado com visão artificial para garantir que as máquinas agrícolas evitem obstáculos e gerem a trajetória ótima. Em seguida, são descritos os métodos de planejamento de trajetória, incluindo quatro algoritmos de planejamento de trajetória baseados em busca de gráfico, amostragem, otimização e aprendizado.

O artigo propõe 22 algoritmos disponíveis de acordo com diferentes cenários de aplicação e resume os desafios e dificuldades que não foram completamente resolvidos na pesquisa atual. Por fim, são sugeridas algumas propostas para lidar com as dificuldades surgidas nesses estudos para pesquisas futuras.

Qayyum *et al.* (2023) examinam como a Tecnologia e Inovação têm sido usadas na agricultura para melhorar a produtividade e a sustentabilidade ambiental. Ele se concentra em 21 países asiáticos dependentes da agricultura, usando técnicas de aprendizado de máquina para analisar os dados. O estudo revela que os países da ASEAN adotam tecnologias agrícolas de forma proativa, resultando em uma produção agrícola melhorada e na preservação da qualidade ambiental. Em contraste, os países do SAARC têm uma adoção mais fraca de tecnologia, levando a flutuações significativas na qualidade ambiental e, conseqüentemente, na produtividade agrícola. O estudo destaca a necessidade de abraçar tecnologias relevantes para melhorar a produção agrícola e garantir a sustentabilidade ambiental.

De acordo com Moreira *et al.* (2024), no contexto da agricultura sustentável, o amendoim possui uma grande importância econômica e nutricional global. Nesta revisão sistemática e meta-analítica, são examinadas as estratégias inovadoras e a extensa pesquisa relacionada à mecanização do cultivo de amendoim, com foco em atividades como preparo do solo, semeadura e colheita.

De acordo com os autores, o objetivo principal é oferecer uma exploração metódica e analítica das implicações da mecanização na produção de amendoim, enfatizando a necessidade urgente de práticas economicamente viáveis, socialmente responsáveis e ambientalmente sustentáveis.

Por meio de uma análise rigorosa da literatura existente, no artigo dos autores são revelados os impactos multifacetados da mecanização em fatores como rendimento, qualidade e perdas no cultivo de amendoim. São apresentados resultados que ressaltam o potencial de aumento de produtividade e qualidade nos sistemas agrícolas que adotam a mecanização, ao mesmo tempo em que minimizam perdas e seu impacto ambiental. Para otimizar o rendimento e a qualidade e reduzir as perdas, é crucial que os envolvidos colaborem e apoiem práticas conservacionistas de preparo do solo, técnicas de semeadura de precisão e métodos avançados de colheita.

Ma *et al.* (2023) publicaram um estudo que aborda o impacto da maquinaria agrícola na produtividade total dos fatores verdes (GTFP) do grão na China, um tema que ainda é objeto de debate na literatura científica. Uma estrutura integrada é proposta para lidar com essa questão, e os resultados indicam uma tendência consistente de crescimento tanto na mecanização agrícola quanto na GTFP do grão entre 2001 e 2019, com flutuações moderadas. Ao expandir o padrão espacial, observa-se uma correlação positiva entre eles. Além disso, os resultados em três

áreas funcionais de grãos são comparados usando o modelo espacial Durbin (SDM), revelando efeitos significativamente positivos de difusão espacial em áreas de grande produção de grãos.

De acordo com os autores, esses efeitos são atribuídos à operação trans regional da maquinaria agrícola e seus efeitos na redução de carbono em províncias vizinhas. Destaca-se que os efeitos diretos em áreas de grande comercialização de grãos e áreas de equilíbrio de produção-comercialização foram positivos, uma vez que a maquinaria agrícola desempenhou um papel crítico no preenchimento da lacuna na escassez de mão de obra local na produção de grãos. Consequentemente, estratégias adaptativas, como a construção da plataforma "Internet + operação de maquinaria agrícola", a implementação da consolidação de terras adequada para maquinaria e o desenvolvimento de maquinaria agrícola de baixo carbono, devem ser totalmente consideradas pelos formuladores de políticas chineses para promover a agricultura mecanizada e uma economia de baixo carbono.

Segundo os autores, os resultados do estudo contribuem para uma melhor compreensão do papel da maquinaria agrícola na melhoria da produtividade de grãos verdes na China e têm significado para a transformação moderna e verde dos sistemas de produção agrícola.

O texto de Prakash *et al.* (2023) aborda a automação na agricultura como uma questão primordial e um campo em rápido desenvolvimento para a nação. Com o crescimento rápido da população global, há uma necessidade urgente de atender à demanda por alimentos. Os métodos tradicionais de cultivo são insuficientes para suprir a demanda crescente, levando à pressão para o uso de fertilizantes para aumentar a produtividade das culturas. Isso, por sua vez, impacta negativamente a atividade agrícola, às vezes deixando a terra árida e sem fertilidade.

O foco do artigo está na análise aprofundada dos componentes relacionados à agricultura inteligente, como Internet das Coisas (IoT), tecnologia de comunicação sem fio, sensores e hardware. Há uma preocupação séria na seleção de tecnologia, sensores e hardware nas diferentes práticas agrícolas, visando aumentar a mecanização de forma mais eficaz.

O estudo fornece uma revisão sistemática extensiva das implicações da automação na agricultura e aborda como as operações agrícolas podem se beneficiar de sensores modernos, tecnologias de comunicação sem fio e hardware. Embora os

principais desafios e componentes sejam discutidos, o estudo também aborda futuras aplicações para a saúde das plantas, a saúde humana e a saúde das máquinas.

Yang *et al.* (2024) destacam a adoção de tecnologias agrícolas ecológicas, em inglês *Ecological Agricultural Technologies* (EATs) como uma forma eficaz de garantir a segurança alimentar e proteger o meio ambiente. Com o avanço da estratégia da vila digital, a integração contínua da economia digital com a economia rural tem se tornado gradualmente uma força motriz emergente para a agricultura sustentável. No entanto, poucos estudos examinaram o impacto da participação dos agricultores na economia digital em diferentes elos da cadeia produtiva agrícola na adoção de EATs, de uma perspectiva micro.

Utilizando dados de 2.825 agricultores de grãos da Pesquisa de Revitalização Rural da China de 2020, os autores aplicaram o modelo de efeito de tratamento e o modelo de efeito mediador para analisar empiricamente o impacto e o mecanismo da participação na economia digital na adoção de EATs pelos agricultores, sob uma perspectiva de efeito ecológico.

Os autores caracterizaram a participação dos agricultores na economia digital em termos de produção digital, vendas digitais e finanças digitais. Os resultados mostram que a participação na economia digital promove significativamente a adoção de EATs pelos agricultores. A análise de subdimensionamento revela que a participação na produção digital, vendas digitais e finanças digitais promove significativamente a adoção de EATs pelos agricultores.

Ainda de acordo com os autores, os resultados permanecem robustos após uma série de testes de robustez. A análise do mecanismo mostra que a participação na economia digital, especialmente vendas digitais e finanças digitais, pode promover a adoção de EATs pelos agricultores, aumentando a demanda por serviços de maquinaria agrícola, melhorando a disponibilidade de informações e aprimorando a percepção de segurança alimentar. Os resultados da análise de heterogeneidade mostram que o efeito de promoção da participação na economia digital na adoção de EATs é mais significativo entre agricultores com maior alfabetização digital e maiores escalas de terras cultivadas.

Os resultados deste estudo fornecem insights para outros países usarem efetivamente a tecnologia digital para promover a agricultura sustentável sob a pressão de alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável.

O estudo de Michels *et al.* (2024) aborda a crescente preocupação com a redução das emissões de gases de efeito estufa e a diminuição da dependência de combustíveis fósseis, o que tem gerado um interesse maior em combustíveis alternativos. Dado o papel fundamental da agricultura tanto no consumo quanto na produção de energia, compreender os fatores que influenciam as decisões dos agricultores de comprar um trator movido a combustível alternativo é de suma importância.

O estudo tem como objetivo identificar construtos que influenciam as intenções dos agricultores alemães de comprar tratores movidos a combustível alternativo, aplicando o framework da Teoria Unificada de Aceitação e Uso da Tecnologia, em inglês *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology* (UTAUT). Uma pesquisa online conduzida em 2022 obteve 141 respostas utilizáveis de agricultores em tempo integral na Alemanha, e o modelo UTAUT foi estimado usando Modelagem de Equações Estruturais de Mínimos Quadrados Parciais.

Segundo os autores, os agricultores percebem os tratores movidos a combustível alternativo como particularmente adequados para trabalhos agrícolas e de campo com baixo consumo de energia, mas as menores autonomias em relação aos tratores convencionais a diesel são a principal barreira à adoção. A expectativa de desempenho geral e a influência social surgiram como os principais impulsionadores das intenções dos agricultores de comprar tratores movidos a combustível alternativo.

O artigo oferece insights originais sobre os fatores que influenciam a adoção de tecnologia na agricultura e fornece implicações práticas para formuladores de políticas e fabricantes de maquinário agrícola. Os resultados orientam estratégias para incentivar a adoção de tratores movidos a combustível alternativo e sugerem direções para futuras pesquisas em agricultura sustentável.

## **2.2 Os desafios da mecanização em países em desenvolvimento**

O trabalho de Batista *et al.* (2023) aborda as transformações no setor agrícola brasileiro, especialmente focado na região conhecida como MATOPIBA, que engloba municípios dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Essas transformações estão intrinsecamente ligadas à Revolução Verde, um fenômeno global que introduziu

novas técnicas produtivas, como o uso de agrotóxicos e sementes geneticamente modificadas, visando aumentar a produtividade e suprir a demanda por alimentos. A modernização agrícola, impulsionada por essa revolução, é caracterizada pelo aumento do uso de insumos modernos, maquinário e tecnologias para aumentar a produtividade do trabalho e da terra.

O MATOPIBA tornou-se uma região de destaque devido à expansão das atividades agropecuárias, principalmente o cultivo de grãos, como soja, milho e algodão. Essa expansão foi impulsionada pelo uso intensivo de insumos modernos e maquinário, tornando a agricultura na região capital-intensiva e altamente produtiva. No entanto, há contradições nesse modelo de desenvolvimento, com grande concentração de riquezas e exclusão social de parte da população.

A pesquisa de Belton *et al.* (2021) destaca a importância renovada da mecanização agrícola, que vem sendo redescoberta como uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento agrícola em diversas regiões do mundo. Isso é evidenciado pela recente retomada de pesquisas e debates sobre o assunto, especialmente em locais onde a Revolução Verde não teve um impacto significativo anteriormente. Essa nova onda de interesse está impulsionada pelo aumento do uso de máquinas agrícolas em países africanos, como Gana e Nigéria, onde a disponibilidade de terras e o aumento dos salários estão gerando uma demanda crescente por mecanização.

Um ponto de discussão importante é a crença persistente de que os pequenos agricultores não podem se beneficiar da mecanização. No entanto, há evidências crescentes de que serviços de terceirização estão facilitando o acesso das pequenas propriedades às máquinas agrícolas, tornando a mecanização uma opção viável mesmo para esses agricultores. Isso é particularmente relevante em contextos onde a mão-de-obra rural está em declínio devido à migração para áreas urbanas e ao envelhecimento da população nas áreas rurais.

O estudo concentra-se em Myanmar, fornecendo uma análise detalhada das mudanças recentes na economia agrícola e no uso de máquinas no país. Ele destaca o papel das reformas políticas e da reintegração de Myanmar nos mercados regionais e globais na dinâmica atual do setor agrícola. Além disso, examina como os serviços de terceirização impulsionaram a adoção de máquinas agrícolas no país e como isso está afetando a agricultura de pequena escala.

Por meio de dados coletados em pesquisas domiciliares e em revendedores de máquinas agrícolas, o estudo analisa as tendências temporais no uso de máquinas agrícolas, o crescimento do mercado de máquinas e os fatores que influenciam a mecanização agrícola em Myanmar. Ao fornecer uma análise abrangente desses aspectos, o estudo contribui para uma compreensão mais profunda do papel da mecanização na agricultura em contextos em desenvolvimento.

O texto de Hinnou *et al.* (2022) afirma que apesar da importância econômica da agricultura em muitos países da África subsaariana, a produtividade agrícola na região permanece estagnada há décadas, em parte devido à falta de acesso a maquinário agrícola. No entanto, há um grande potencial para o desenvolvimento agrícola na região por meio da transição para uma agricultura mecanizada e da adoção de tecnologias modernas.

De acordo com estes autores, Benin, um país costeiro da África Ocidental, é um exemplo representativo desses desafios e oportunidades. Apesar de desempenhar um papel estratégico no desenvolvimento econômico e social, a agricultura no Benin é caracterizada por pequenas e médias propriedades com baixa produtividade. Muitos pequenos agricultores têm acesso limitado a insumos modernos, incluindo maquinário agrícola, o que prejudica a capacidade do país de atender à demanda alimentar da população.

Nos últimos anos, o Benin implementou políticas e programas para promover a mecanização agrícola, investindo em maquinário agrícola e estabelecendo unidades de processamento. No entanto, os resultados desses esforços ainda são mistos, com muitos agricultores preferindo métodos tradicionais devido a questões culturais e de acessibilidade. Estratégias mais eficazes para facilitar o acesso e a gestão do maquinário agrícola precisam ser desenvolvidas para garantir um aumento na produtividade agrícola e melhorar a segurança alimentar no país.

O trabalho de Baiyegunhi *et al.* (2019) aborda o papel crucial dos serviços de extensão agrícola no desenvolvimento agrícola das pequenas propriedades, especialmente em países em desenvolvimento como a África do Sul. Destaca-se a importância desses serviços na promoção da resiliência dos agricultores de pequena escala, fornecendo orientação, informações e conhecimentos para auxiliar nas decisões agrícolas e no acesso a recursos essenciais. No entanto, na África do Sul, apenas uma pequena parcela dos agricultores recebe esse tipo de suporte, principalmente devido a desafios como falta de financiamento e iniciativas

inadequadas. Além disso, a falta de acesso a recursos, informações e infraestrutura adequados também dificulta o sucesso das pequenas propriedades agrícolas.

O trabalho destaca o crescente reconhecimento da importância da participação de organizações não governamentais (ONGs) e setores semi-privados na prestação de serviços de extensão agrícola. Um estudo de caso apresentado é o programa de apoio aos agricultores Abalimi Phambili, da Fundação de Desenvolvimento Rural de Lima, que fornece uma variedade de serviços de apoio agrícola para pequenos agricultores em áreas rurais desde 2002. Esses serviços incluem orientação, treinamento e conexão dos agricultores com mercados de insumos, crédito, maquinário e produtos.

Embora vários estudos tenham examinado o impacto dos serviços de extensão agrícola em diferentes resultados, como produtividade agrícola, renda agrícola e bem-estar das famílias, poucos se concentraram na avaliação dos serviços de extensão terceirizados privados. Portanto, o estudo busca contribuir para o conhecimento existente fornecendo evidências empíricas sobre o impacto desses serviços de extensão privados, usando o programa de extensão Abalimi Phambili como estudo de caso em Msinga, KwaZulu-Natal, na África do Sul.

No estudo de Chaya *et al.* (2018) foi conduzida uma pesquisa para examinar a adoção, custo e impacto na subsistência dos serviços de maquinaria por pequenos agricultores de cana-de-açúcar em várias áreas da Tailândia. Os resultados revelaram diferentes padrões de serviços de preparação de solo, com custos representando uma parcela significativa dos custos totais de produção.

A adoção desses serviços foi influenciada pelo comportamento de imitação e pela participação no sistema de cotas. Para muitos agricultores, a aração e a irrigação foram consideradas as operações mais importantes, contribuindo para a redução do trabalho árduo, o cumprimento dos prazos das operações, o aumento do rendimento e lucro, e a mitigação das preocupações com secas.

No entanto, a qualidade dos serviços de maquinaria, especialmente para agricultores fora do sistema de cotas, foi uma preocupação, com relatos de qualidade inferior em todas as áreas. O estudo sugere soluções para esses problemas e implicações de políticas para melhorar a subsistência dos agricultores e estimular a demanda e oferta de serviços de maquinaria.

O trabalho de Justice e Biggs (2020) ressalta a importância da mecanização em pequena escala e dos mercados de serviços de motores em algumas regiões da

Ásia Meridional, contrastando com a tendência recente de promover equipamentos agrícolas maiores. Ele aponta para a relevância histórica e contemporânea da mecanização em menor escala, destacando que essa abordagem tem sido fundamental para muitos pequenos agricultores na região. Além disso, o texto destaca a transferência de tecnologia entre países do Sul como um fator crucial no processo de disseminação da mecanização em menor escala, observando que países como China e Índia têm desempenhado um papel central nessa dinâmica.

O trabalho concentra-se em destacar questões frequentemente negligenciadas em estudos especializados. Ele aponta para lacunas na pesquisa devido aos silos acadêmicos, projetuais e políticos, ressaltando a importância de abordar essas questões para um entendimento mais completo do papel da mecanização em pequena escala na agricultura. Além disso, o texto destaca a necessidade de uma abordagem mais integrada que leve em consideração as diferentes perspectivas de engenheiros, empresários rurais, agricultores e profissionais de políticas públicas. Essa abordagem pode contribuir para uma compreensão mais holística dos desafios e oportunidades relacionados à mecanização em pequena escala na agricultura.

### **2.3 Os avanços da mecanização agrícola na China**

Recentemente, diversos trabalhos têm evidenciado as tendências da China com relação a mecanização nas lavouras. Santos *et al.* (2021) buscou realizar um mapeamento tecnológico mundial das patentes depositadas sobre o tema "Máquinas conectadas a Máquinas" (M2M) no contexto da Agricultura 4.0. Os resultados revelaram um total de 794 depósitos de patentes, com a maioria ocorrendo a partir de 2011 e alcançando um pico em 2017, dos quais a China destacou-se como o país com maior quantidade de proteção patentária nesse contexto, enquanto as empresas japonesas foram as maiores cessionárias de tecnologias relacionadas às máquinas conectadas na agricultura. Para os mesmos autores, esses resultados evidenciam que o investimento em modernização e tecnologia possibilita a inserção de práticas mais sustentáveis no setor agrícola desses países, alinhadas com os princípios da Agricultura 4.0.

O estudo de Chen *et al.* (2022) aborda a diferença regional entre áreas rurais e urbanas chinesas com base em suas características sociais, econômicas e naturais.

De acordo com os autores, a migração de mão-de-obra das áreas rurais para as urbanas é um fenômeno global devido à industrialização e urbanização rápidas. Esses processos ocorreram mais cedo nos países desenvolvidos e mais recentemente nos países em desenvolvimento. A China também enfrenta esse desafio, resultando em declínio rural e desafios globais na produção de alimentos. Ao mesmo tempo, o aumento populacional global, as mudanças climáticas e a degradação da agricultura destacam a necessidade de melhorar a eficiência agrícola e o uso da terra.

Na China, o Ministério da Agricultura e Assuntos Rurais, junto com o Ministério das Finanças, implementou políticas de subsídio para a compra de máquinas agrícolas, visando aumentar a mecanização agrícola e melhorar a eficiência da produção. Estudos mostram que esses serviços têm um impacto positivo na eficiência agrícola, especialmente no contexto da migração de mão-de-obra e do envelhecimento rural.

A agricultura desempenha um papel crucial na economia chinesa, contribuindo para o fornecimento de matéria-prima industrial e emprego funcional para a população rural. No entanto, a modernização e revitalização rural são essenciais para continuar essa contribuição, enfatizando a importância de serviços sociais para melhorar a agricultura e aumentar sua eficiência. A implementação desses serviços, de acordo com os autores, é fundamental para promover a modernização agrícola e garantir a segurança alimentar.

Liu *et al.* (2022) abordam o impacto da mecanização agrícola e do aumento do tamanho das fazendas em economias em desenvolvimento e em transição, com foco especial na China. Devido à migração significativa de trabalhadores rurais para áreas urbanas, a mecanização está se tornando cada vez mais comum em fazendas em expansão, impulsionando o uso de maquinário agrícola para aumentar os rendimentos (Kung, 2002; Deininger e Jin, 2005; Otsuka, 2013; Wang *et al.*, 2016a; Wang *et al.*, 2016b).

Para atender a essa demanda crescente, os mercados de serviços de máquinas e de aluguel de terras têm se desenvolvido rapidamente nos últimos anos (Yang *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2019; Qiu *et al.*, 2021). Na China, a venda de terras rurais é proibida, levando os pequenos produtores a recorrer ao aluguel de terras para expandir ou reduzir o tamanho de suas fazendas. Como resultado, em 2018, a terra rural na China era cultivada por 251,7 milhões de famílias agrícolas, com um tamanho médio de 6,33 mu (0,42 ha). Mercados de aluguel de terras funcionais são vistos como

condição essencial para aumentar o tamanho médio das fazendas e a renda agrícola (Li *et al.*, 2019).

O cultivo de fazendas maiores geralmente requer o uso de mais e/ou maiores máquinas. Na China, os operadores de fazendas grandes não apenas investem mais em maquinário em média, mas frequentemente também fornecem serviços de maquinaria para outros (Ji *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2017). O fornecimento de serviços de máquinas facilita o acesso ao maquinário agrícola para agricultores que não podem comprar máquinas, além de beneficiar aqueles cujas fazendas são pequenas demais para o uso lucrativo de maquinário próprio (Baudron *et al.*, 2015; Mottaleb *et al.*, 2017).

Alguns estudos recentes examinaram o efeito dos serviços de máquinas agrícolas nas decisões de aluguel de terras dos agricultores na China. O uso desses serviços pode facilitar a transferência de terras e atuar como transmissor de tecnologias agrícolas especializadas, o que pode reduzir as limitações técnicas dos pequenos produtores e promover a expansão das fazendas (Qiao, 2020; Yu *et al.*, 2021).

O estudo de Liu *et al.* (2022) propõe um exame teórico e empírico de como e em que medida os serviços de máquinas agrícolas afetam a participação de pequenos produtores nos mercados de aluguel de terras. Utilizando um modelo de banda de preços para insumos quase fixos, os pesquisadores analisaram o impacto da disponibilidade de serviços de maquinário na participação dos pequenos agricultores nos mercados de aluguel de terras. Os resultados mostraram que a disponibilidade desses serviços tem um efeito negativo significativo no aluguel de terras por pequenos agricultores.

O objetivo do estudo de Qing *et al.* (2019) é investigar o impacto dos serviços de mecanização na produtividade agrícola no norte da China a partir de uma perspectiva empírica, com o objetivo de identificar as barreiras de mercado e institucionais subjacentes. Os autores aplicam o método de regressão com o controle dos efeitos fixos da vila para examinar a relação entre a taxa de capital-trabalho, a taxa de serviço de mecanização e a produtividade agrícola, utilizando dados em painel coletados em 2013 e 2015 pelo CCAP. Os resultados mostram que os serviços de mecanização melhoram a produtividade agrícola por meio da substituição de mão de obra, mas podem gerar um impacto menos positivo em fazendas que não possuem equipamentos próprios de capital. Este é o primeiro estudo a investigar como os

serviços de mecanização afetam a produtividade agrícola para produtores de grãos no norte da China.

O estudo de Qian *et al.* (2022) examina o impacto da mecanização agrícola na China sobre o comportamento de arrendamento de terras por parte de agricultores em larga escala. Baseado em dados da pesquisa CFPS2018, sugere-se que a posse de maquinário agrícola beneficia a expansão das fazendas, aumentando a propensão dos agricultores a arrendar terras e reduzindo a inclinação para arrendar terras. A aquisição de serviços de maquinário agrícola também aumenta a transferência de terras para os agricultores e reduz a probabilidade de arrendamento de terras.

No entanto, a topografia irregular das aldeias pode enfraquecer os efeitos da mecanização agrícola no arrendamento de terras. Além disso, há uma relação complementar entre o maquinário agrícola adquirido e os serviços terceirizados, sugerindo que eles se influenciam positivamente mutuamente no arrendamento de terras. As análises de mecanismo mostram que os efeitos da posse de maquinário agrícola e dos serviços terceirizados no arrendamento de terras diferem, sendo que o maquinário adquirido pelos agricultores atua principalmente por meio de efeitos de complementaridade de mão de obra, enquanto os serviços terceirizados afetam o arrendamento de terras por meio de efeitos de substituição de mão de obra.

Portanto, este estudo destaca a importância da mecanização agrícola na expansão das operações agrícolas em larga escala na China, revelando como a posse de maquinário e a contratação de serviços terceirizados influenciam as decisões de arrendamento de terras. Esses resultados fornecem insights valiosos para políticas agrícolas e estratégias de desenvolvimento rural, destacando a necessidade de incentivar o acesso ao maquinário agrícola e aos serviços terceirizados para promover uma agricultura mais eficiente e sustentável.

No entanto, é importante reconhecer que o impacto da mecanização agrícola no arrendamento de terras pode variar de acordo com fatores locais, como a topografia da região. Isso destaca a importância de abordagens personalizadas para promover a adoção de maquinário agrícola em diferentes contextos agrícolas na China e em outras regiões. Mais pesquisas são necessárias para entender completamente os mecanismos subjacentes e otimizar as políticas de mecanização agrícola para maximizar seus benefícios para os agricultores e o setor agrícola como um todo.

Um novo método de colheita em três estágios foi desenvolvido para aprimorar a utilização das videiras de amendoim como ração animal e lidar com os desafios enfrentados pela produção mecanizada de amendoim na China foi proposto por Qian *et al.* (2022).

Esse método consiste em três etapas: corte das videiras, escavação e secagem das raízes e, por fim, coleta e separação das videiras para uso como alimento animal. O estudo investigou o processo agrônômico geral da produção mecanizada de amendoim sob esse método e identificou os requisitos necessários para integrar o maquinário agrícola e a agronomia em cada etapa-chave do processo produtivo.

Experimentos de campo foram conduzidos para medir características das plantas, consistência na altura dos tocos e os efeitos da coleta, além de analisar a influência de diferenças na altura e largura dos canteiros e no espaçamento entre as linhas na consistência da altura dos tocos. Os resultados indicaram que as diferenças na altura e largura dos canteiros tiveram um impacto significativo na consistência da altura dos tocos, enquanto as variações no espaçamento entre as linhas não foram tão relevantes.

Além disso, foram investigados os efeitos de parâmetros como o espaçamento das espiras da mola de coleta, profundidade de penetração no solo, velocidade de avanço e variedade de amendoim na taxa de coleta e na taxa de queda das videiras durante o processo de coleta. Os resultados destacaram a importância da consistência da altura dos tocos e do espaçamento das espiras da mola na eficiência da coleta. Essas descobertas são essenciais para o aprimoramento da produção mecanizada de amendoim, visando a maximização da eficiência e produtividade na agricultura.

Ma *et al.* (2023) investigaram o impacto da maquinaria agrícola na produtividade verde total dos grãos na China, propondo um framework integrado para abordar essa questão. Os resultados indicam uma tendência ascendente tanto na mecanização agrícola quanto na produtividade verde dos grãos, com flutuações moderadas entre 2001 e 2019. Além disso, revelam uma correlação espacial positiva entre esses dois fatores. A análise em três áreas funcionais de grãos usando o modelo Durbin espacial mostra efeitos de transbordamento espacial positivos significativos em áreas produtoras de grãos, atribuídos à operação trans regional da maquinaria agrícola e seus efeitos na redução de carbono em províncias vizinhas.

Estratégias adaptativas, como a construção de plataformas de "Internet + operação de maquinaria agrícola", a implementação de consolidação de terras adequadas para maquinaria e o desenvolvimento de maquinaria agrícola de baixo carbono, têm sido recomendadas para promover a agricultura mecanizada e uma economia de baixo carbono na China.

O trabalho de Wu *et al.* (2023) discute a importância dos dados na produção agrícola, destacando que a maquinaria agrícola é fundamental para adquirir e utilizar esses dados. Na China, onde há ênfase nos serviços socializados de maquinaria agrícola, é comum a operação trans província, trans cidade e trans condado durante a colheita do trigo de inverno. Por isso, a construção de um sistema nacional de big data para operações de maquinaria agrícola, baseado em dados coletados por essas máquinas, é considerada essencial e viável.

Segundo estes autores, nos últimos anos, houve um aumento no reconhecimento da importância dos dados de maquinaria agrícola. Diversos sistemas de big data agrícola em nível empresarial foram desenvolvidos e implementados, porém, esses sistemas são limitados em termos de tipos de máquinas e regiões de operação, contêm menos dados de operação e possuem menos funcionalidades. A existência de sistemas nacionais de big data para operações de maquinaria agrícola, que possam ser utilizados por várias empresas e disponibilizem dados para o governo, público e pesquisadores, é rara.

O trabalho de Yao *et al.* (2024) discute a importância da agricultura inteligente para o futuro do desenvolvimento agrícola, ressaltando a necessidade de informatização e inteligência na maquinaria agrícola. Em diversos países agrícolas, têm sido feitos investimentos significativos na pesquisa de equipamentos e máquinas agrícolas autônomas, que reúnem conhecimentos de várias disciplinas e promovem o aumento da produtividade, eficiência no uso da terra e dos recursos, além da lucratividade para os agricultores. A integração de sensores com visão e processamento de imagens tornou-se fundamental para a automação e sofisticação da maquinaria agrícola. A automação, especialmente na direção autônoma de máquinas agrícolas, reduz a intensidade do trabalho, os custos de produção e aumenta a rentabilidade, fornecendo suporte essencial para os agricultores.

Atualmente, a escassez de mão de obra rural é um problema sério, e os custos trabalhistas estão em constante aumento. Métodos de produção agrícola baseados em trabalho manual não conseguem mais atender às necessidades de

desenvolvimento agrícola. Diversos estudos mostram que o tamanho da propriedade tem um impacto significativo na adoção da agricultura inteligente, com fazendas maiores tendo uma adoção mais rápida. Jovens agricultores também mostram maior aceitação da agricultura inteligente, e a falta de mão de obra agrícola é um fator-chave para o desenvolvimento da direção autônoma em maquinaria agrícola.

Segundo os mesmos autores, a agricultura inteligente desempenha um papel importante em cinco aspectos: produção agrícola, gestão agrícola, mercado de colheita agrícola, desenvolvimento agrícola sustentável e governança social rural. Através da digitalização agrícola, dados agrícolas na Internet das Coisas, computação em nuvem e tecnologias emergentes como inteligência artificial, é possível otimizar e modernizar a produção agrícola, melhorando a eficiência, reduzindo custos, e fortalecendo o desenvolvimento sustentável. O uso de tecnologia de inteligência artificial para controle de fertilização e irrigação pode economizar recursos, enquanto a automação de máquinas agrícolas aumenta a eficiência e reduz os custos de operação.

Por meio da gestão da informação, é possível melhorar a competitividade dos produtos agrícolas no mercado e fornecer informações confiáveis aos consumidores. Assim, a agricultura inteligente é uma tendência inevitável para o desenvolvimento agrícola futuro.

A pesquisa de Cao *et al.* (2023) aborda o avanço tecnológico na agricultura, introduzindo conceitos como agricultura inteligente e fazendas não tripuladas, impulsionados pelo desenvolvimento de inteligência artificial, big data e Internet das Coisas. Nesse contexto, destaca-se a cooperação entre múltiplas máquinas agrícolas no campo, com ênfase no planejamento de trajetória para melhorar a eficiência e reduzir custos operacionais. Embora existam avanços significativos nessa área, muitos estudos se concentram exclusivamente no planejamento de trajetória dentro de uma única área agrícola, negligenciando o agendamento entre diferentes parcelas de terra.

Para abordar essa lacuna, o estudo propõe uma análise mais abrangente das operações de múltiplas máquinas em todo o ambiente agrícola. Isso envolve otimizar não apenas a trajetória das máquinas dentro de um campo específico, mas também coordenar suas atividades entre diferentes áreas agrícolas.

O objetivo é criar um sistema que minimize o tempo de operação e os custos, ao mesmo tempo em que garante a segurança e a eficácia das operações agrícolas.

Diversos métodos e algoritmos são explorados para atingir esse objetivo, incluindo técnicas de planejamento dinâmico de trajetória e algoritmos de otimização.

Estes são aplicados para desenvolver estratégias que permitam uma cooperação eficiente entre as máquinas, levando em consideração fatores como topografia do terreno, obstáculos e condições climáticas. Ao fornecer uma base técnica sólida para a gestão e navegação de máquinas agrícolas em ambientes de operação complexos, o estudo busca impulsionar a adoção de fazendas inteligentes e a modernização da agricultura.

O trabalho de He *et al.* (2022) discute a necessidade urgente de desenvolver tecnologia não tripulada para máquinas agrícolas em campos de arroz na China, devido à redução contínua da força de trabalho rural e ao aumento dos custos de produção. Em ambientes de arrozais com lama escorregadia e subleito duro e desigual, é comum ocorrerem deslizamentos e derrapagens das máquinas agrícolas. Para lidar com esses problemas, o trabalho propõe um modelo cinemático para máquinas agrícolas em campos de arroz, baseado na correção da pose da máquina. Com base nesse modelo e em controle preditivo de modelo, em inglês *Model Predictive Control* (MPC), é estabelecido um método de controle de trajetória MPC com base na pose das máquinas agrícolas, demonstrando sua eficácia em experimentos de campo.

O modelo proposto visa controlar e corrigir a trajetória das máquinas agrícolas não tripuladas em campos de arroz, levando em consideração os desafios específicos desse ambiente, como o terreno escorregadio e irregular. Os resultados dos experimentos de campo mostram que o método de controle de trajetória MPC é capaz de suprimir desvios laterais abruptos causados por mudanças na posição e atitude da máquina, melhorando assim a precisão do controle e atendendo aos requisitos de precisão para operações agrícolas não tripuladas em campos de arroz.

Essa abordagem oferece uma solução promissora para os desafios enfrentados na operação de máquinas agrícolas em campos de arroz, possibilitando um controle mais preciso e eficiente da trajetória das máquinas. Ao considerar as peculiaridades do ambiente de cultivo de arroz, o modelo proposto e o método de controle têm o potencial de melhorar significativamente a eficiência e a produtividade das operações agrícolas nesses campos.

De acordo com Zhang e Li (2023) a agricultura em países desenvolvidos avançou para além do uso de esforço manual, adotando cultivos automatizados e estufas inteligentes que mantêm o ambiente agrícola usando tecnologia. A autonomia

e a operação independente em áreas agrícolas são objetivos centrais do equipamento agrícola autônomo, cuja organização e preparação impactam a produtividade do sistema.

A técnica de otimização de rastreamento de trajetória é crucial para a navegação autônoma de equipamentos agrícolas, exigindo precisão no sistema de transporte inteligente. Devido aos ambientes desafiadores e complexa organização das máquinas agrícolas, o algoritmo de rastreamento de trajetória foi desenvolvido para melhorar a qualidade e eficiência do trabalho.

As técnicas de rastreamento de trajetória são fundamentais para a regulação instantânea da direção das máquinas agrícolas, envolvendo abordagens prototípicas e metodológicas. Com o objetivo de aproveitar as vantagens das técnicas de otimização, foi proposto um método de rastreamento de trajetória para equipamentos agrícolas.

O texto produzido por Wang *et al.* (2024) aborda a importância da obtenção precisa de informações sobre a distribuição espacial de objetos em campos agrícolas para o planejamento de rotas de máquinas agrícolas autônomas. Esses objetos incluem culturas, estradas, limites de campos e obstáculos, entre outros. A precisão dessas informações é crucial para garantir o funcionamento adequado das máquinas agrícolas, com uma precisão de até  $\pm 2,5$  cm. No entanto, devido à natureza irregular e dinâmica do ambiente agrícola, poucos métodos de sensoriamento conseguem identificar esses objetos com precisão.

Atualmente, pesquisadores e empresas utilizam várias tecnologias, como estações totais, LiDAR e sistemas de posicionamento por satélite de alta precisão, para coletar informações sobre os limites dos campos e o terreno. No entanto, esses métodos frequentemente dependem de mão de obra manual e têm eficiência limitada. Uma alternativa promissora são as plataformas de sensoriamento remoto próximas ao solo, como drones, que oferecem alta precisão e baixo custo, mas ainda enfrentam desafios para atender aos requisitos de resolução e precisão necessários.

Para superar esses desafios, o estudo propõe um método de segmentação interativa especializado em imagens de alta resolução. Esse método visa segmentar com precisão vários tipos de objetos agrícolas através de interações simples entre humanos e máquinas. Isso permite refinamentos iterativos nos resultados de segmentação, garantindo uma precisão sem precedentes. O estudo contribui com o

desenvolvimento de um modelo de segmentação de imagem profunda interativa, um software correspondente e um conjunto de dados anotados.

Essa abordagem inovadora visa fornecer uma solução robusta e eficaz para a obtenção rápida e precisa de informações sobre a distribuição espacial de objetos agrícolas, incluindo culturas, estradas e obstáculos. Essas informações são fundamentais para o planejamento eficiente de rotas e operações de maquinaria agrícola autônoma, contribuindo para aumentar a produtividade e reduzir os custos na agricultura.

De acordo com Yang *et al.* (2022), o avanço da agricultura de precisão exige a implementação de tecnologia de navegação automática para máquinas agrícolas. Um elemento-chave nessa tecnologia é o controle de trajetória, para o qual o algoritmo Pure Pursuit é amplamente utilizado. No entanto, calcular a distância de olhar à frente apresenta desafios, pois muitos fatores influentes não podem ser descritos com precisão matemática. Para lidar com esses desafios, este estudo propõe um algoritmo de rastreamento de trajetória baseado no ponto de objetivo ótimo. Esse algoritmo simula o comportamento de olhar à frente do motorista e procura o ponto de objetivo ideal na área de olhar à frente de acordo com uma função de avaliação específica. O objetivo final é minimizar os erros laterais e de orientação para alcançar a otimização adaptativa do ponto de objetivo.

Ao implementar o algoritmo proposto, os pesquisadores conduziram simulações e testes de campo em terrenos irregulares sob várias condições diferentes. Os resultados revelaram uma redução significativa nos erros de rastreamento em mais de 20% em comparação com o algoritmo Pure Pursuit, demonstrando uma melhoria notável na precisão do rastreamento. Isso sugere que o algoritmo proposto pode oferecer uma solução viável para os desafios enfrentados no controle de trajetória de máquinas agrícolas. Essa abordagem busca superar as limitações encontradas na determinação da distância de olhar à frente, fornecendo uma estratégia adaptativa que melhora a eficácia do controle de trajetória. Portanto, esse avanço tem o potencial de impulsionar ainda mais o desenvolvimento da agricultura de precisão e da automação agrícola.

De acordo com Wang e Huang (2022) a produção agrícola é altamente influenciada pelo tempo, o que pode afetar significativamente o rendimento das colheitas. Esta questão torna-se ainda mais complexa devido à natureza sazonal da agricultura. Com isso em mente, os operadores de máquinas agrícolas compartilhadas

enfrentam o desafio de atender a múltiplas demandas dentro de janelas de tempo específicas, muitas vezes superpostas. A fim de otimizar a eficiência desse processo, este estudo propõe um framework de despacho em duas etapas.

Na primeira etapa, utiliza-se uma abordagem de agrupamento espaço-temporal para organizar as terras agrícolas com base em sua localização geográfica, janelas de tempo disponíveis e variedades de culturas. Em seguida, na segunda etapa, as máquinas agrícolas compartilhadas são roteadas entre esses grupos de terras de forma a minimizar os custos de despacho. Esta abordagem, formulada como modelos de Programação Linear Inteira Mista, foi testada em experimentos numéricos com dados reais de uma empresa de maquinário agrícola compartilhado, demonstrando sua eficácia, eficiência e viabilidade prática.

O trabalho de Jiang *et al.* (2023) aborda os avanços significativos na tecnologia de direção automática para máquinas agrícolas inteligentes e veículos autônomos, destacando a necessidade de lidar com os desafios apresentados pelo cenário complexo de trabalho. Uma questão crucial é a detecção precisa de obstáculos ambientais, para a qual o lidar 3D tem sido adotado como sensor importante. No entanto, métodos atuais de detecção e rastreamento baseados em lidar enfrentam limitações de precisão e desempenho em tempo real, motivando a busca por novas abordagens.

Uma proposta apresentada é um método de detecção e rastreamento de obstáculos baseado em grade, que combina técnicas de agrupamento de nuvem de pontos e associação de dados de obstáculos usando múltiplas características. Além disso, o estudo propõe o uso de um filtro de Kalman para estimar a posição e velocidade dos obstáculos em movimento. Essas técnicas visam melhorar a eficácia da detecção e rastreamento de obstáculos em máquinas agrícolas inteligentes, proporcionando maior segurança e precisão nas operações.

O trabalho também descreve a estrutura restante, incluindo detalhes sobre o pré-processamento da nuvem de pontos, um novo algoritmo de agrupamento, o método de associação de dados de obstáculos e o filtro de Kalman. Os resultados dos experimentos realizados são discutidos em uma seção específica, oferecendo insights sobre a eficácia das técnicas propostas na prática. Por fim, uma síntese do trabalho é apresentada na conclusão, destacando os principais pontos abordados e possíveis direções futuras para pesquisa nessa área.

O texto Cao *et al.* (2021) discute o avanço da tecnologia de navegação automática de máquinas agrícolas e veículos autônomos, enfocando a cooperação entre múltiplas máquinas agrícolas na operação em fazendas. Ele destaca estudos anteriores que investigam modos de operação de navegação cooperativa, como "ir para" e "seguir", bem como os benefícios de sistemas de navegação mestre-escravo na eficiência do trabalho agrícola. A alocação de tarefas é um aspecto crucial na cooperação entre múltiplas máquinas, e várias abordagens têm sido propostas para otimizar esse processo, incluindo sistemas distribuídos de agentes múltiplos, protocolos de contrato em redes e algoritmos genéticos.

Embora haja avanços significativos na alocação de tarefas entre várias máquinas, o texto destaca algumas limitações a serem superadas. Por exemplo, a maioria das pesquisas se concentra em cooperação entre robôs, com poucos estudos específicos em robôs agrícolas e suas aplicações. Além disso, muitos estudos focam na otimização dos algoritmos em si, sem considerar aspectos práticos como custos operacionais e capacidade de trabalho. Também é ressaltada a falta de consideração para problemas dinâmicos de alocação de tarefas, que são comuns em ambientes agrícolas devido à natureza complexa e variável das operações.

Diante dessas lacunas, o estudo propõe um modelo de alocação de tarefas dinâmicas e estáticas baseado em um algoritmo de colônia de formigas melhorado. O objetivo é desenvolver um método eficiente e abrangente que leve em consideração a natureza dinâmica das operações agrícolas, garantindo uma alocação de tarefas precisa e eficiente entre múltiplas máquinas. Essa abordagem visa otimizar a cooperação entre as máquinas agrícolas, levando em conta uma série de fatores, como demanda e oferta, capacidade operacional e custos de trajeto.

O trabalho de Yang *et al.* (2023) aborda a aplicação de técnicas de direção autônoma em cenários agrícolas, com foco na percepção do espaço livre de direção. Esse espaço inclui a superfície da estrada e áreas que suportam a condução, chamadas de obstáculos pseudo, comuns em ambientes agrícolas. Enquanto câmeras e LiDAR são utilizados para essa percepção, o LiDAR se destaca em ambientes com mudanças de iluminação devido à sua capacidade de detecção tridimensional. O trabalho explora a extração do espaço livre em estradas agrícolas com base em nuvens de pontos LiDAR.

Existem quatro principais áreas de pesquisa na extração de espaço livre com base em nuvens de pontos 3D: detecção completa de obstáculos, segmentação

semântica da cena (ou seja, segmentação do solo), detecção de estradas e detecção de estradas e obstáculos. Modelos de detecção completa de obstáculos são limitados a tipos específicos de obstáculos e aplicados em cenários agrícolas. Modelos de segmentação semântica são intensivos computacionalmente e não flexíveis para estradas agrícolas. Modelos de detecção de estradas se aplicam apenas a cenas sem obstáculos. Paralelamente, estão sendo desenvolvidos modelos de detecção de estradas e obstáculos para estradas agrícolas e urbanas.

Alguns estudos não consideram a fronteira da estrada, enquanto outros não consideram obstáculos na estrada ou apenas certos tipos de obstáculos. No entanto, poucos focaram nos obstáculos pseudo em estradas semiestruturadas e não estruturadas. Os obstáculos pseudo são aqueles que não interferem na condução, como montes de grama baixa ou folhas pendentes. O trabalho se concentra na extração de espaço livre em estradas agrícolas, envolvendo a extração de nuvens de pontos, segmentação de obstáculos na estrada e análise para determinar quais são os obstáculos pseudo. Os resultados são utilizados em módulos de planejamento e decisão, além de visualização do espaço livre de direção.

O trabalho de Yao *et al.* (2021) trata da otimização da alocação de recursos para a manutenção de máquinas agrícolas, uma questão crucial para garantir a eficiência operacional e a produtividade no setor agrícola. Para abordar esse problema complexo, os autores desenvolveram um modelo de programação inteira mista multiobjetivo, que permite considerar várias metas simultaneamente, como minimização dos custos de serviço e maximização da cobertura de manutenção. Uma contribuição significativa deste trabalho é a incorporação de um conjunto de incertezas no modelo, visando garantir a robustez e a adaptabilidade das soluções propostas diante de possíveis variações nas condições operacionais.

É importante destacar que a natureza da rede de serviços de manutenção para máquinas agrícolas apresenta desafios únicos em comparação com outras redes de serviços de emergência, como as de veículos automotivos. Nesse contexto, os autores propõem uma abordagem inovadora para reduzir os custos de serviço, enfocando na distribuição de falhas das máquinas agrícolas. Ao ajustar estrategicamente a distribuição geográfica dos recursos de manutenção com base nos padrões de falhas identificados, é possível otimizar a eficiência da rede de serviços e reduzir os custos operacionais.

A resolução do modelo proposto é realizada por meio do algoritmo genético de classificação não dominada II, uma técnica poderosa amplamente utilizada para resolver problemas de otimização multiobjetivo. Esse algoritmo permite identificar soluções que não são dominadas por outras em relação a múltiplos critérios, fornecendo um conjunto de soluções eficientes para o problema em questão. Além disso, o trabalho apresenta exemplos numéricos e práticos que demonstram a aplicabilidade e eficácia do modelo proposto em cenários reais.

O trabalho oferece uma contribuição significativa para o campo da gestão de serviços de manutenção de máquinas agrícolas, ao propor um modelo de otimização robusto e adaptável, capaz de lidar com a complexidade e incertezas inerentes a esse contexto. Ao considerar múltiplos objetivos e incorporar técnicas avançadas de resolução, os resultados deste estudo têm o potencial de informar e orientar decisões estratégicas relacionadas à alocação de recursos e planejamento de serviços no setor agrícola.

A pesquisa de Chen *et al.* (2023) discute a prestação de serviços de mecanização agrícola em áreas rurais da China e a necessidade de gerenciamento eficiente para evitar o uso excessivo ou insuficiente de máquinas agrícolas. Como os custos de serviço de mecanização representam mais de um quarto dos custos de produção de culturas, muitos agricultores chineses terceirizam operações intensivas em energia para prestadores de serviços especializados em mecanização, que oferecem serviços competitivos em todo o país. No entanto, a fragmentação da terra e a natureza espontânea desses serviços tornam difícil para os provedores desenvolver rotinas migratórias eficientes por conta própria.

Para melhorar a eficiência dos serviços de mecanização, há uma necessidade crescente de desenvolver um sistema que forneça um layout de oferta-demanda trans-regional em tempo real. Uma abordagem comum para obter informações operacionais é a decomposição campo-estrada dos registros do Sistema de Navegação por Satélite Global, em inglês *Global Navigation Satellite System* (GNSS), de máquinas agrícolas. No entanto, na China, onde muitos desses serviços ocorrem em áreas com fragmentação de terras, as abordagens convencionais que dependem de limites de campo são impraticáveis devido à falta de banco de dados de grandes limites de campo trans-regionais.

Para superar esse desafio, o trabalho apresenta um método inovador de decomposição campo-estrada que pode distinguir atividades de campo e atividades

de estrada sem depender de limites de campo. Esse método utiliza técnicas avançadas de aprendizado de máquina para converter a decomposição campo-estrada em um problema de classificação campo-estrada, identificando automaticamente a categoria (campo ou estrada) de cada ponto em uma trajetória GNSS.

O estudo destaca que a classificação campo-estrada recente se concentrou principalmente em extrair informações de movimento locais, como velocidade e direção, entre pontos GNSS. No entanto, para melhorar a precisão da classificação, é necessário não apenas aprimorar a extração de informações de movimento locais, mas também investigar a extração de informações de movimento globais com base nas relações espaço-temporais entre os pontos GNSS em toda a trajetória.

Assim, o trabalho propõe uma abordagem inovadora que utiliza modelos poderosos de redes neurais desenvolvidos para segmentação de imagem em visão computacional. Esse método utiliza um modelo de segmentação de imagem específico para classificação campo-estrada, extraíndo características visuais para cada ponto GNSS e aprimorando as técnicas convencionais de classificação. Essa abordagem promete melhorar a precisão e eficiência da classificação campo-estrada, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas mais avançados de prestação de serviços de mecanização agrícola.

## **2.4 Algumas questões ambientais envolvendo a mecanização das lavouras**

De acordo com Phromjan e Suvanjumrat (2023) A produção agrícola mundial depende fortemente de culturas de campo como mandioca, milho e cana-de-açúcar. O aumento do consumo de etanol tem impulsionado a expansão do cultivo de cana-de-açúcar, o que requer o desenvolvimento de tecnologias agrícolas eficientes para reduzir custos e aumentar a produtividade. No entanto, o uso extensivo de máquinas agrícolas pode aumentar a compactação do solo, prejudicando suas propriedades físicas e químicas e, conseqüentemente, a produtividade agrícola.

A compactação do solo pode reduzir a porosidade, a troca gasosa, a disponibilidade de nutrientes e a retenção de água, afetando negativamente o crescimento das plantas. Para medir a compactação do solo, são usadas medidas como resistência à penetração e densidade do solo, que são indicadores da qualidade do solo. Estudos anteriores mostraram que a largura dos pneus pneumáticos pode

influenciar a compactação do solo, com pneus de baixa pressão de inflação reduzindo a compactação devido à distribuição uniforme do estresse na superfície do solo.

Em contraste, os pneus não pneumáticos, em inglês *Nonpneumatic Tires* (NPT), como o TWEEL, têm sido desenvolvidos para superar as desvantagens dos pneus pneumáticos, oferecendo maior estabilidade e mobilidade. Estudos têm demonstrado que o TWEEL pode ser mais adequado para veículos leves, como tratores pequenos, e pode ser projetado para apresentar características superiores aos pneus pneumáticos, sem a necessidade de manutenção da pressão de inflação.

O design do TWEEL combina uma estrutura de raios e uma banda de cisalhamento, oferecendo uma alternativa eficiente e segura aos pneus pneumáticos. A estrutura de raios substitui os componentes dos pneus tradicionais, como as carcaças e as laterais, proporcionando uma alta rigidez lateral e uma boa capacidade de manobra, enquanto a banda de cisalhamento suporta a carga e distribui o estresse. O uso de métodos de análise de elementos finitos tem sido fundamental para estudar as propriedades e o desempenho dos NPTs, permitindo simulações precisas e eficazes de seu comportamento em diferentes condições de solo e operação.

De acordo com Kolling *et al.* (2022), muitos estudos destacam o potencial do Sistema Produto-Serviço, em inglês *Product-Service System* (PSS) para promover práticas de gestão sustentável e Economia Circular, em inglês *Circular Economy* (CE). No entanto, sua implementação enfrenta desafios, especialmente na indústria de máquinas agrícolas. Diante dessa questão, uma pesquisa exploratória foi conduzida, incluindo revisão sistemática da literatura e estudos de caso em empresas do setor agrícola. O objetivo era identificar práticas e oportunidades para implementar o PSS orientado ao produto, visando aprimorar o gerenciamento do ciclo de vida dos produtos.

Essa investigação visava preencher uma lacuna no conhecimento sobre a implementação do PSS na indústria de máquinas agrícolas. A partir da revisão da literatura e dos estudos de caso, foram identificadas diversas práticas e oportunidades para melhorar a sustentabilidade e promover a Economia Circular no setor. Com base nos resultados obtidos, foi desenvolvido um modelo conceitual para orientar as empresas na implementação do PSS orientado ao produto.

Os desafios encontrados na implementação do PSS na indústria de máquinas agrícolas incluem questões técnicas, logísticas e culturais. No entanto, os benefícios potenciais são significativos, incluindo a redução do impacto ambiental e a criação de

novas oportunidades de negócios. Portanto, a pesquisa sugere que o PSS orientado ao produto pode ser uma estratégia viável para promover a sustentabilidade e a Economia Circular no setor agrícola.

O trabalho de Wang *et al.* (2022) destaca o crescente número de máquinas agrícolas na China, que ultrapassou os 200 milhões em 2020, tornando o país o maior produtor mundial de equipamentos agrícolas. No entanto, essas máquinas também são uma fonte significativa de poluição do ar, com emissões de HC, NOX e PM2.5 representando uma parcela substancial das emissões totais de fontes móveis não rodoviárias.

Para compreender as características de emissão dessas máquinas, foram estabelecidos inventários de emissão em nível nacional e regional. Embora esses inventários tenham melhorado a compreensão das emissões de máquinas agrícolas, muitos fatores de emissão ainda se baseiam em diretrizes que não refletem completamente as condições reais de trabalho.

Neste estudo, foram analisadas as características de emissão de dez máquinas agrícolas em diferentes modos de operação. Com base nos resultados da análise, foi estabelecido um inventário de emissão para a região BTH (Pequim-Tianjin-Hebei) em 2020, considerando fatores de emissão reais. Além disso, foram desenvolvidos cenários de políticas para avaliar o impacto de medidas de controle de poluição na redução das emissões dessas máquinas.

O trabalho de Liu *et al.* (2023) aborda a seleção de locais para armazenamento de máquinas agrícolas na China, com o objetivo de alcançar metas ambientais. Propõe-se uma abordagem que utiliza o método TOPSIS-MCGP para essa seleção, considerando fatores como emissões de carbono e custos operacionais. Além disso, destaca desafios enfrentados na gestão atual do armazenamento de máquinas agrícolas, como capacidade inadequada dos galpões e distâncias prolongadas entre os locais de armazenamento e operação.

O estudo ressalta a importância da otimização dos locais de armazenamento para a sustentabilidade ambiental, enfatizando a necessidade de reduzir as emissões de carbono associadas às operações agrícolas. Para isso, são considerados diversos fatores, como a distância entre os locais de armazenamento e operação, o consumo de combustível e os custos totais. Essa abordagem visa aprimorar a eficiência operacional e reduzir o impacto ambiental do setor agrícola.

O estudo conclui ressaltando a importância da seleção adequada de locais de armazenamento para alcançar metas de redução de carbono e sustentabilidade ambiental. Essa abordagem sistemática e baseada em múltiplos fatores contribui para aprimorar a gestão do armazenamento de máquinas agrícolas, promovendo práticas mais sustentáveis no setor agrícola.

Gao *et al.* (2024) discutem a importância da eletrificação de terminais de energia para atingir metas climáticas e de transição energética, especialmente em veículos de produção altamente poluentes. Enquanto estudos anteriores focaram na eletrificação de veículos privados, poucos abordaram a maquinaria agrícola, que também é uma grande fonte de poluição. O objetivo do estudo é avaliar os benefícios da utilização de maquinaria agrícola elétrica na redução das emissões de carbono. Utilizando análises de dados espaciais e temporais, o estudo propõe um modelo para quantificar o potencial de redução de carbono da maquinaria agrícola elétrica e sugere que políticas ativas de planejamento podem promover significativamente a adoção dessas tecnologias, trazendo benefícios ambientais consideráveis. Essas descobertas fornecem informações fundamentais para o desenvolvimento de políticas relacionadas à maquinaria agrícola elétrica na China.

No estudo de Che *et al.* (2023) foram investigados os fatores de emissão (FEs) de 120 espécies individuais de compostos orgânicos voláteis (VOCs) para 40 máquinas não rodoviárias, utilizando técnicas de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa/detecção por ionização de chama e cromatografia líquida de alta eficiência.

Os resultados mostraram que o FE de VOCs à base de diesel para as máquinas testadas foi de  $4,18 \pm 2,55$  g/kg de combustível, sendo dominado por alcanos ( $38,20\% \pm 18,08\%$ ) e VOCs oxigenados (OVOCs;  $30,94\% \pm 15,71\%$ ). Diversos fatores, como tipo de máquina, potência nominal, normas de emissão e condições operacionais, afetaram as emissões de VOCs e seus componentes, com a eficiência de combustão do combustível desempenhando um papel importante. As espécies de VOCs estavam predominantemente distribuídas nos intervalos de carbono C1-C2 e C4-C6 e nas classes B4-B6 (com base na concentração de vapor saturado).

Além disso, os valores de potencial de formação (PF) estimados de SOAs e O<sub>3</sub> a partir de VOCs foram de  $21,02 \pm 15,57$  mg/kg de combustível e  $15,96 \pm 11,87$  g/kg de combustível, respectivamente. O controle de VOCs com base no potencial de formação de SOA (SOAFP) e no potencial de formação de ozônio (OFP) pode ser

mais eficaz na mitigação da matéria particulada fina (PM<sub>2.5</sub>) e na poluição por O<sub>3</sub>. Finalmente, as estimativas de emissão mostraram que as emissões de VOCs originárias de máquinas de construção e agrícolas na China (2020) alcançaram 64,05 e 95,24 Gg, respectivamente.

O estudo fornece FEs específicos de espécies de VOC e características detalhadas de emissão para auxiliar na compreensão abrangente das emissões gasosas originadas de fontes móveis não rodoviárias e na atualização de inventários de emissões e modelos de química atmosférica.

O trabalho de Malykha *et al.* (2023) examina cuidadosamente a viabilidade e a logística envolvida na implementação de uma estrutura de engenharia dedicada ao descarte eficaz de máquinas agrícolas. Para isso, são levantados dados fundamentais que serão utilizados no cálculo dos parâmetros dessa estrutura. Além disso, são apresentadas duas opções de programas anuais destinados à utilização das máquinas agrícolas, com base nas informações fornecidas pelos responsáveis pelo desenvolvimento da estratégia de engenharia. Essas opções de programas fornecem um roteiro claro para a utilização e, posteriormente, descarte responsável desses equipamentos, levando em consideração as necessidades do setor agrícola e as demandas do mercado.

Após uma análise detalhada, o estudo conclui que seria necessário um período de três anos para a criação e implementação efetiva dessa estrutura de engenharia. Esse período é considerado realista, pois leva em conta diversos fatores econômicos, operacionais e logísticos envolvidos no processo. Ao longo desses três anos, seria possível desenvolver e aprimorar a infraestrutura necessária, bem como estabelecer os processos e protocolos adequados para garantir o descarte eficiente e responsável das máquinas agrícolas.

É importante ressaltar que a pesquisa enfatiza a importância de considerar não apenas os aspectos técnicos e operacionais, mas também os impactos ambientais e sociais do descarte das máquinas agrícolas. O objetivo final é não apenas obter o máximo volume de recursos secundários das máquinas descartadas, mas também minimizar o impacto ambiental e proteger as comunidades locais contra qualquer risco associado ao descarte inadequado.

Portanto, o estudo fornece uma visão abrangente e fundamentada sobre a criação de uma estrutura de engenharia para o descarte de máquinas agrícolas,

destacando a importância de considerar múltiplos fatores e estabelecer um plano estratégico para garantir o sucesso e a sustentabilidade do processo de descarte.

O trabalho de Silveira *et al.* (2021) aborda a preocupação crescente com o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e seus impactos ambientais, como o aquecimento global, o derretimento das calotas polares e a acidificação dos oceanos. Uma parte significativa dessas emissões é atribuída à queima de combustíveis fósseis em motores de combustão interna de máquinas agrícolas. Isso levou à implementação de políticas governamentais e regulamentos para controlar as emissões de poluentes atmosféricos e mitigar as mudanças climáticas.

No contexto brasileiro, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) estabelece regulamentações e padrões de emissão para veículos automotores, incluindo máquinas agrícolas. A fase MAR - I (Máquinas Agrícolas e Rodoviárias) foi introduzida em 2015 para controlar os limites de emissão de poluentes permitidos para diferentes faixas de potência dos motores de máquinas agrícolas.

Para atender aos padrões de emissão estabelecidos pelas regulamentações brasileiras, novos motores a diesel equipados com sistemas inovadores de controle de emissões estão sendo desenvolvidos. Isso representa um novo paradigma no desenvolvimento de motores de máquinas agrícolas no Brasil, considerando a variedade de modelos de tratores agrícolas e colheitadeiras presentes no mercado brasileiro.

O estudo tem como objetivo analisar as patentes relacionadas a tecnologias para redução de emissões de poluentes de motores de máquinas agrícolas no Brasil, bem como investigar o perfil dos fabricantes no mercado brasileiro e os países líderes no desenvolvimento dessas tecnologias.

O trabalho inicia com uma revisão teórica sobre sustentabilidade no setor de máquinas agrícolas e aborda os regulamentos de emissão de poluentes para essas máquinas. Em seguida, apresenta a abordagem metodológica utilizada na parte empírica do estudo, seguida pelos resultados e conclusões.

A pesquisa de Wu *et al.* (2022) trata da questão das emissões de carbono negro, em inglês *Black Carbon* (BC), provenientes de fontes móveis, em particular de maquinaria agrícola na China. O carbono negro é um dos poluentes de vida curta e tem efeitos complexos sobre as mudanças climáticas, sendo um subproduto da combustão incompleta de combustíveis fósseis. Ele é uma fração substancial da

matéria particulada fina (PM<sub>2.5</sub>), que pode ser prejudicial à saúde humana quando inalada. O trabalho destaca a importância de reduzir as emissões de BC como um método eficaz de retardar o aquecimento global e beneficiar a saúde humana.

Na China, as emissões de BC de fontes móveis, especialmente de veículos diesel, são significativas. Embora o controle das emissões de veículos a diesel em vias públicas tenha melhorado nos últimos anos, os problemas de poluição das fontes móveis não rodoviárias, principalmente motores diesel de maquinaria agrícola, tornaram-se mais proeminentes. A maquinaria agrícola é uma das principais fontes de emissões de PM na China, com destaque para os tratores e colheitadeiras. O trabalho ressalta a necessidade de estudar e quantificar as emissões de BC dessas fontes móveis não rodoviárias, especialmente da maquinaria agrícola, para melhorar a qualidade do ar e formular medidas de redução de emissões mais precisas.

Atualmente, os métodos quantitativos para avaliar as emissões de BC de fontes móveis baseiam-se principalmente em análises online e offline. O trabalho destaca a importância dos sistemas portáteis de medição de emissões, em inglês *Portable Emission Measurement System* (PEMS) como uma ferramenta essencial para medir as emissões reais em condições de operação do mundo real. No entanto, os estudos sobre emissões de poluentes de fontes móveis não rodoviárias na China ainda estão em estágio inicial, com um foco limitado nas emissões de PM e gases. O trabalho ressalta a necessidade de pesquisas futuras baseadas em medições reais para entender melhor as características das emissões de BC da maquinaria agrícola e desenvolver inventários de emissões mais precisos.

O trabalho de Schneider *et al.* (2023) aborda uma série de questões cruciais relacionadas à agricultura na Europa e às mudanças necessárias para torná-la mais sustentável e ecologicamente responsável. O texto destaca como a intensificação da agricultura, embora tenha contribuído para garantir a segurança alimentar, também trouxe consigo uma série de problemas ambientais, como a perda de biodiversidade, a degradação do solo e questões de aceitação social. A introdução de pesticidas e fertilizantes em larga escala, em conjunto com o uso crescente de maquinário pesado, resultou na homogeneização das paisagens agrícolas e na perda de estruturas vegetais importantes nas bordas dos campos.

Além disso, o trabalho destaca como a mudança climática está pressionando a necessidade de transformar tanto a produção quanto o consumo de alimentos e energia. Com a crescente conscientização sobre os efeitos prejudiciais dos

combustíveis fósseis, políticas como o Green Deal da UE estão buscando reduzir a dependência desses recursos e promover fontes de energia renovável. A implementação de sistemas fotovoltaicos agrícolas, conhecidos como agrofotovoltaicos, emerge como uma alternativa promissora, permitindo a geração de energia limpa enquanto preserva as atividades agrícolas.

No entanto, a transição para formas mais sustentáveis de agricultura e energia apresenta uma série de desafios. Por exemplo, a eletrificação do maquinário agrícola, embora seja uma solução atraente em teoria, enfrenta obstáculos significativos devido à alta demanda de energia durante os curtos períodos de cultivo e colheita. Além disso, a aceitação dessas novas tecnologias por parte dos agricultores e da sociedade em geral é fundamental para o seu sucesso. É importante destacar que, em algumas regiões, como os Alpes Suíços, há uma abertura maior para a implementação de tecnologias como os sistemas fotovoltaicos em terras agrícolas, enquanto em outras áreas mais intensamente utilizadas para a agricultura, a aceitação pode ser mais difícil devido a preocupações sobre o uso da terra.

O estudo propõe abordar esses desafios por meio de uma série de medidas concretas. Por exemplo, avaliar as intenções comportamentais dos agricultores em relação à instalação de sistemas fotovoltaicos agrícolas pode ajudar a identificar barreiras e facilitadores para a adoção dessas tecnologias. Além disso, ao projetar cenários positivos para o uso de sistemas fotovoltaicos em conjunto com faixas de flores ao longo das margens dos campos, o trabalho busca demonstrar os benefícios tanto em termos de produção de energia quanto de conservação da biodiversidade.

Em última análise, o objetivo do estudo é propor um caminho para uma transformação sustentável da agricultura de campo na Europa. Isso envolve não apenas a implementação de tecnologias inovadoras, como os agrofotovoltaicos, mas também mudanças nas políticas agrícolas e no comportamento dos agricultores. Ao promover uma abordagem holística que leve em consideração tanto as necessidades econômicas quanto as ambientais, o trabalho busca contribuir para um futuro mais sustentável e resiliente para a agricultura europeia.

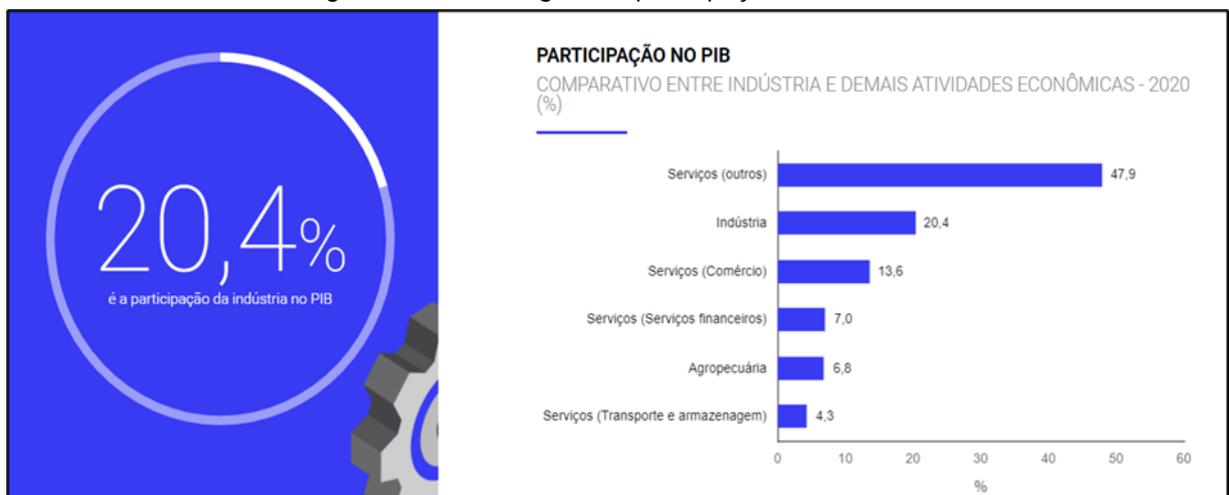
## 2.5 Contexto da indústria de máquinas agrícolas no Brasil

A Indústria Agrícola Brasileira desempenha um papel fundamental na economia do país, sendo responsável por uma parcela significativa da produção de alimentos e matérias-primas agrícolas a nível mundial. Com um vasto território e condições climáticas favoráveis, o Brasil é um dos principais produtores agrícolas do mundo, destacando-se especialmente na produção de soja, milho, café, cana-de-açúcar e carnes.

No contexto da indústria de máquinas agrícolas no Brasil, o país possui uma base sólida de fabricantes e fornecedores que atendem tanto ao mercado doméstico quanto ao internacional. Empresas brasileiras produzem uma variedade de equipamentos, incluindo tratores, colheitadeiras, plantadeiras, pulverizadores e outros implementos agrícolas.

A indústria agrícola Brasileira possui grande contribuição para o PIB, conforme dados da Confederação Nacional da Indústria (CNI), apresentados na Figura 1 – 1.

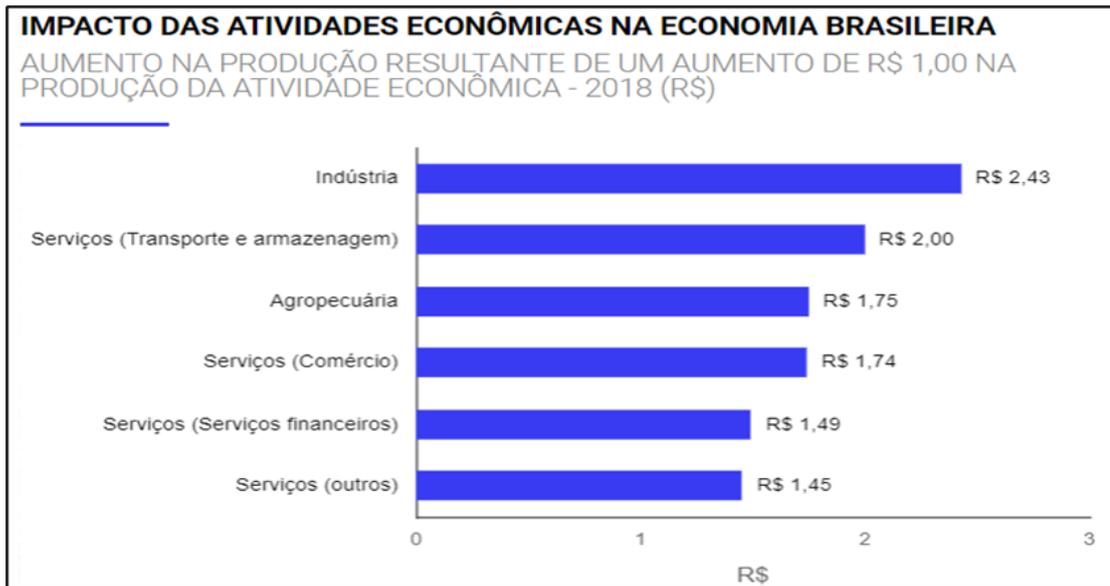
Figura 1 – Porcentagem de participação na indústria



Fonte: CNI (2021)

A Indústria como um todo representou 20,4% do PIB do Brasil em 2021. Um gráfico disponibilizado pela CNI, que demonstra o aumento na produção resultante de um aumento de R\$ 1,00 na produção industrial, é apresentado na Figura 2 –.

Figura 2 – Aumento da produção resultante



Fonte: CNI (2021)

O estudo de Vian *et al.* (2013) aborda a origem e a evolução da indústria de máquinas e implementos agrícolas, com foco em como certas empresas influenciaram a atual estrutura produtiva e de mercado. A estrutura mencionada é um "oligopólio diferenciado-concentrado mundial". Isso significa que poucas empresas dominam o mercado global, mas elas se diferenciam entre si por meio de estratégias específicas, como inovação e fidelização de clientes.

O trabalho adota uma abordagem metodológica que combina aspectos qualitativos e quantitativos, sendo ao mesmo tempo exploratório e descritivo. De acordo com a revisão da literatura feita pelos autores, revelou-se que existem poucos estudos sobre a evolução da estrutura de mercado e das empresas neste setor específico. Por isso, foi necessário realizar um levantamento exploratório de dados e uma revisão extensa de literatura para obter informações relevantes.

Os autores destacam que o progresso técnico (inovações tecnológicas) e os ganhos de escala (redução de custos à medida que a produção aumenta) são cruciais no processo competitivo da indústria de máquinas agrícolas. Essas inovações e a capacidade de produzir em grandes quantidades a custos menores ajudam as empresas a se manterem competitivas.

O trabalho conclui que a indústria de máquinas agrícolas é caracterizada por um oligopólio diferenciado-concentrado, onde:

- Oligopólio: Poucas empresas dominam o mercado.

- Diferenciado: As empresas se distinguem por meio da inovação e da fidelização de clientes.
- Concentrado: A maior parte do mercado é controlada por essas poucas empresas.

Outras conclusões importantes incluem:

- Inovação e Diferenciação de Produtos: Empresas utilizam inovação e fidelização de clientes como estratégias competitivas.
- Economias de Escala e Escopo: Produção em grande escala e diversificação de produtos ajudam a reduzir custos e aumentar a eficiência.
- Concorrência Global: Poucas empresas operam globalmente, enquanto muitas outras têm atuação regional ou local.

O progresso técnico e os ganhos de escala são essenciais para a competitividade neste setor. O estudo conclui que o mercado é dominado por poucas empresas globais que se diferenciam por inovação e fidelização de clientes. Além disso, essas empresas se beneficiam de economias de escala e escopo, enquanto a concorrência ocorre em um nível global com poucas empresas grandes e muitas pequenas operando regionalmente.

De acordo com a CNI, o setor de máquinas está em sexto na classificação de investimentos de Pesquisa e Desenvolvimento. Esse fato é apresentado na Figura 3

—.

Figura 3 – Participação no investimento empresarial em P&D



Fonte: CNI (2021)

O estudo visa demonstrar que a indústria de máquinas agrícolas pode ser fortalecida com investimentos em tecnologia e qualidade uma vez que se nota uma enorme lacuna no investimento feito entre veículos automotores e máquinas e equipamentos.

Apesar do desenvolvimento e da competitividade da indústria de máquinas agrícolas no Brasil, existem alguns desafios e problemas de qualidade específicos que o setor enfrenta. Um dos principais problemas está relacionado à manutenção e à durabilidade dos equipamentos. Devido às condições adversas de trabalho, como a exposição a ambientes corrosivos, terrenos acidentados e longas horas de operação, os equipamentos agrícolas estão sujeitos a um desgaste significativo ao longo do tempo. Isso pode levar a falhas prematuras, aumentando os custos de manutenção e reduzindo a produtividade no campo.

Outro problema de qualidade enfrentado pela indústria de máquinas agrícolas no Brasil está relacionado à tecnologia e à inovação. Com a rápida evolução das tecnologias digitais e automação, os agricultores estão cada vez mais demandando equipamentos mais avançados e eficientes. No entanto, algumas empresas podem enfrentar dificuldades na incorporação dessas tecnologias em seus produtos devido a questões de custo, capacitação técnica e adaptação aos requisitos do mercado.

Além disso, a complexidade dos processos de fabricação e montagem de equipamentos agrícolas pode aumentar a probabilidade de defeitos de fabricação e inconsistências de qualidade. Isso pode resultar em problemas como peças mal ajustadas, soldas defeituosas, falhas de componentes eletrônicos e vazamentos hidráulicos, afetando a confiabilidade e a segurança dos equipamentos em operação.

Para enfrentar esses desafios e melhorar a qualidade dos produtos, as empresas da indústria de máquinas agrícolas no Brasil estão cada vez mais adotando práticas de controle de qualidade, como o Controle Estatístico de Processo (CEP) e a implementação de sistemas de gestão da qualidade certificados. Essas iniciativas visam garantir a conformidade com padrões de qualidade reconhecidos internacionalmente, aumentar a satisfação do cliente e fortalecer a posição competitiva das empresas brasileiras no mercado global de máquinas agrícolas.

## 2.6 O Controle Estatístico de Processo

De acordo com Cobb (2024), o Controle Estatístico de Processo (CEP) é uma metodologia utilizada na gestão da qualidade industrial e em outros setores para monitorar e controlar a estabilidade e a capacidade de processos produtivos. Seu objetivo principal é garantir que um processo permaneça dentro de limites predefinidos, identificando e corrigindo variações indesejadas que possam ocorrer ao longo do tempo.

O CEP baseia-se na coleta e análise de dados estatísticos provenientes do processo em questão. Esses dados são frequentemente representados em gráficos de controle, como o gráfico de controle de Shewhart, que permitem visualizar visualmente as variações no processo ao longo do tempo. Esses gráficos são construídos com base em medidas coletadas regularmente, como dimensões de peças produzidas, tempo de ciclo, temperatura, pressão, entre outros (Bottani *et al.*, 2023).

Existem duas categorias principais de variações que o CEP visa controlar: variações aleatórias e variações atribuíveis a causas especiais. Variações aleatórias são flutuações normais que ocorrem naturalmente em qualquer processo, enquanto variações atribuíveis a causas especiais são variações anormais causadas por fatores específicos e identificáveis, como defeitos no equipamento, falhas de matéria-prima ou erro humano (Hansen *et al.*, 2023).

Ao utilizar o CEP, as organizações podem determinar se um processo está sob controle estatístico, ou seja, se as variações observadas são consistentes com a variabilidade esperada do processo. Se o processo estiver sob controle, significa que está produzindo produtos ou serviços consistentes e dentro das especificações desejadas. Se o processo estiver fora de controle, medidas corretivas podem ser tomadas para investigar e corrigir as causas das variações anormais (Rasay *et al.*, 2022).

Além de monitorar a estabilidade do processo, o CEP também pode ser usado para avaliar a capacidade do processo de atender às especificações do cliente. Isso é feito calculando índices de capacidade, como o  $C_p$  e o  $C_{pk}$ , que comparam a variação do processo com as tolerâncias especificadas. Um processo com alta capacidade é capaz de produzir produtos dentro das especificações com pouca variação (Biegel *et al.*, 2022).

O Controle Estatístico de Processo é uma ferramenta poderosa para garantir a qualidade e a consistência dos produtos e serviços. Ao monitorar e controlar as variações no processo de produção, as organizações podem reduzir defeitos, melhorar a eficiência e aumentar a satisfação do cliente (Sarkar, 2022).

Segundo a Automotive International Action Group (AIAG), é possível prever o resultado de um processo analisando a distribuição estatística concebida com amostras retiradas dele (Al-Qudah, 2017). Para isto, segundo Montgomery (2019) pode-se utilizar alguns índices e taxas estatísticas quando o processo está sob controle estatístico:

- a) Índice Cp: compara variabilidade do processo com os limites superiores de especificação (LSE) e limite inferior de especificação (LIE). E pode ser calculado com a equação:

$$CP = \frac{(LSE - LIE)}{6\sigma}$$

- b) Índice Cpi: compara variabilidade do processo com o LIE e pode ser calculado com a equação:

$$Cpi = \frac{(\mu - LIE)}{3\sigma}$$

- c) Índice Cps: compara variabilidade do processo com o LSE e pode ser calculado com a equação:

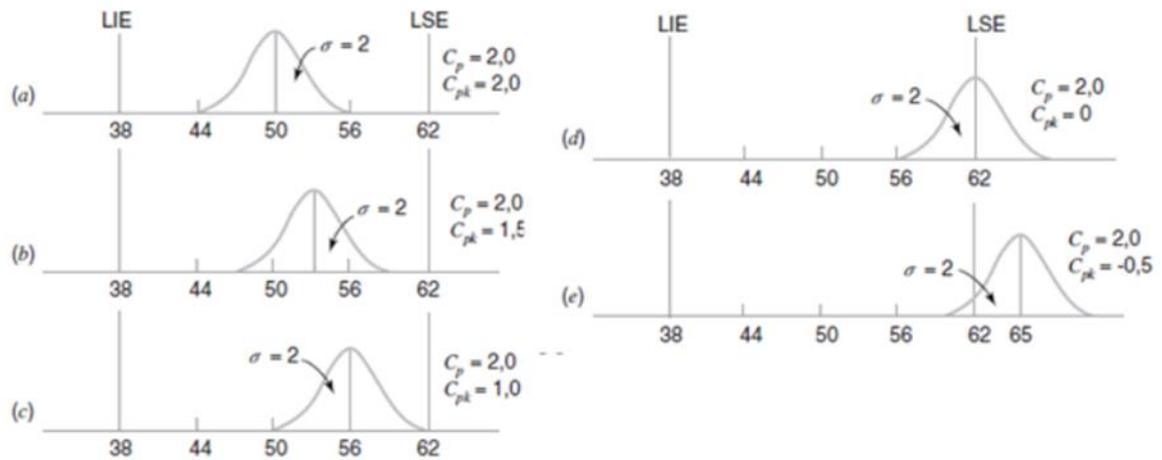
$$Cps = \frac{(LSE - \mu)}{3\sigma}$$

- d) Índice Cpk: este é um índice muito utilizado, com vasta aplicação na indústria e pode ser utilizado para medir a descentralização do processo em questão. Pode-se notar que o índice Cp, também conhecido como razão da capacidade de um processo não leva em conta onde a média do processo está localizada em relação aos limites LSE e LIE. Já o índice Cpk leva em consideração esta média para ser calculado através a equação:

$$Cpk = \min (Cps, Cpi)$$

É possível verificar que o Cpk nada mais é que o menor valor encontrado entre os índices Cpi e Cps. Na Figura 4 – podemos exemplificar a diferença entre o Cpk e o Cp.

Figura 4 – Diferenças entre CP e CPK



Fonte: Montgomery (2019)

O Pp e Ppk são índices que também são muito usados em controle de variações de processos podendo avaliar causas comuns e causas especiais de variação segundo a Automotive International Action Group (2005):

- e) Índice Pp: compara variabilidade global do processo com os ambos os limites de especificação (LSE e LIE) e pode ser calculado com a equação a seguir.

$$Pp = \frac{(LSE - LIE)}{6s}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

- f) Índice Ppk: O índice Ppk (variabilidade global) também é sensível a descentralizações e pode ser utilizado como alerta para identificar quando um processo está deslocado e próximo aos limites de especificação LIE e LSE.

O CEP desempenha um papel crucial na indústria de máquinas agrícolas, onde a precisão e a confiabilidade dos equipamentos são fundamentais para o desempenho eficiente das operações agrícolas (Vágó e Kemény, 2011). Isso ocorre por o CEP é uma metodologia que utiliza técnicas estatísticas para monitorar e controlar a qualidade do processo de fabricação, garantindo que os produtos atendam aos padrões de qualidade desejados (Silva *et al.*, 2020).

Na indústria de máquinas agrícolas, o CEP é aplicado em várias etapas do processo de fabricação, desde a seleção e preparação dos materiais até a montagem final do produto. Por exemplo, durante a usinagem de peças metálicas, o CEP pode

ser usado para monitorar a precisão das máquinas e garantir que as tolerâncias dimensionais estejam dentro das especificações. Da mesma forma, durante a montagem de componentes mecânicos, o CEP pode ser usado para verificar a conformidade das peças e garantir que não haja falhas de montagem (Paixão *et al.*, 2020).

Uma das principais vantagens do CEP na indústria de máquinas agrícolas é a capacidade de identificar problemas de qualidade de forma proativa e tomar medidas corretivas antes que os produtos defeituosos sejam produzidos em grande quantidade. Isso ajuda a evitar retrabalho, desperdício de materiais e, o mais importante, garante a segurança e a eficiência dos equipamentos agrícolas em campo (Zerbato *et al.*, 2017).

Além disso, o CEP também desempenha um papel importante na melhoria contínua dos processos de fabricação. Ao coletar e analisar dados ao longo do tempo, as empresas podem identificar tendências, padrões e causas raiz de problemas de qualidade recorrentes. Isso permite que façam ajustes nos processos, implementem melhorias e otimizem a qualidade e a eficiência dos produtos ao longo do tempo (Silva *et al.*, 2022).

O Controle Estatístico de Processo é uma ferramenta essencial na indústria de máquinas agrícolas, ajudando as empresas a garantir a qualidade, confiabilidade e segurança de seus produtos, além de impulsionar a melhoria contínua e a inovação nos processos de fabricação (Mohammed, 2022).

O trabalho de Silva *et al.* (2020) aborda a importância do Controle Estatístico de Qualidade, do inglês *Statistical Quality Control* (SQC), na agricultura, com foco nas operações mecanizadas. Ele destaca que a análise aprimorada, a eliminação de desperdícios e falhas, e melhorias na colheita mecanizada são essenciais para garantir os padrões de qualidade das operações mecanizadas. Em um contexto de unidades de produção, as operações mecanizadas devem ser realizadas da melhor maneira possível, visando não comprometer a continuidade do processo.

Segundo os mesmos autores, a agricultura moderna utiliza conceitos e técnicas de gestão que promovem um amplo campo de informações, permitindo aos produtores buscar melhores estratégias e aprimorar os processos agrícolas. O SQC tem sido amplamente utilizado no setor industrial para monitorar características desejáveis do produto e detectar falhas durante o processo de produção, reduzindo a variabilidade operacional.

Embora o SQC seja comumente aplicado no setor industrial, os autores afirmam que seu uso na agricultura, especialmente no contexto da Agricultura 4.0, ainda é incipiente. No entanto, há uma série de vantagens em sua aplicação na agricultura, como redução de custos, aumento da produtividade e maior competitividade no mercado.

A agricultura 4.0 representa a convergência de tecnologias digitais avançadas com práticas agrícolas tradicionais. A aplicação do Controle Estatístico de Processos (CEP) na agricultura moderna pode ser significativamente aprimorada pela integração com tecnologias emergentes como a Internet das Coisas (IoT), big data e inteligência artificial (IA).

A IoT permite a coleta contínua de dados através de sensores distribuídos em máquinas agrícolas, monitorando variáveis críticas em tempo real. Esses dados podem ser analisados por algoritmos de big data para identificar padrões e tendências que são imperceptíveis por métodos tradicionais (Kumar *et al.* 2024). Além disso, a inteligência artificial e o aprendizado de máquina oferecem capacidades preditivas e prescritivas, permitindo prever desvios no processo antes que ocorram e implementar ações corretivas automaticamente (Langer *et al.*, 2024).

Por exemplo, o uso de algoritmos de aprendizado de máquina em CEP pode detectar anomalias sutis nos dados de produção, sugerindo ajustes no processo de fabricação para evitar defeitos futuros (Krummenacher *et al.*, 2018). A automação e os sistemas de controle em tempo real, integrados com essas tecnologias, podem executar o CEP de maneira mais eficaz, melhorando a precisão e a resposta a variações do processo (Biegel *et al.*, 2022).

O SQC compreende sete ferramentas, incluindo CEP, Histograma, Diagrama de Pareto, Gráfico de Dispersão ou Correlação, Fluxograma, Planilha de Verificação e Diagrama de Causa e Efeito. Dentre essas ferramentas, o uso de gráficos de controle se destaca, sendo aplicado para monitorar a distribuição do objeto de análise e detectar causas de baixa qualidade operacional.

Os gráficos de controle são amplamente utilizados em pesquisas brasileiras relacionadas a processos agrícolas mecanizados. Eles monitoram processos e detectam possíveis causas de baixa qualidade operacional. Quando os limites de controle estão próximos às médias do processo, a variabilidade da operação é menor, enquanto pontos fora de controle indicam maior variabilidade e instabilidade, afetando a qualidade dos resultados e aumentando a incerteza (Silva *et al.*, 2020).

O SQC tem sido amplamente utilizado em diversas áreas da agricultura, principalmente em operações mecanizadas, como colheita mecanizada, agricultura de precisão, sensoriamento remoto, tecnologia de aplicação, entre outras. De acordo com os autores, a utilização dessas ferramentas de qualidade permite uma melhor compreensão das operações mecanizadas e contribui para a tomada de decisões eficaz e rápida, transformando dados em informações significativas.

Diversos trabalhos têm sido conduzidos ao longo dos últimos anos utilizando o controle estatístico de processos na agricultura. O trabalho de Paixão *et al.* (2020), por exemplo, abordou o monitoramento e controle das perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar, uma das atividades agrícolas mais importantes em termos econômicos. As operações de colheita mecanizada envolvem o corte, carregamento e transporte da cana-de-açúcar e representam cerca de 30% dos custos de produção agrícola. No entanto, essas operações podem resultar em perdas significativas, incluindo a presença de materiais estranhos no produto final e a quantidade de cana-de-açúcar deixada no campo após a colheita.

Para os autores, os principais fatores relacionados às perdas na colheita incluem variedade de cultura, práticas de manejo, preparo do solo, manutenção das colheitadeiras, habilidade dos operadores e tamanho da safra. Empresas do setor sucroenergético geralmente monitoram as perdas durante a colheita, mas nem sempre analisam e identificam as causas dessas perdas para propor medidas de redução, o que poderia ser feito por meio de ferramentas de controle estatístico de processo, como gráficos de controle de valores individuais e médias móveis, para identificar causas especiais de instabilidade e reduzir a variabilidade do processo, as quais têm se mostrado eficazes para quantificar e monitorar processos agrícolas mecanizados, contribuindo para melhorias na colheita da cana-de-açúcar.

Por meio de um estudo realizado em uma usina de cana-de-açúcar na região de Ribeirão Preto, SP, durante a safra de 2012/13, analisou-se as perdas em cinco frentes de colheita. Utilizando ferramentas de controle estatístico de processo e amostragens diárias, os pesquisadores determinaram os tipos e níveis de perdas em cada frente de colheita. Os resultados mostraram variação nas perdas ao longo da safra e entre as frentes de colheita, com as perdas de peças soltas e fixas sendo mais significativas do que outras, como tocos e fragmentos. O estudo ressalta a importância do controle estatístico de processo para monitorar e reduzir as perdas na colheita

mecanizada da cana-de-açúcar, oferecendo insights para melhorias contínuas nas práticas agrícolas (Paixão *et al.*,2020).

Outro exemplo é o trabalho de Zerbato *et al.* (2017), que abordou a avaliação da qualidade do plantio mecanizado de amendoim em diferentes tipos de solo, considerando sua influência nos resultados operacionais. Realizado em três locais distintos no estado de São Paulo, o experimento utilizou amostragem em trilhas para coletar dados em 80 locais de cada tipo de solo: areia, silte e argila. Por meio de estatísticas descritivas e controle estatístico de processo, os pesquisadores analisaram indicadores de qualidade como densidade de sementeira, espaçamento e número inicial de plantas.

Os resultados revelaram que o desempenho do plantio de amendoim variou significativamente de acordo com o tipo de solo. Em geral, o solo argiloso demonstrou oferecer as condições mais favoráveis, com melhor densidade de sementeira, espaçamento e número inicial de plantas em comparação com solos arenosos e siltosos. Além disso, a profundidade de sementeira também foi influenciada pela textura do solo, sendo mais profunda nos solos arenosos e argilosos em comparação com os solos siltosos.

A estabilidade e normalidade das distribuições das variáveis analisadas, conforme verificado pelo controle estatístico de processo, indicam consistência nos resultados operacionais do plantio mecanizado de amendoim em diferentes condições de solo e umidade. Essas descobertas forneceram insights importantes para aprimorar as práticas de plantio e otimizar a produção de amendoim, destacando a importância de considerar o tipo de solo ao planejar e executar operações agrícolas mecanizadas.

A pesquisa de Silva *et al.* (2022) teve como objetivo mapear e caracterizar a magnitude da variabilidade espacial do ruído produzido por uma retroescavadeira, utilizando geostatística e Controle Estatístico de Processo por meio de cartas individuais, a fim de identificar áreas de saúde para os trabalhadores. Desenvolvido no colégio técnico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, o experimento empregou uma retroescavadeira de 63 kW e um medidor de decibéis digital para coletar os níveis de ruído em pontos distribuídos em uma grade de amostragem regular de 2,0 x 2,0 m ao redor da máquina.

A dependência espacial do ruído foi analisada ajustando o semivariograma do tipo Onda, interpolação por krigagem ordinária e CEP. Foi possível caracterizar a

dependência espacial dos níveis de ruído produzidos pela retroescavadeira, além de realizar, por meio das cartas individuais em diálogo com a geostatística, o mapeamento de sua distribuição espacial para identificar áreas saudáveis para os trabalhadores.

Na avaliação do gráfico de controle da retroescavadeira, não foi observada redução na variabilidade dos dados de ruído, que foi aproximadamente de 73,29 dB(A) para os pontos amostrados. Isso demonstra uma média muito próxima da análise encontrada na execução da estatística descritiva do ruído gerado pela retroescavadeira. Este estudo destaca a importância de compreender e mapear a variabilidade espacial do ruído no ambiente de trabalho, visando à identificação de áreas mais seguras para os trabalhadores em suas atividades laborais.

O trabalho de Mohammed (2022) destaca a importância das cartas de controle como uma das principais ferramentas para análise e controle dos passos de um processo de cadeia produtiva. O foco da pesquisa está na versatilidade das cartas de controle não apenas na manufatura, mas também na tomada de medidas para manter a qualidade das safras com mais flexibilidade. Os procedimentos de qualidade em série temporal para safras que utilizaram o método de controle estatístico de processo (CEP) servem como um estudo de caso na carta de controle do tipo *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA).

Uma semana de 168 horas de dados de observação foi analisada com um intervalo de amostragem de uma hora. Essas medições foram investigadas em três modelos: Autoregressivo, em inglês *Autoregressive* (AR), Média Móvel, em inglês *Moving-Average* (MA) e Autoregressivo com Média Móvel, em inglês *Autoregressive-Moving-Average* (ARMA). Os resultados da plotagem do EWMA para os modelos AR, MA e ARMA incluíram oito pontos em que o processo estava fora de controle. Observou-se que uma ordem mais alta do modelo AR ou MA apresentava um menor número de pontos fora de controle.

Isso confirma a conclusão de que uma ordem mais alta do modelo ARMA significa um menor número de pontos fora de controle no processo. Esses resultados ressaltam a eficácia das cartas de controle, especialmente quando aplicadas a processos agrícolas, fornecendo insights valiosos para a melhoria da qualidade e controle dos resultados em safras.

O trabalho de Zasadzień e Midor (2018) abordou a necessidade premente de empresas modernas buscarem constantemente melhorias em seus processos,

especialmente no contexto competitivo do mercado atual. Nesse sentido, destaca-se a aplicação de ferramentas de engenharia de qualidade, como os gráficos de controle de Shewhart, como uma abordagem eficaz para aprimorar a eficiência operacional. Ao focar no processo de manutenção de uma pequena empresa que atua nos setores agrícola e de construção, o estudo busca reduzir o tempo de inatividade das esteiras transportadoras, um problema recorrente que afeta diretamente a produtividade.

A utilização dos gráficos de controle de Shewhart permitiu uma análise detalhada do processo de manutenção, identificando padrões de variação e interrupções que prejudicavam a operação das esteiras transportadoras. Além disso, a aplicação de ferramentas complementares, como os “5 Porquês”, foi fundamental para investigar as causas subjacentes dos períodos prolongados de inatividade, ajudando a equipe a entender melhor os problemas e desenvolver soluções eficazes.

Um aspecto crucial do estudo foi a implementação de melhorias e medidas preventivas com base nas descobertas das análises. Isso envolveu a formulação e aplicação de estratégias específicas destinadas a minimizar as interrupções no processo de manutenção e aumentar a eficiência geral. A verificação sistemática dessas ações revelou um impacto positivo, evidenciado pela redução do tempo de inatividade das esteiras transportadoras e pelo aprimoramento do processo de remoção de falhas.

Os resultados obtidos destacam a eficácia das ferramentas de engenharia de qualidade na otimização dos processos de manutenção, mesmo em empresas de pequeno porte. Essa abordagem demonstra como a aplicação de métodos analíticos e sistemáticos pode resultar em melhorias significativas na eficiência operacional e na satisfação do cliente. Portanto, o estudo enfatiza a importância de incorporar princípios de melhoria contínua em todas as áreas da gestão empresarial.

O estudo de Cosmo (2023) teve como objetivo caracterizar e explorar as aplicações do controle estatístico de qualidade na agropecuária. Realizado por meio de um levantamento bibliográfico qualitativo, o trabalho analisou uma variedade de fontes, incluindo livros, artigos e teses, buscando compreender como o controle estatístico pode ser empregado para melhorar a eficiência e a qualidade nas atividades agrícolas. Ao reunir e analisar essas informações, os pesquisadores esperam oferecer insights valiosos para o uso mais amplo dessa abordagem na agricultura.

A implementação do CEP na indústria de máquinas agrícolas enfrenta diversos desafios. Um dos principais é a resistência à mudança organizacional. Funcionários e gestores podem ser relutantes em adotar novos métodos e tecnologias devido à incerteza e à falta de familiaridade (Watson, 1971). A necessidade de treinamento especializado é outra barreira significativa, pois a eficácia do CEP depende da habilidade dos operadores em interpretar dados estatísticos e tomar decisões informadas (Montgomery, 2021).

Os custos associados à implementação do CEP, incluindo a aquisição de hardware e software necessários, podem ser proibitivos para pequenas e médias empresas (PMEs) (Rahman *et al.*, 2015). Além disso, a coleta de dados precisos e a manutenção dos sistemas de controle em ambientes agrícolas são desafiadores devido às condições variáveis e frequentemente adversas do campo (Durakovic e Basic, 2013).

O CEP é uma ferramenta fundamental para promover uma cultura de melhoria contínua nas organizações. Ao fornecer dados detalhados sobre o desempenho do processo, o CEP permite que as empresas identifiquem áreas para otimização e inovação contínuas (Shamsuzzaman *et al.* 2022). Empresas que utilizam CEP de maneira eficaz podem implementar mudanças baseadas em dados concretos, resultando em melhorias substanciais na qualidade e eficiência do processo (Javidan *et al.*, 2024).

Exemplos práticos incluem a utilização de dados de CEP para ajustar parâmetros de operação em tempo real, resultando em produtos de qualidade superior e menor desperdício (Younes *et al.*, 2024). Para garantir a sustentabilidade e a eficácia a longo prazo dos programas de CEP, as empresas devem adotar melhores práticas como a realização de auditorias regulares, atualização contínua dos sistemas de controle e treinamento contínuo dos funcionários (Islam *et al.*, 2024).

## 2.7 Fatores Críticos de Sucesso em uma implementação CEP

A implementação de CEP é muito complexa e para cada processo há uma maneira de aplicação específica. De acordo com Firka (2011), há três níveis de decisão e responsabilidade. São elas estatística, metodológico e gerencial.

No primeiro nível a estatística é assumido uma hipótese para a técnica utilizada, na metodologia agrupas as variáveis relacionadas a condução do experimento realizando a utilização dos dados fornecido pelo sistema de monitoramento para suportar uma intervenção nos processos. A gerencial tem um aspecto humano relacionada com comportamentos e compreensão dos processos de implementação pelos envolvidos (Montgomery, 2010).

Os Fatores críticos de sucesso (FCS), são avaliados nesse capítulo, pois estão diretamente ligados ao apoio adequado para a alta administração. Os fatores da dimensão gerencial têm uma conexão direta com o que a alta administração pode dispor para que ações gerenciais possam ser executadas e reflita no operacional com treinamentos, aquisição de novos equipamentos, treinamento em controle estatístico do processo sendo assim os facilitadores do processo.

Um ponto fundamental para a aplicação do CEP é a exigência de mudanças de âmbito organizacionais e comportamentais sendo de extrema importância o diálogo e a integração entre gestão e operadores visando a troca de informações e desenvolvimento simultâneo tendo em mente que devemos considerar fatores que transcendem os aspectos técnicos de implementação (Grigg; Walls, 2007).

Rungasamy *et al.* (2002) e Rohani; Mohd Rohani *et al.* (2018) Investigaram quais foram os principais fatores de sucesso na implementação do CEP:

- 1) Uso de um projeto Piloto;
- 2) Uso de facilitadores;
- 3) Trabalho em Equipe;
- 4) Avaliação do sistema de medição;
- 5) Definição da carta de controle adequada;
- 6) Mudança da cultura organizacional;
- 7) Escolha das características críticas do processo;
- 8) Engajamento da liderança;
- 9) Documentação e atualização do conhecimento dos processos;
- 10) Treinamento em CEP;

11) Definição dos processos a serem focados;

12) Uso de tecnologia (computadores e sistemas de informática);

Antony e Taner (2003) todavia listaram os principais problemas encontrado pelas organizações para implementação do CEP.

1) Falta de comprometimento e envolvimento da alta gestão;

2) Falta de treinamento em CEP;

3) Falha em analisar as cartas CEP e definir a ações corretamente;

4) Falha na definição das características críticas do produto;

5) Sistema de medição falho;

A implementação do CEP não se refere apenas a definição de gráficos de controle e análise se o processo está sob controle, é também a observação dos principais fatores de sucesso x os principais problemas a observação a todos esses fatores citados aumentam significativamente as chances na implantação do CEP.

Rungasamy *et al.* (2002) citam em seu estudo que 38% das empresas pesquisadas realizaram a implementação completa do CEP e 62% realizaram a implementação parcial, constatando que a dificuldade de implementação tem relação direta com a aplicação correta de ferramentas guiado pela observação dos fatores críticos de sucesso.

### **3 METODOLOGIA**

Neste capítulo, será apresentada a metodologia adotada para conduzir a pesquisa, incluindo o método de pesquisa utilizado, as etapas da pesquisa e da implementação do Controle Estatístico de Processos na linha de produção de máquinas agrícolas.

#### **3.1 Método de Pesquisa**

##### **3.1.1 Justificativa para a Escolha do Estudo de Caso**

O método de pesquisa escolhido para este estudo é o estudo de caso. Essa abordagem foi selecionada por várias razões. Primeiro, o estudo de caso permite uma análise aprofundada de um fenômeno dentro de seu contexto real, possibilitando a compreensão das interações complexas e dos processos envolvidos na aplicação do Controle Estatístico de Processos (CEP) na indústria de máquinas agrícolas. Segundo, o estudo de caso é particularmente útil quando se pretende explorar questões contemporâneas em profundidade e dentro de suas circunstâncias reais. Além disso, a abordagem de estudo de caso facilita a coleta de dados de múltiplas fontes, proporcionando uma visão mais completa e detalhada do fenômeno em estudo.

A principal vantagem da metodologia científica de estudo de caso é a facilidade de compreender os fenômenos na prática para poder gerar novas hipóteses sobre o fenômeno estudado. Um exemplo foi o uso inicial da carta de controle uma forma visual os limites de controle de engenharia podendo assim após da estabilização iniciar o estudo estatístico

##### **3.1.2 Pontos Fortes e Limitações do Estudo de Caso**

Os pontos fortes do estudo de caso incluem sua capacidade de proporcionar uma compreensão rica e contextualizada do fenômeno em questão, além de permitir a exploração de processos e relações complexas que outras metodologias podem não capturar. No entanto, essa abordagem também possui limitações. A generalização dos resultados para outros contextos pode ser restrita, e há o risco de subjetividade

na interpretação dos dados. Para mitigar essas limitações, foram adotadas várias estratégias, como a triangulação de dados e a utilização de múltiplas fontes de evidência.

### **3.2 Informações sobre a Indústria Estudada**

A pesquisa foi conduzida em parceria com uma empresa fabricante de máquinas agrícolas localizada no interior do estado de São Paulo. A empresa em questão é uma das líderes do setor, especializada na produção de colheitadeiras. Devido a um acordo de cooperação firmado entre o pesquisador e a empresa, o nome da empresa não será divulgado neste texto. A empresa possui uma linha de produção altamente automatizada e implementa práticas avançadas de manufatura, o que a torna um cenário ideal para a aplicação do CEP.

### **3.3 Etapas da Pesquisa**

A pesquisa foi dividida em cinco etapas distintas, cada uma contribuindo para alcançar os objetivos estabelecidos, incluindo:

- a) **Análise Detalhada do Processo:** Nesta etapa, foi realizada uma análise minuciosa da linha de produção de máquinas agrícolas na empresa participante do estudo. A análise incluiu a identificação dos diferentes subprocessos, variáveis envolvidas e pontos críticos que podem afetar a qualidade do produto final. Foram mapeadas todas as etapas do processo de fabricação, desde a entrada da matéria-prima até a saída do produto final, com foco especial nas variáveis críticas conhecidas como Funktions Masters (FM), que são medidas definidas previamente para controle dimensional.
- b) **Identificação de Variáveis Críticas:** Com base na análise do processo, foram identificadas as variáveis críticas que influenciam diretamente a qualidade das máquinas agrícolas produzidas. Essas variáveis estão relacionadas diretamente a construção das máquinas incluindo variáveis relacionadas principalmente as cotas conhecidas nesse estudo como Function Masters (FM) essas medidas definidas previamente para controle dimensional são impactadas pela matéria-prima que são os tipos de chapas de aço utilizados no processo de fabricação, dispositivos de processo e controle e ao processo

de pintura como dispositivos de elevação dos conjuntos, características que foram já observadas na análise preliminar da carta de controle dos LIE e LSE de engenharia.

- c) Implementação do CEP: Uma vez identificadas as variáveis críticas, analisou-se a implementação do Controle Estatístico de Processos na linha de produção. Isso envolveu a definição de limites de controle, a coleta regular de dados e a análise estatística para monitorar e controlar o processo de fabricação. A implementação do CEP incluiu a instalação de novas máquinas e dispositivos de medição para coletar dados em tempo real.
- d) Avaliação da Capacidade do Processo: Após a implementação do CEP, foi realizada uma avaliação da capacidade do processo para determinar se ele atendia aos requisitos de qualidade especificados. Isso incluiu a análise dos índices de capacidade do processo, como CP e CPK. A avaliação da capacidade do processo foi fundamental para garantir que o processo fosse capaz de produzir máquinas agrícolas dentro das tolerâncias estabelecidas.
- e) Proposição de Recomendações: Com base nos resultados da etapa anterior, foram desenvolvidas recomendações para otimizar o processo de fabricação e melhorar a qualidade das máquinas agrícolas produzidas na empresa participante do estudo. As recomendações foram baseadas em análises estatísticas e na observação direta dos processos.

### **3.4 Coleta de Dados**

Os dados foram coletados ao longo de um período de seis meses, abrangendo diferentes turnos de produção para garantir a representatividade dos dados. A coleta de dados foi realizada por uma equipe de engenheiros e analistas de qualidade da empresa, treinados especificamente para este projeto. Os dados incluíram medidas dimensionais, tempos de ciclo, e registros de defeitos. Para garantir a precisão e a confiabilidade dos dados, foram utilizadas técnicas de amostragem estatística.

As peças, subconjuntos e conjuntos foram trazidos pela logística para a área de medição conhecida como Laboratório da qualidade onde eram coletadas as informações pelos inspetores com as máquinas de medição tridimensional apresentadas na Figura 5.

Figura 5 – Medição feita na máquina tridimensional



Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.5 Técnicas Estatísticas Utilizadas

Para a interpretação dos dados coletados, foram utilizadas várias técnicas estatísticas, incluindo:

- a) Gráficos de Controle: Utilizados para monitorar a variabilidade do processo ao longo do tempo e identificar quaisquer desvios significativos.
- b) Índices de Capacidade do Processo (CP e CPK): Utilizados para avaliar a capacidade do processo de produzir dentro das especificações.

### 3.6 Considerações Éticas

Todas as etapas da pesquisa foram conduzidas de acordo com os mais altos padrões éticos, respeitando os princípios de integridade, confidencialidade e respeito pelos participantes da pesquisa. Foi obtida a autorização da empresa participante do estudo e a aprovação ética necessária antes de iniciar a coleta de dados. Além disso, todas as informações sensíveis foram tratadas com o máximo sigilo, e os resultados foram apresentados de maneira agregada para proteger a identidade da empresa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados da pesquisa realizada, conforme descrito na seção de metodologia. A investigação começou com a análise do processo de fabricação de máquinas agrícolas utilizado pela empresa em estudo, seguida pela identificação das variáveis críticas. Em seguida, detalha-se o processo de implementação do Controle Estatístico de Processo (CEP) e, por fim, é realizada a análise da capacidade do processo.

### 4.1 O processo de fabricação de máquinas agrícolas

Para uma análise detalhada do processo de fabricação de uma colheitadeira, é importante considerar as diversas etapas envolvidas, desde a seleção dos materiais até a montagem final do produto. Abaixo, é descrito as principais etapas do processo e as variáveis críticas associadas a cada uma delas, observadas na empresa participante do estudo:

- a) Projeto e Engenharia: nesta fase inicial, os engenheiros projetam a colheitadeira, considerando fatores como tamanho, capacidade de colheita, eficiência energética e durabilidade. Variáveis críticas incluem o design estrutural, o dimensionamento dos componentes, a seleção dos materiais e a integração de sistemas, como o motor, transmissão e sistemas hidráulicos.
- b) Aquisição de Materiais: nesta etapa, são adquiridos os materiais necessários para a fabricação da colheitadeira, como aço para estruturas, plásticos para painéis e cabines, componentes eletrônicos, sistemas de direção e pneus. Variáveis críticas incluem a qualidade dos materiais, a conformidade com as especificações técnicas, a disponibilidade de fornecedores confiáveis e os prazos de entrega.
- c) Fabricação de Componentes: os materiais adquiridos são processados e transformados em componentes individuais, como chassis, rodas, caixas de engrenagens, sistemas de corte e sistemas de colheita. Variáveis críticas incluem a precisão do processo de usinagem, soldagem e fundição, a integridade estrutural dos componentes e a conformidade com as tolerâncias dimensionais especificadas.

- d) Montagem Final: nesta etapa, os componentes fabricados são montados para formar a colheitadeira completa. Isso envolve a instalação de motores, sistemas de transmissão, sistemas hidráulicos, cabines de operador, controles eletrônicos e acessórios. Variáveis críticas incluem a precisão da montagem, a integração adequada dos sistemas, o funcionamento correto de todos os componentes e a conformidade com os padrões de segurança e regulamentações ambientais.
- e) Testes e Qualidade: após a montagem, a colheitadeira passa por testes rigorosos para garantir que todos os sistemas funcionem corretamente e atendam aos padrões de desempenho e qualidade. Isso inclui testes de funcionalidade, testes de resistência, testes de segurança e testes de emissões. Variáveis críticas incluem a precisão dos testes, a detecção de falhas ou defeitos, a conformidade com os padrões de qualidade e a satisfação do cliente.

#### 4.2 Identificação de variáveis críticas

Identificar as etapas críticas e as variáveis importantes em cada fase do processo de fabricação permite um melhor controle e monitoramento da qualidade, garantindo que a colheitadeira final atenda aos requisitos de desempenho, segurança e durabilidade. Um exemplo de colheitadeira é apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Colheitadeira John Deere S790



Fonte: Deere (2024)

As principais estruturas de uma colheitadeira estão apresentadas na Figura 7.

Figura 7 – Estruturas de uma colheitadeira

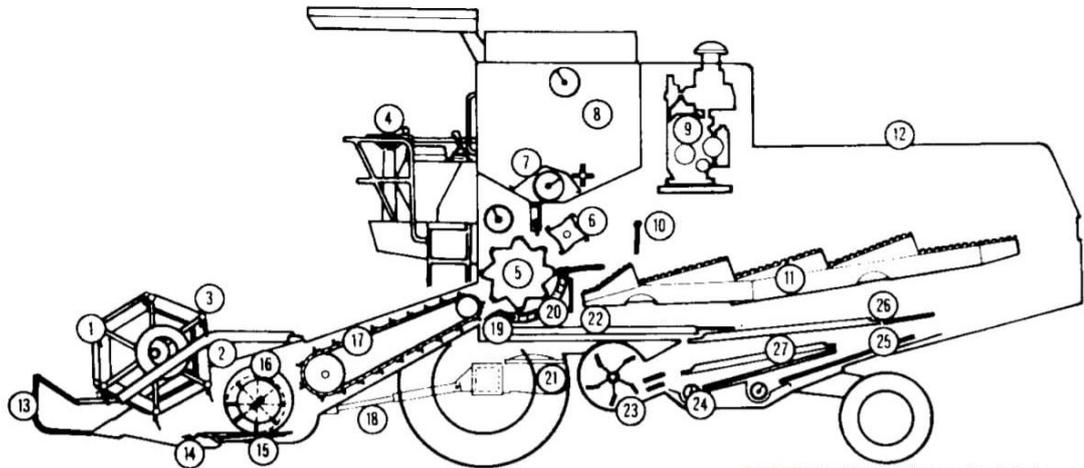


FIG. 14

Fonte: Centro Nacional de pesquisa de Soja

- |                                    |  |                                |
|------------------------------------|--|--------------------------------|
| 1. Molinete                        | 10. Lona de retenção do cereal                 | 19. Captador de pedras         |
| 2. Cilindro hidráulico do molinete | 11. Sacas-palhas                               | 20. Côncavo                    |
| 3. Variador hidráulico do molinete | 12. Capô traseiro                              | 21. Caixa de transmissão       |
| 4. Direção e comandos hidráulicos  | 13. Divisor                                    | 22. Bandeirão                  |
| 5. Cilindro de trilha              | 14. Navalha de corte                           | 23. Ventilador                 |
| 6. Batedor                         | 15. Plataforma de corte                        | 24. Elevador de grãos          |
| 7. Sem-fio do tanque graneleiro    | 16. Sem-fio da plataforma de corte             | 25. Caixa de peneiras          |
| 8. Tanque graneleiro               | 17. Esteira do alimentador do cilindro         | 26. Peneira superior regulável |
| 9. Motor                           | 18. Cilindro hidráulico da plataforma de corte | 27. Peneira inferior regulável |

Fonte: Embrapa (1998)

Conforme Balastreire (1987), a etapa de colheita representa o encerramento do ciclo produtivo no contexto agrícola. A colheitadeira emerge como um equipamento crucial para a continuidade operacional no campo, sendo sua eficácia e desempenho determinantes para o sucesso das atividades agrícolas. Todavia, a obtenção de resultados satisfatórios demanda um entendimento aprofundado dos mecanismos e processos que regem o funcionamento da colheitadeira. Este equipamento desempenha múltiplas funções, englobando a colheita, limpeza e armazenamento dos grãos no tanque graneleiro para posterior descarga em locais de armazenamento secundário apropriados (MOLIN, 2021).

Além disso, a colheitadeira se caracteriza pela capacidade de realizar o corte, alimentação, trilha, separação e deslocamento próprio, permitindo o processamento eficiente de um volume considerável de grãos. Essa versatilidade destaca a importância fundamental das colheitadeiras para a viabilidade econômica e operacional das atividades de plantio e colheita em áreas agrícolas, independentemente da cultura cultivada. Comumente empregada na colheita e debulha de diversas culturas de grãos, como milho, aveia, trigo e linhaça, a

colheitadeira é reconhecida por especialistas como o equipamento primordial para o êxito das operações de colheita, devido aos seus recursos inteligentemente projetados (MOLIN, 2021).

O processamento dos grãos em uma colheitadeira se inicia com o sistema de corte e alimentação, no qual a plataforma de corte transmite os grãos para o sistema de esteira da máquina. Esse dispositivo possibilita o transporte eficiente do material colhido para a próxima etapa de processamento, a despalha (CARVALHO, 2023).

Como citado anteriormente, a implementação da proposta deste estudo ocorreu no contexto fabril de uma montadora brasileira de máquinas agrícolas, proporcionando acesso às condições de infraestrutura e amostragem requeridas. As definições iniciais do estudo estatístico estão apresentadas na Figura 8.

Figura 8 – Definições Iniciais do estudo de CEP

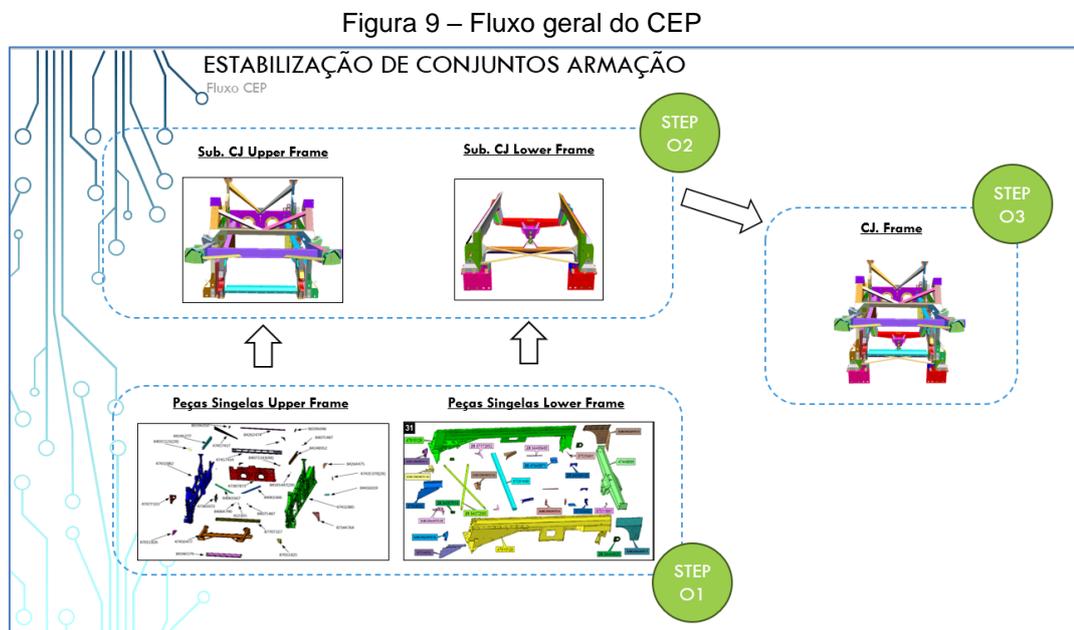


Fonte: Elaborado pelo autor

Após análise detalhada do histórico de falhas e realização de uma análise de causa raiz pelo time de Qualidade, Engenharia, Solda (armação), Corte & Dobra e Montagem, foram identificados os principais itens que compõem a máquina em uma perspectiva macro. Nesse contexto, observou-se que o conjunto "Lower" e "Upper" Framers ao longo do ano completo representou 43% dos defeitos, com uma contribuição significativa para falhas relacionadas a Peneiras, Eixo dianteiro e Rotores. Essa questão foi especialmente relevante, uma vez que a montagem entre o

"Upper" e "Lower" ocorria apenas na etapa final, onde já havia montagem de subcomponentes que adicionavam peso ao "Upper Frame", ocultava os problemas. Esse "ocultamento" era devido a quantidade de peso elevada dos componentes gerando uma tensão enorme ao montar o Lower e Upper framer o que provocava alternância de medidas.

Ao examinar a Figura 8, obtém-se um exemplo de visualização mais detalhada dos conjuntos e subconjuntos envolvidos agora na Figura 9 onde é apresentado um exemplo de desmembramento dos conjuntos em peças singelas e as definições dos passos seguidos nesse processo de estabilização.



Fonte: Elaborado pelo autor

Para ilustrar a metodologia proposta, utilizou-se a sequência numérica de 01 a 03 para representar de forma simplificada a composição dos subconjuntos Upper e Lower Frame que se pode nomear como o chassi superior (Upper framer) e chassi inferior (Lower framer) necessário para suportar os componentes que serão adicionados ao longo do processo, os quais juntos constituem a estrutura da colheitadeira.

Segundo Chandra *et al.* (2012), chassi é um esqueleto onde todos os principais sistemas mecânicos são acoplados. Por isso é considerado o componente mais solicitado na estrutura o que o define como um dos principais componentes, por dar resistência e estabilidade ao veículo quando solicitados por diferentes condições.

### 4.3 Implementação do CEP e análise da capacidade do processo

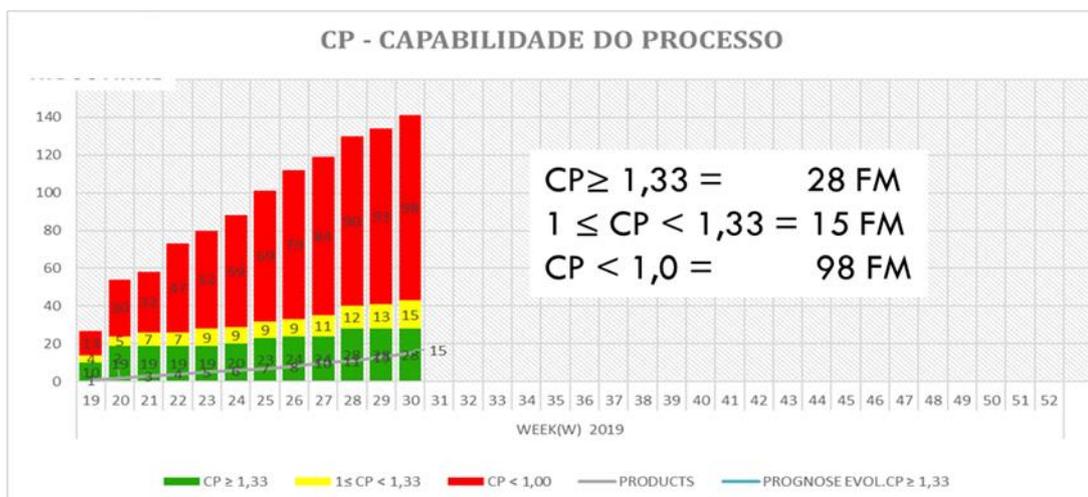
Ao iniciar o processo CEP devido às limitações de recursos de medição e à urgência de implementar ações específicas nos subconjuntos, o time optou por iniciar as atividades no passo 02 descrito na Figura 9.

O estudo teve início no departamento de Solda, onde foram estabelecidas cotas de controle, denominadas "funktion master" ou FM. Esses pontos foram criados com base na análise das cotas de desenho e validados como referências nas montagens dos subconjuntos, em colaboração entre as áreas de Engenharia, Montagem e Fabricação (solda). Após determinar o que, como, quando e onde iniciar o monitoramento, de acordo com os requisitos da norma ISO 9001:2015, as medições foram iniciadas para compreender o processo de fabricação e verificar sua eficácia e eficiência.

As definições estabelecidas pela norma ISO 9001:2015 incluem a identificação dos principais subconjuntos, o método de dimensionamento com um Laser Tracker de precisão de 15 microns, garantindo a análise da maioria das tolerâncias entre  $\pm 0,5$  e 5,0 mm, e a frequência inicial de análise de três conjuntos por semana. O processo teve início em 2019 com a medição dos principais subconjuntos, confirmando a inexistência de "Funktion Masters (FM)" com a repetibilidade mínima prevista.

O gráfico de capacidade do processo é apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Capacidade do processo



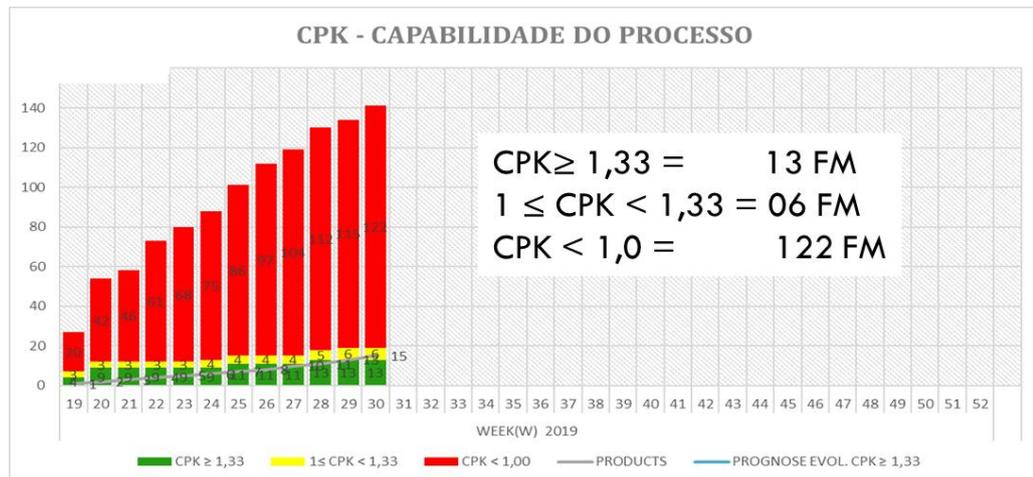
Fonte: Elaborado pelo autor

No gráfico de capacidade do processo temos os seguintes dados:

- $CP \geq 1,33$ : Representado em verde, indica processos que estão muito bem controlados. São 28 subconjuntos (FM - Família de Produtos) nessa categoria.
- $1 \leq CP < 1,33$ : Representado em amarelo, indica processos que são aceitáveis, mas que podem ser melhorados. São 15 subconjuntos nessa categoria.
- $CP < 1,0$ : Representado em vermelho, indica processos que não estão bem controlados e precisam de atenção. São 98 subconjuntos nessa categoria

O gráfico de capacidade do processo é apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Capabilidade do processo



Fonte: Elaborado pelo autor

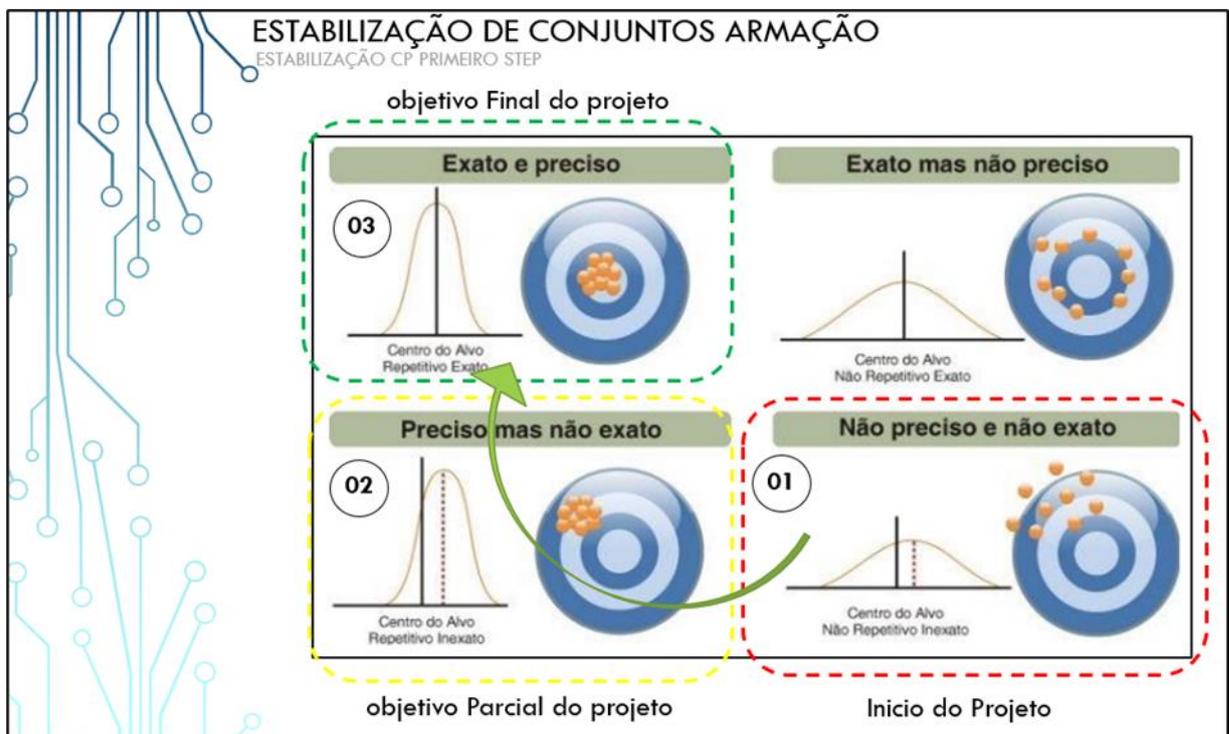
No gráfico capacidade do processo ajustada temos:

- $CPK \geq 1,33$ : Representado em verde, indica processos ajustados que estão muito bem controlados. São 13 subconjuntos nessa categoria.
- $1 \leq CPK < 1,33$ : Representado em amarelo, indica processos ajustados que são aceitáveis, mas que podem ser melhorados. São 6 subconjuntos nessa categoria.
- $CPK < 1,0$ : Representado em vermelho, indica processos ajustados que não estão bem controlados e precisam de atenção. São 122 subconjuntos nessa categoria.

De acordo com Juran e Gryna (1991), um processo aceitável deve ter  $CP \geq 1,0$ . Entretanto, um processo com  $3\sigma$  é potencialmente capaz. A ideia de estabilização do processo reside em repetir uma medida mesmo que fora da tolerância e, após alcançar a estabilidade deslocar essa medida para o centro da tolerância prevista pelo desenho.

Resumidamente, o controle será realizado inicialmente pelo CP (Step 02), seguido pela centralização do CPK (Step 03), conforme definido no capítulo de controle estatístico, conforme Figura 12, adaptada de Bernardes (2012).

Figura 12 – Fase de implementação



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a implementação do Controle Estatístico de Processo (CEP) no Step 02 de forma robusta e eficiente, resultando em um aumento na quantidade de FM de 27 para 140 entre os anos de 2019 á 2020 mantendo a estabilidade dimensional e os FM  $CP \geq 1,33$  em 36% mesmo com mais de 5 vezes a quantidade de FM descrito na Tabela 1, o aumento nas medições só foi exequível devido a compra da nova máquina tridimensional chamada Laser tracker e apresentada na Figura 13.

Figura 13 – Laser Tracker AT960-MR



Fonte: Hexagon (2024)

Portanto aumentou-se o número de FM (cotas) em até 5 vezes e manteve-se a estabilidade CP no mesmo nível o que foi impressionante mesmo para as previsões da equipe, que atribui essa grande melhoria a dois principais pontos:

1. Envolvimento constante da equipe de manutenção que anteriormente era pouco atuante.
2. Compra do novo equipamento de medição.

Tabela 1 – Evolução CEP (CP) – Geral

	ANO	
	2019	2020
CP $\geq$ 1,33	10	51
1 $\leq$ CP<1,33	4	19
CP<1,00	13	70
<b>TOTAL</b>	<b>27</b>	<b>140</b>
CONTROLE EVOLUÇÃO CP(%)		
CP $\geq$ 1,33	37%	36%
1 $\geq$ CP<1,33	15%	14%
CP<1,00	48%	50%

Fonte: Elaborado pelo autor

A evolução do CPK, mostrada na Tabela 2 foi um pouco mais tímida, mas de grande impacto no processo final do produto. Aqui a cooperação da manutenção se fez essencial, pois foi preciso não só manter a repetibilidade do dispositivo foi necessário corrigir para deslocar o FM para dentro da tolerância.

Tabela 2 – Evolução CEP (CPk) – Geral

	ANO	
	2019	2020
CPK $\geq$ 1,33	4	36
1 $\leq$ CP<1,33	3	31
CPK<1,00	20	73
<b>TOTAL</b>	<b>27</b>	<b>140</b>
CONTROLE EVOLUÇÃO CPK(%)		
CPK $\geq$ 1,33	15%	26%
1 $\leq$ CP<1,33	11%	22%
CPK<1,00	74%	52%

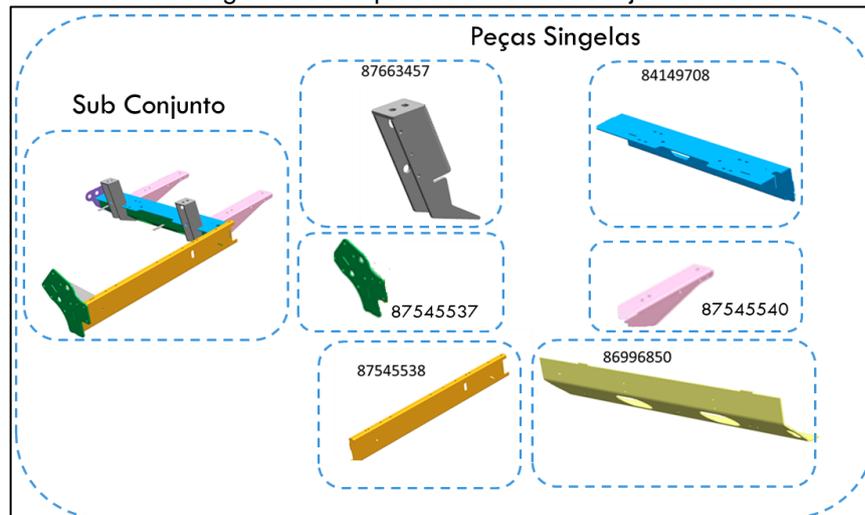
Fonte: Elaborado pelo autor

Posteriormente, foi reconhecido pelo time a necessidade de uma abordagem mais focada, optou-se por retornar ao Step 01 para os dois principais conjuntos identificados Lower e Upper Framer onde foram realizadas avaliações das principais peças individuais onde o foco foi as longarinas que apresentavam torções que variavam de -5,0 á +5,5mm alterando o comportamento do Lower Framer no dispositivo de solda.

Ao realizar esse desmembramento dos conjuntos obteve-se uma quantidade enorme de peças singelas para serem avaliadas observadas na Figura 9.

Um exemplo de explosão de um subconjunto é mostrado na Figura 14 apenas um subconjunto gera 06 peças singelas.

Figura 14 – Explosão de um subconjunto

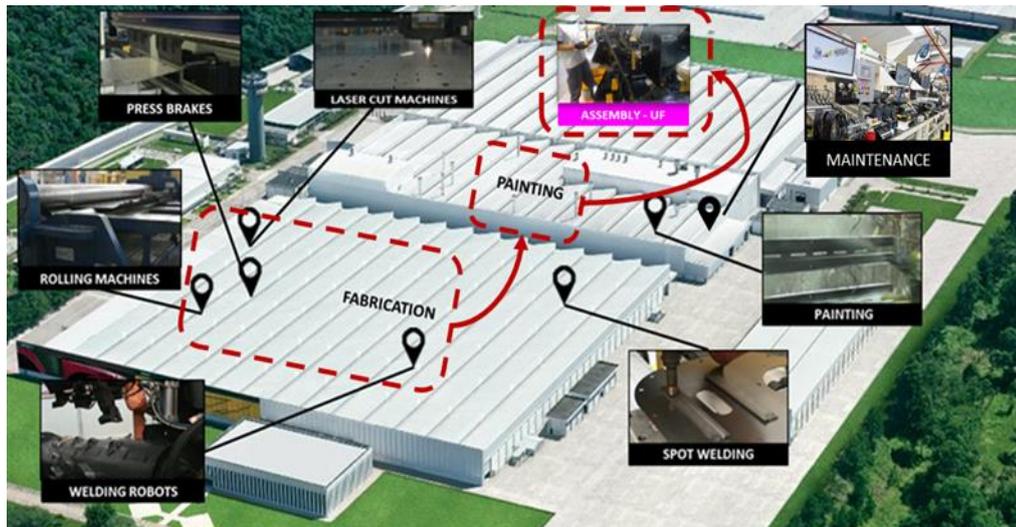


Fonte: Elaborado pelo autor

Ao reiniciar as medições no ano de 2021, foi observado em uma análise preliminar a necessidade de estender o nível de conhecimento do processo de fabricação em todas as etapas em que os subconjuntos receberiam adições estruturais, iniciando no recebimento da matéria-prima, seguido pela etapa de transformação do aço no setor de Corte e Dobra. As peças individuais resultantes desse processo são então encaminhadas para a solda, onde são unidas para formar os subconjuntos. Posteriormente, os subconjuntos são enviados para a etapa de Pintura, onde passam por processos de lavagem química e pintura.

Finalmente, os subconjuntos são encaminhados para a montagem final, onde são adicionados componentes como esteiras, motores, rotores, alimentadores, tanques de grãos, entre outros. Um fluxograma de produção é apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Empresa na qual foi realizado o estudo



Fonte: Elaborado pelo autor

O fluxo geral interno de montagem e análises é representado na Figura 16, onde as operações estão marcadas em verde e as medições em laranja.

Figura 16 – Fluxo interno da empresa

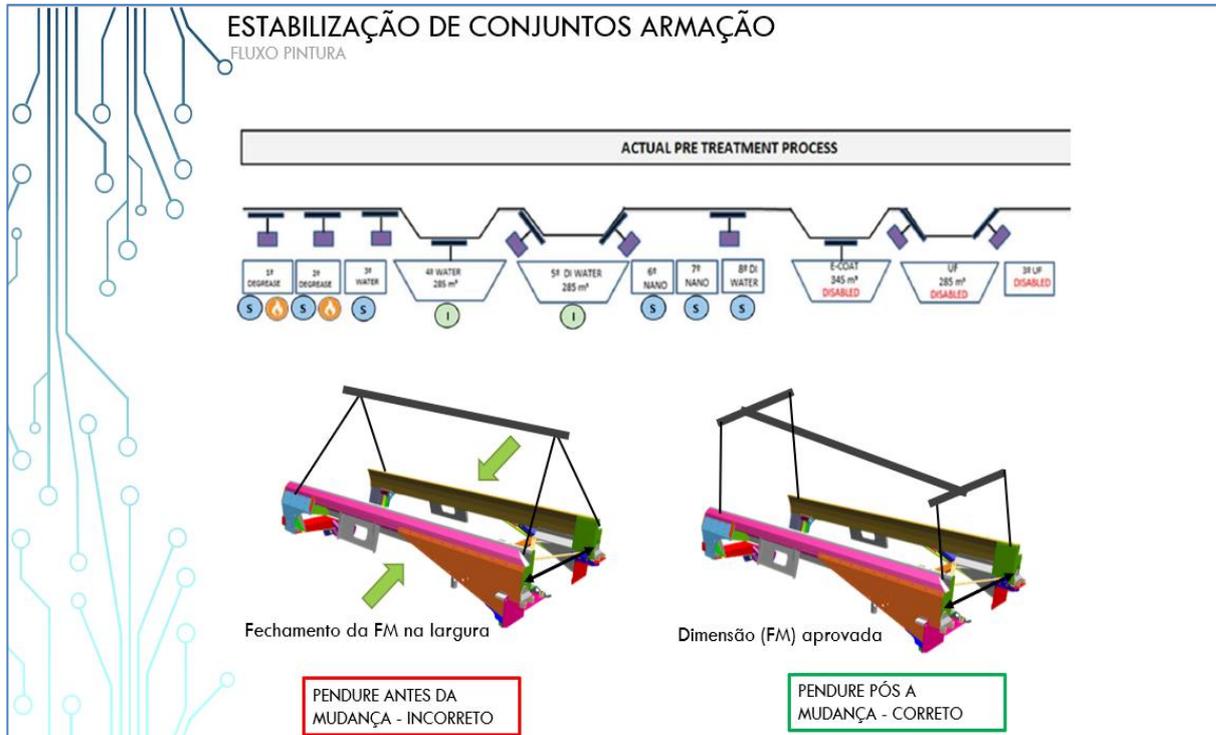


Fonte: Elaborado pelo autor

Nesse ponto o Time CEP, ao rever o fluxo acima, desvendou um dos principais problemas de variação estrutural em uma área pouco provável, a Pintura. Nessa área, com indicado na Figura 17, no processo de pendure, foi identificado o fechamento do lower framer devido ao peso do conjunto e a força de empuxo. Ao realizar a limpeza e o tratamento de superfície ocorria um fechamento da estrutura em que variava de

2,7 a 5,6 mm, o que contribuía com a dificuldade de ajuste entre Upper framer e Lower framer. Pode-se ver pela ilustração, que a modificação realizada da fixação das cintas que suportam o Lower Framer, passou a manter a medida dentro do especificado.

Figura 17 – Fluxo Pintura



Fonte: Elaborada pelo autor

Também em 2021, foi alterado a frequência de reuniões e estabelecido um grupo maior de inspetores, engenheiros e técnicos de qualidade envolvidos, conforme Figura 18, atendendo a uma determinação vinda da alta direção, após apresentado os resultados de 2020.

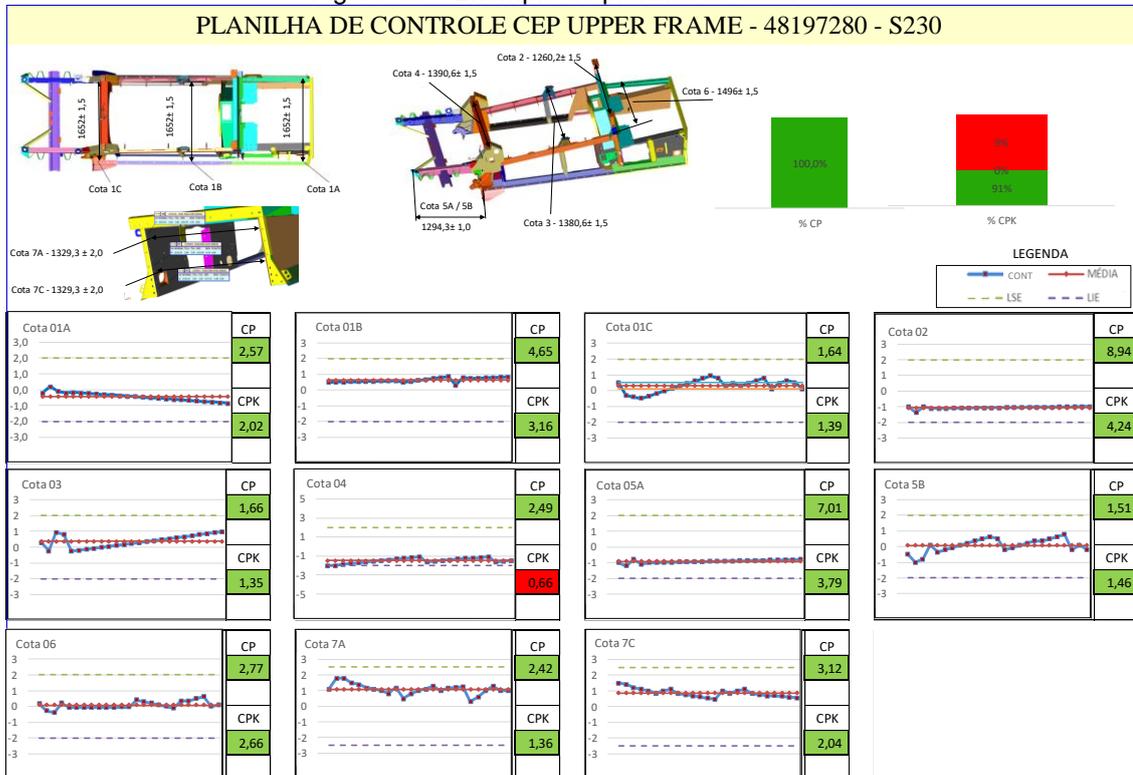
Figura 18 – Qualidade fabricação – TIME CEP



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 19, é apresentada a planilha de controle estatístico, na qual são monitorados os índices CP e CPK de cada Subconjunto individualmente, permitindo a visualização de cada "function master" (FM) definido para o controle do produto final.

Figura 19 – Exemplo de planilha de controle



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao finalizar todas as modificações nos processos de construção da máquina no Corte, dobra, solda, pintura e montagem final observou-se evoluções significativas entre os anos de 2021 e 2022, indicadas na Tabela 3 e na Tabela 4. Nelas é possível observar a evolução do LF e UF no CP 2022 com 100% dos FM dentro do especificado e 87% do CPK dentro do especificado.

Tabela 3 – Evolução CP – Lower Framer (LF) e Upper Framer (UF)

	ANO			
	2019	2020	2021	2022
<b>CP<math>\geq</math>1,33</b>	1	6	8	23
<b>1<math>\leq</math>CP&lt;1,33</b>	1	4	4	0
<b>CP&lt;1,00</b>	21	13	11	0
<b>TOTAL</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>
CONTROLE EVOLUÇÃO CP(%)				
CP $\geq$ 1,33	4%	26%	35%	100%
1 $\leq$ CP<1,33	4%	17%	17%	0%
CP<1,00	91%	57%	48%	0%

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 4 – Evolução CPK – Lower Framer (LF) e Upper Framer (UF)

	ANO			
	2019	2020	2021	2022
<b>CPK<math>\geq</math>1,33</b>	0	2	4	20
<b>1<math>\geq</math>CPK&lt;1,33</b>	0	5	5	0
<b>CPK&lt;1,00</b>	23	16	14	3
<b>TOTAL</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>
CONTROLE EVOLUÇÃO CPK(%)				
CPK $\geq$ 1,33	0%	9%	17%	87%
1 $\geq$ CPK<1,33	0%	22%	22%	0%
CPK<1,00	100%	70%	61%	13%

Fonte: Elaborada pelo autor

Ao finalizar o estudo na semana 35 de 2022 foi finalizado o estudo das FM dos conjuntos envolvidos no estudo (rotores, Suporte do motor, Self leveling, Adapters, Boom Innen 30m e Suporte Concavo, peneiras etc.). Ao final do estudo, os índices de CP haviam evoluído 52% de CP < 1 para 95% de FM indicado na Tabela 5. E com CPK evoluindo de 26% CPK < 1 para 82% indicado na Tabela 6.

Tabela 5 – Evolução CP – Geral

ANO				
	2019	2020	2021	2022
CP $\geq$ 1,33	10	51	61	81
1 $\geq$ CP<1,33	4	19	44	52
CP<1,00	13	70	35	7
<b>TOTAL</b>	<b>27</b>	<b>140</b>	<b>140</b>	<b>140</b>
CONTROLE EVOLUÇÃO CP(%)				
CP $\geq$ 1,33	37%	36%	44%	58%
1 $\geq$ CP<1,33	15%	14%	31%	37%
CP<1,00	48%	50%	25%	5%

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 6 – Evolução CPK – Geral

ANO				
	2019	2020	2021	2022
CPK $\geq$ 1,33	4	36	45	65
1 $\geq$ CPK<1,33	3	31	39	50
CPK<1,00	20	73	56	25
<b>TOTAL</b>	<b>27</b>	<b>140</b>	<b>140</b>	<b>140</b>
CONTROLE EVOLUÇÃO CPK(%)				
CPK $\geq$ 1,33	15%	26%	80%	46%
1 $\geq$ CPK<1,33	11%	22%	70%	36%
CPK<1,00	74%	52%	100%	18%

Fonte: Elaborada pelo autor

Durante a implementação do CEP, foram consultados diversos profissionais da área, incluindo engenheiros de produção, gerentes de qualidade e operadores de linha. O feedback recebido destacou os seguintes pontos:

- Aceitação e Participação:** Houve uma aceitação geral do CEP como ferramenta de melhoria, com operadores e supervisores relatando uma melhor compreensão das variações do processo e dos pontos críticos de controle. A participação ativa dos operadores na coleta de dados e no monitoramento das métricas foi crucial para o sucesso da implementação.
- Desafios Enfrentados:** Alguns operadores expressaram dificuldades iniciais em entender e aplicar os conceitos estatísticos do CEP. Houve resistência à mudança por parte de alguns setores da organização, especialmente onde os processos antigos estavam bem estabelecidos.

- c) Benefícios Observados: Melhor controle de qualidade e redução de rejeitos. O aumento da eficiência operacional devido à detecção precoce de desvios de processo é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Evolução do OEE

ANO	DISPONIBILIDADE	PERFORMANCE	QUALIDADE	OEE
2019	88%	85%	79%	59%
2020	88%	85%	80%	60%
2021	92%	90%	90%	75%
2022	95%	91%	91%	79%

Fonte: Elaborada pelo autor

Foram instalados sistemas automatizados de coleta de dados em pontos críticos da linha de produção para garantir precisão e eficiência. Os dados sobre variáveis críticas foram coletados continuamente e analisados em tempo real.

Ferramentas de software foram utilizadas para analisar os dados coletados e gerar gráficos de controle. Reuniões semanais de revisão foram realizadas para discutir os resultados e implementar ações corretivas quando necessário.

O CEP conseguiu identificar e reduzir variabilidades indesejadas no processo de fabricação, resultando em produtos mais consistentes e de alta qualidade. A aplicação do CEP fomentou uma cultura de melhoria contínua, com equipes constantemente buscando formas de otimizar os processos.

Inicialmente, houve resistência por parte dos operadores e gerentes, que estavam acostumados com os processos tradicionais. A análise de dados em tempo real exigiu investimentos significativos em tecnologia e treinamento.

A análise do impacto econômico das melhorias implementadas através do CEP revelou os seguintes pontos:

- a) Redução de Custos: A redução da variabilidade e a detecção precoce de desvios resultaram em menos produtos defeituosos, diminuindo os custos associados a retrabalho e desperdício. Houve uma diminuição significativa nos tempos de inatividade da linha de produção, aumentando a eficiência operacional.
- b) Aumento de Eficiência: O monitoramento contínuo e a análise de dados permitiram ajustes rápidos e precisos nos processos, otimizando o uso de recursos e melhorando a produtividade.

- c) Retorno sobre o Investimento (ROI): O investimento inicial em tecnologia e treinamento foi compensado pelo aumento da qualidade e eficiência, resultando em um ROI positivo. A melhoria da qualidade e a redução de custos contribuíram para uma maior competitividade no mercado, potencializando o crescimento da empresa.

A implementação do CEP na construção de máquinas agrícolas demonstrou ser uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade e eficiência dos processos de fabricação. A análise crítica dos resultados e o feedback dos profissionais da área destacam tanto os sucessos quanto os desafios enfrentados, enquanto a análise do impacto econômico sublinha os benefícios financeiros e operacionais. Com base nessas descobertas, recomenda-se a contínua aplicação e aprimoramento do CEP, integrando tecnologias emergentes para sustentar a competitividade e a inovação no setor.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi investigada a eficácia da aplicação do Controle Estatístico de Processos (CEP) na melhoria da qualidade do processo produtivo de construção estrutural de máquinas agrícolas, em uma empresa localizada no interior do Estado de São Paulo.

Uma das contribuições significativas desta aplicação foi a identificação das etapas críticas do processo de fabricação das máquinas agrícolas, especialmente no que diz respeito aos Subconjuntos Upper e Lower Frame. Por meio do CEP, foi possível realizar o monitoramento e o controle de forma mais eficaz a estabilidade dimensional desses conjuntos, o que resultou em uma redução significativa na variabilidade e no aumento da conformidade com as especificações de qualidade.

Além disso, a análise estatística dos dados coletados permitiu uma compreensão mais profunda das variáveis envolvidas no processo de fabricação. Isso possibilitou propor recomendações específicas para a melhoria contínua do processo produtivo, visando aumentar tanto a qualidade quanto a eficiência da produção. Entre essas recomendações, destacou-se a importância de envolver a área de manutenção no processo, garantindo assim a estabilidade dos dispositivos de soldagem e equipamentos ao longo do tempo.

Outro ponto relevante foi a visualização do fluxo geral interno de montagem e análises, o que permitiu identificar oportunidades de otimização e integração de atividades. Isso contribuiu para uma melhor sincronização entre as etapas de produção e medição, resultando em uma análise mais eficiente e precisa dos dados.

Para garantir a implementação contínua e eficaz do CEP, recomendou-se o desenvolvimento de protocolos detalhados que abrangem o treinamento prévio de funcionários, manutenção de equipamentos e procedimentos de auditorias regulares.

Para tanto é preciso estabelecer programas de treinamento regulares para capacitar os funcionários na utilização das ferramentas de CEP e na interpretação dos dados coletados. Este treinamento deve incluir tanto operadores de linha quanto gerentes e supervisores, onde ainda podemos citar que o treinamento é um dos principais FCS para o sucesso na implementação do CEP o engajamento da alta liderança, mudança da cultura, treinamentos e definição das principais características foram essenciais para o sucesso, e devem ser realizados antes da implementação do

CEP podendo assim evitar as dificuldades demonstradas no início deste estudo de caso.

Além disso deve-se desenvolver um plano de manutenção preventiva para assegurar que todos os equipamentos utilizados no processo de controle estejam em condições ótimas de funcionamento. A manutenção regular dos dispositivos de soldagem e equipamentos de medição é essencial para garantir a precisão dos dados coletados.

Implementar auditorias periódicas para verificar a conformidade com os protocolos estabelecidos e identificar áreas de melhoria. Estas auditorias devem incluir a revisão dos dados coletados, a avaliação dos índices de capacidade do processo ( $C_p$  e  $C_{pk}$ ) e a implementação de ações corretivas quando necessário.

Reconhecendo a necessidade de um entendimento mais abrangente dos impactos econômicos da implementação do CEP, sugerimos as seguintes direções para pesquisas futuras.

**Estudo de Custos e Benefícios:** Realizar uma análise detalhada dos custos e benefícios associados à implementação do CEP. Esta análise deve incluir uma avaliação do retorno sobre o investimento (ROI), considerando fatores como a redução de desperdícios, a diminuição de retrabalhos, e o aumento da eficiência produtiva. Um estudo econômico detalhado fornecerá uma justificativa robusta para a adoção das práticas recomendadas.

**Análise de Impacto a Longo Prazo:** Investigar os impactos a longo prazo da implementação do CEP na qualidade do produto e na eficiência operacional. Estudos de caso adicionais em diferentes contextos de fabricação agrícola podem oferecer insights valiosos para a adaptação e melhoria contínua das práticas de CEP.

Embora este estudo tenha demonstrado o potencial do CEP como uma ferramenta poderosa para aprimorar a qualidade e a eficiência dos processos de fabricação de máquinas agrícolas, reconhecemos algumas limitações:

**Generalização dos Resultados:** Os resultados obtidos são específicos para a empresa e os processos analisados. Portanto, a generalização para outras indústrias de máquinas agrícolas deve ser feita com cautela, considerando as particularidades de cada contexto.

**Dados Limitados:** A análise foi baseada em dados coletados em um período específico e pode não refletir todas as variações possíveis do processo de fabricação.

Estudos adicionais com períodos de coleta de dados mais extensos podem proporcionar uma visão mais abrangente.

**Implementação Inicial:** A fase inicial de implementação do CEP pode ter enfrentado desafios de adaptação e resistência à mudança. Futuras pesquisas devem considerar estudos longitudinais para avaliar a eficácia do CEP ao longo do tempo, conforme a empresa se adapta e otimiza suas práticas de controle.

Este estudo demonstrou que a aplicação do CEP pode significativamente melhorar a qualidade e a eficiência dos processos de fabricação de máquinas agrícolas. As recomendações práticas fornecidas, incluindo o desenvolvimento de protocolos detalhados e a análise dos custos e benefícios, visam facilitar a implementação contínua do CEP. Ao abordar as limitações e sugerir direções para pesquisas futuras, esperamos contribuir para a evolução contínua das práticas de controle de qualidade na indústria de máquinas agrícolas. Em última análise, a integração do CEP não só melhora a qualidade do produto, mas também aumenta a competitividade e a sustentabilidade das operações industriais.

## REFERÊNCIAS

AL-QUDAH, Sura K. A study of the AIAG measurement system analysis (MSA) method for quality control. **Journal of Management & Engineering Integration**, v. 10, n. 2, p. 68-80, 2017. Disponível em:

<https://www.proquest.com/openview/e917a8a77f590c472e82b90115529865/1?pq-origsite=gscholar&cbl=716332> . Acesso em: 08 maio 2024.

ANTONY, Jiju; TANER, Tolga. A conceptual framework for the effective implementation of statistical process control. **Business Process Management Journal**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 473-489, 1 ago. 2003. Emerald.

<http://dx.doi.org/10.1108/14637150310484526>.

BAIYEGUNHI, L. J. S. *et al.* Impact of outsourced agricultural extension program on smallholder farmers' net farm income in Msinga, KwaZulu-Natal, South Africa. **Technology In Society**, [S.L.], v. 57, p. 1-7, maio 2019. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.techsoc.2018.11.003. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub>. Acesso em: 08 maio 2024.

BALASTREIRE, Luiz Antônio. **Máquinas Agrícolas**. São Paulo: Manole LTDA, 1987.

BATISTA, Maria Larissa Bezerra *et al.* Análise fatorial e espacial da modernização agrícola no MATOPIBA. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [S.L.], v. 61, n. 3, p. 327-345, mar. 2023. FapUNIFESP (SciELO). DOI: [10.1590/1806-9479.2022.261413](https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.261413). Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/resr/a/34RnBZLjRFZVdCZHP4SBR4z/?lang=pt>. Acesso em: 08 maio 2024.

BAUDRON, Frédéric *et al.* Re-examining appropriate mechanization in Eastern and Southern Africa: two-wheel tractors, conservation agriculture, and private sector involvement. **Food Security**, [S.L.], v. 7, n. 4, p. 889-904, 27 jun. 2015. Springer Science and Business Media LLC. DOI: DOI: [10.1007/s12571-015-0476-3](https://doi.org/10.1007/s12571-015-0476-3).

Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12571-015-0476-3>. Acesso em: 08 maio 2024.

BELTON, Ben *et al.* The rapid rise of agricultural mechanization in Myanmar. **Food Policy**, [S.L.], v. 101, p. 102095, maio 2021. Elsevier BV. DOI:

[10.1016/j.foodpol.2021.102095](https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102095). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306919221000749?via%3Dihub>.

Acesso em: 08 maio 2024.

BIEGEL, Tobias *et al.* Deep learning for multivariate statistical in-process control in discrete manufacturing: a case study in a sheet metal forming process. **Procedia Cirp**, [S.L.], v. 107, p. 422-427, 2022. Elsevier BV. DOI:

[10.1016/j.procir.2022.05.002](https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.002). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827122002852?via%3Dihub> .

Acesso em: 08 maio 2024.

BOTTANI, Eleonora *et al.* Statistical process control of assembly lines in manufacturing. **Journal Of Industrial Information Integration**, [S.L.], v. 32, p. 100435, abr. 2023. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.jii.2023.100435](https://doi.org/10.1016/j.jii.2023.100435). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452414X23000080?via%3DiHub> . Acesso em: 08 maio 2024.

BULE, Lucílio Alexandre. **Análise dos fatores que condicionam a adoção de variedades melhoradas de sementes pelos produtores de arroz no distrito de Chongoene em Moçambique**. 2023. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/266156>. Acesso em: 15 junho 2024.

CAO, Ruyue *et al.* Global path conflict detection algorithm of multiple agricultural machinery cooperation based on topographic map and time window. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 208, p. 107773, maio 2023. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.compag.2023.107773](https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107773). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169923001618?via%3DiHub> . Acesso em: 08 maio 2024.

CAO, Ruyue *et al.* Task assignment of multiple agricultural machinery cooperation based on improved ant colony algorithm. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 182, p. 105993, mar. 2021. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.compag.2021.105993](https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.105993). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169921000119?via%3DiHub> . Acesso em: 08 maio 2024.

CARVALHO, Eduardo Cunha de. **Melhorias no projeto da caçamba de uma máquina colheitadeira de milho**. 2023. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecatrônica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/37540> . Acesso em: 29 fev. 2024.

CASAGRANDE, Diego José; TORKOMIAN, Ana Lúcia Vitale. A servitização e sua influência no processo de difusão das tecnologias de agricultura de precisão na produção canavieira. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 26683, 11 maio 2021. Cadernos de Ciência e Tecnologia. DOI: [10.35977/0104-1096.cct2021.v38.26683](https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2021.v38.26683). Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/26683> . Acesso em: 08 maio 2024.

CASALI, André Luis *et al.* Nível de capacitação e informação dos operadores de máquinas para a aplicação de agrotóxicos. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 45, n. 3, p. 425-431, 11 nov. 2014. FapUNIFESP (SciELO). DOI: [10.1590/0103-8478cr20121099](https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20121099). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/WzBXMz9NjpTvR3k3bLRZdq/?lang=pt> . Acesso em: 08 maio 2024.

CHANDRA, M. R., Sreenivasulu, S., Hussain, S. T., “Modeling and Structural Analysis of Heavy Vehicle Chassis Made of Polymeric Composite Material by Three Different Cross Sections”, **Journal of Mechanical and Production Trans Stellar**, 2012.

CHAYA, Wirawat *et al.* Adoption, Cost and Livelihood Impact of Machinery Services Used in Small-Scale Sugarcane Production in Thailand. **Sugar Tech**, [S.L.], v. 21, n. 4, p. 543-556, 6 ago. 2018. Springer Science and Business Media LLC. DOI: [10.1007/s12355-018-0651-x](https://doi.org/10.1007/s12355-018-0651-x). Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12355-018-0651-x> . Acesso em: 08 maio 2024.

CHE, Hongqian *et al.* Real-world emission characteristics and inventory of volatile organic compounds originating from construction and agricultural machinery. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 894, p. 164993, out. 2023. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2023.164993](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164993). Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969723036161> . Acesso em: 08 maio 2024.

CHEN, Guangnan. **Advances in Agricultural Machinery and Technologies**. Boca Raton: CRC Press, 2018. DOI: [10.1201/9781351132398](https://doi.org/10.1201/9781351132398). Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/9781351132398/advances-agricultural-machinery-technologies-guangnan-chen>. Acesso em: 08 maio 2024.

CHEN, Tao *et al.* Exploring the Role of Agricultural Services in Production Efficiency in Chinese Agriculture: a case of the socialized agricultural service system. **Land**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 347, 26 fev. 2022. MDPI AG. DOI: [10.3390/land11030347](https://doi.org/10.3390/land11030347). Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/3/347> . Acesso em: 08 maio 2024.

CHEN, Ying *et al.* Field-road classification for GNSS recordings of agricultural machinery using pixel-level visual features. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 210, p. 107937, jul. 2023. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.compag.2023.107937](https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107937). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169923003253?via%3Dihub> . Acesso em: 08 maio 2024.

CNI. 2021. **Confederação Nacional das Indústrias**. Portal da Indústria Brasileira. [Online] 14 de Novembro de 2021. <https://industriabrasileira.portaldaindustria.com.br/grafico/total/producao/#/industria-total>.

COBB, Barry R.. Intermittent sampling for statistical process control with the number of defectives. **Computers & Operations Research**, [S.L.], v. 161, p. 106423, jan. 2024. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.cor.2023.106423](https://doi.org/10.1016/j.cor.2023.106423). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305054823002873?via%3Dihub> . Acesso em: 08 maio 2024.

COSMO, Bruno Marcos Nunes. Ciências Exatas e da Terra: atualização de área - janeiro e fevereiro de 2023. **Ciências Exatas e da Terra: Atualização de Área - janeiro e fevereiro de 2023**, [S.L.], v. 5, n. 8, p. 327-345, 17 mar. 2023. Centro de Pesquisa. DOI: [10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/livros/](https://doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/livros/). Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/livros/ciencias-exatas-e-da-terra/ciencias-exatas-e-da-terra-jan-fev> . Acesso em: 08 maio 2024.

COSTA, Federica *et al.* Industry 4.0 digital technologies enhancing sustainability: applications and barriers from the agricultural industry in an emerging economy. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 408, p. 137208, jul. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137208>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623013665>. Acesso em: 08 maio 2024.

DEERE, John. **S790 Colheitadeiras**. 2024. Disponível em: <https://www.deere.com.br/pt/colheitadeiras/s%C3%A9rie-s/s790/> . Acesso em: 16 fev. 2024.

DEININGER, Klaus; JIN, Songqing. The potential of land rental markets in the process of economic development: evidence from china. **Journal Of Development Economics**, [S.L.], v. 78, n. 1, p. 241-270, out. 2005. Elsevier BV. DOI: <10.1016/j.jdeveco.2004.08.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304387805000404?via%3Dihub> . Acesso em: 08 maio 2024.

DROVNIKOV, A N; KALMYKOV, B Yu. On the development trends of the machine-tractor park of the agro-industrial complex of Russia. **Iop Conference Series: Materials Science and Engineering**, [S.L.], v. 632, n. 1, p. 012078, 1 out. 2019. IOP Publishing. DOI: <10.1088/1757-899x/632/1/012078>. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/632/1/012078> . Acesso em: 08 maio 2024.

DURAKOVIC, Benjamin; BASIC, Hazim. Continuous quality improvement in textile processing by statistical process control tools: A case study of medium-sized company. **Periodicals of Engineering and Natural Sciences**, v. 1, n. 1, 2013. Disponível em: <http://pen.ius.edu.ba/index.php/pen/article/view/15> . Acesso em: 08 maio 2024.

EMBRAPA. **Manual do produtor**: como evitar desperdícios nas colheitas de soja, do milho e do arroz. Como evitar desperdícios nas colheitas de soja, do milho e do arroz. 1998. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSO/16212/1/doc112.pdf>. Acesso em: 29 fev. 2024.

FARINA, Elizabeth M.M.Q.. Competitividade e coordenação de sistemas agroindustriais: um ensaio conceitual. **Gestão & Produção**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 147-161, dez. 1999. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <10.1590/s0104-530x1999000300002>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/vcdFLpGqzxtPLW45nWSTZVK/?lang=pt> . Acesso em: 08 maio 2024.

FIRKA, Daniel. Statistical, technical and sociological dimensions of design of experiments. **The Tqm Journal**, [S.L.], v. 23, n. 4, p. 435-445, 14 jun. 2011. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/17542731111139509>.

GAO, Ding *et al.* Assessing carbon emission reduction benefits of the electrification transition of agricultural machinery for sustainable development: a case study in china. **Sustainable Energy Technologies And Assessments**, [S.L.], v. 63, p. 103634, mar. 2024. Elsevier BV. DOI: <10.1016/j.seta.2024.103634>. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213138824000304> . Acesso em: 08 maio 2024.

GUPTA, Munish *et al.* Challenging Cases in Statistical Process Control for Quality Improvement in Neonatal Intensive Care. **Clinics In Perinatology**, [S.L.], v. 50, n. 2, p. 321-341, jun. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clp.2023.02.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0095510823000271>. Acesso em: 08 maio 2024.

HANSEN, Henrik Hviid *et al.* Statistical process control versus deep learning for power plant condition monitoring. **Computers & Chemical Engineering**, [S.L.], v. 178, p. 108391, out. 2023. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.compchemeng.2023.108391](https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2023.108391). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098135423002612?via%3Dihub> . Acesso em: 08 maio 2024.

HE, Jie *et al.* Path tracking control method and performance test based on agricultural machinery pose correction. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 200, p. 107185, set. 2022. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.compag.2022.107185](https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107185). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169922005026?via%3Dihub> . Acesso em: 08 maio 2024.

HETTWER, Henrique Rudolfo. Controversa evolução da indústria brasileira de máquinas agrícolas de 1920 a 2020. **Caminhos da História**, [S.L.], v. 27, n. 1, p. 145-167, 3 jan. 2022. Universidade Estadual de Montes Claros (UNIIMONTES). DOI: [10.46551/issn.2317-0875v27n1p.145-167](https://doi.org/10.46551/issn.2317-0875v27n1p.145-167). Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/caminhosdahistoria/article/view/4851> . Acesso em: 08 maio 2024.

HEXAGON. Leica Absolute Tracker AT960: Laser tracker portátil ultracompacto, para medições de grandes volumes. Disponível em: <https://hexagon.com/pt/products/leica-absolute-tracker-at960>. Acesso em: 19 maio 2024.

HINNOU, Léonard Cossi *et al.* Understanding the mechanisms of access and management of agricultural machinery in Benin. **Scientific African**, [S.L.], v. 15, p. 01121, mar. 2022. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.sciaf.2022.e01121](https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01121). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227622000308>. Acesso em: 08 maio 2024.

ISLAM, Sumaiya *et al.* Detection and segmentation of lettuce seedlings from seedling-growing tray imagery using an improved mask R-CNN method. **Smart Agricultural Technology**, [S.L.], v. 8, p. 100455, ago. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atech.2024.100455>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772375524000601> . Acesso em: 15 junho 2024.

IZMAYLOV, A. Y.U *et al.* Modern agriculture technologies and equipment - trends of an AGRITECHNIKA 2019 exhibition. **Traktory I Sel Hozmashiny**, [S.L.], v. 87, n. 6, p. 28-40, 15 dez. 2020. ECO-Vector LLC. DOI: [10.31992/0321-4443-2020-6-28-40](https://doi.org/10.31992/0321-4443-2020-6-28-40). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227622000308?via%3Dihub> . Acesso em: 08 maio 2024.

JAVIDAN, Seyed Mohamad *et al.* Feature engineering to identify plant diseases using image processing and artificial intelligence: a comprehensive review. **Smart Agricultural Technology**, [S.L.], v. 8, p. 100480, ago. 2024. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.atech.2024.100480>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772375524000856>. Acesso em: 08 maio 2024.

JEYAKUMAR, R. *et al.* Development and conception of versatile agricultural machine. **Materials Today: Proceedings**, [S.L.], v. 37, p. 2582-2586, 2021. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.matpr.2020.08.502](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.502). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785320363847?via%3Dihub> . Acesso em: 08 maio 2024.

Jl, Yueqing *et al.* Machinery investment decision and off-farm employment in rural China. **China Economic Review**, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 71-80, mar. 2012. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.chieco.2011.08.001](https://doi.org/10.1016/j.chieco.2011.08.001). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1043951X11000812?via%3Dihub> . Acesso em: 08 maio 2024.

JIANG, Wuhua *et al.* Obstacle detection and tracking for intelligent agricultural machinery. **Computers And Electrical Engineering**, [S.L.], v. 108, p. 108670, maio 2023. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.compeleceng.2023.108670](https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2023.108670). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045790623000940?via%3Dihub> . Acesso em: 08 maio 2024.

JUSTICE, Scott; BIGGS, Stephen. The spread of smaller engines and markets in machinery services in rural areas of South Asia. **Journal Of Rural Studies**, [S.L.], v. 73, p. 10-20, jan. 2020. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.jrurstud.2019.11.013](https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.11.013). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0743016717310446?via%3Dihub> . Acesso em: 08 maio 2024.

KIM, Byung-Chul. The ICT convergence agriculture automated machines designed for smart agriculture. **Journal Of Digital Convergence**, Pequin, v. 140, n. 20, p. 140-147, 28 fev. 2016. 한국디지털정책학회. DOI: [10.14400/JDC.2016.14.2.141](https://doi.org/10.14400/JDC.2016.14.2.141).

Disponível em: <http://koreascience.or.kr/article/JAKO201609562998485.page>  
Acesso em: 08 maio 2024.

KOLLING, Camila *et al.* A conceptual model to support sustainable Product-Service System implementation in the Brazilian agricultural machinery industry. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 355, p. 131733, jun. 2022. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.jclepro.2022.131733](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131733). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652622013464?via%3Dihub> . Acesso em: 08 maio 2024.

KRUMMENACHER, Gabriel *et al.* Wheel Defect Detection With Machine Learning. **Ieee Transactions On Intelligent Transportation Systems**, [S.L.], v. 19, n. 4, p. 1176-1187, abr. 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tits.2017.2720721>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8006280>. Acesso em: 08 maio 2024.

KUMAR, Vijendra *et al.* A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies. **Smart Agricultural Technology**, [S.L.], v. 8, p. 100487, ago. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atech.2024.100487>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772375524000923>. Acesso em: 08 maio 2024.

KUNG, James Kai-Sing. Off-Farm Labor Markets and the Emergence of Land Rental Markets in Rural China. **Journal Of Comparative Economics**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 395-414, jun. 2002. Elsevier BV. DOI: [10.1006/jcec.2002.1780](https://doi.org/10.1006/jcec.2002.1780). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147596702917804?via%3Dihub>. Acesso em: 08 maio 2024.

KUSHNARIOV, L. I. To rise the exploitation efficiency of machine and tractor fleet of agricultural enterprises. **Traktory I Sel Hozmashiny**, [S.L.], v. 80, n. 5, p. 3-4, 15 maio 2013. ECO-Vector LLC. DOI: [10.17816/0321-4443-65798](https://doi.org/10.17816/0321-4443-65798). Disponível em: <https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/65798>. Acesso em: 08 maio 2024.

LANGER, Greta *et al.* From intentions to adoption: investigating the attitudinal and emotional factors that drive IoT sensor use among dairy farmers. **Smart Agricultural Technology**, [S.L.], v. 7, p. 100404, mar. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atech.2024.100404>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772375524000091>. Acesso em: 08 maio 2024.

LI, Rui *et al.* The land rental of Chinese rural households and its welfare effects. **China Economic Review**, [S.L.], v. 54, p. 204-217, abr. 2019. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.chieco.2018.11.004](https://doi.org/10.1016/j.chieco.2018.11.004). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1043951X18301652?via%3Dihub>. Acesso em: 08 maio 2024.

LIMA, José Rodolfo Tenório; RUMIN, Cassiano Ricardo. Menos acidentes, mais mortes. A mecanização agrícola nos canaviais brasileiros e seus reflexos sobre os trabalhadores, no período de 2012 a 2020. **Saúde e Sociedade**, [S.L.], v. 32, n. 4, p. 327-345, 2023. FapUNIFESP (SciELO). DOI: [10.1590/s0104-12902023230603pt](https://doi.org/10.1590/s0104-12902023230603pt). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sausoc/a/PqkchWwZ7kdGxBWGnhtFHxd/?lang=pt>. Acesso em: 08 maio 2024.

LIN, Xingyu *et al.* Agricultural machinery with tracking and navigation function. **Proceedings Of The 2022 4Th International Conference On Robotics, Intelligent Control And Artificial Intelligence**, [S.L.], v. 5, n. 8, p. 327-345, 16 dez. 2022. ACM. DOI: [10.1145/3584376.3584468](https://doi.org/10.1145/3584376.3584468). Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3584376.3584468>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub> Acesso em: 08 maio 2024.

LIPTON, Michael. Migration from rural areas of poor countries: the impact on rural productivity and income distribution. **World Development**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 1-24, jan. 1980. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0305-750x\(80\)90047-9](http://dx.doi.org/10.1016/0305-750x(80)90047-9). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0305750X80900479>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub> Acesso em: 15 junho 2024.

LIU, Yan *et al.* Do agricultural machinery services promote village farmland rental markets? Theory and evidence from a case study in the North China plain. **Land Use Policy**, [S.L.], v. 122, p. 106388, nov. 2022. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.landusepol.2022.106388](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106388). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026483772200415X?via%3Dihub> . Acesso em: 08 maio 2024.

LIU, Yang *et al.* Location selection of agricultural Machinery sheds for improved scheduling and efficiency under sustainability goals. **Ecological Indicators**, [S.L.], v. 155, p. 110986, nov. 2023. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.ecolind.2023.110986](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110986). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X23011287?via%3Dihub>. Acesso em: 08 maio 2024.

MA, Wenqiu *et al.* The role of agricultural machinery in improving green grain productivity in China: towards trans-regional operation and low-carbon practices. **Heliyon**, [S.L.], v. 9, n. 10, p. 20279, out. 2023. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.heliyon.2023.e20279](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20279). Disponível em: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)07487-X?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS240584402307487X%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)07487-X?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS240584402307487X%3Fshowall%3Dtrue) .<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub> Acesso em: 08 maio 2024.

MA, Wenqiu *et al.* The role of agricultural machinery in improving green grain productivity in China: towards trans-regional operation and low-carbon practices. **Heliyon**, [S.L.], v. 9, n. 10, p. 20279, out. 2023. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.heliyon.2023.e20279](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20279). Disponível em: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)07487-X?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS240584402307487X%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)07487-X?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS240584402307487X%3Fshowall%3Dtrue) .<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub> Acesso em: 08 maio 2024.

MALYKHA, E.F. *et al.* Formation of a System for the Disposal of Agricultural Machinery in the Agro-Industrial Transport Complex. **Transportation Research Procedia**, [S.L.], v. 68, p. 870-875, 2023. Elsevier BV. DOI:

[10.1016/j.trpro.2023.02.123](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.123). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146523001254?via%3Dihub>.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub> Acesso em: 08 maio 2024.

MAZZUCHETTI, Roselis Natalina; OPAZO, Miguel Angel Uribe; GIMENES, Regio Marcio Toesca. Aplicação do programa Seis Sigma em uma indústria de abate de frangos. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 32, n. 2, p. 119-127, 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3032/303226526008.pdf>. Acesso em: 08 maio 2024.

MICHELS, Marius *et al.* Understanding farmers' intention to buy alternative fuel tractors in German agriculture applying the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology. **Technological Forecasting And Social Change**, [S.L.], v. 203, p. 123360, jun. 2024. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.techfore.2024.123360](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123360). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162524001562?via%3Dihub>.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub> Acesso em: 08 maio 2024.

MILAN, Marcos; FERNANDES, Ricardo Alves Thomaz. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. **Scientia Agricola**, [S.L.], v. 59, n. 2, p. 261-266, jun. 2002. FapUNIFESP (SciELO). DOI: [10.1590/s0103-90162002000200009](https://doi.org/10.1590/s0103-90162002000200009). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162524001562?via%3Dihub>.

Acesso em: 08 maio 2024.

MOHD ROHANI, Jafri; MOHD. YUSOF, Shaâ€™ri; MOHAMAD, Ismail. The Development Of A Survey Instrument For Measuring A Relationship Between Statistical Process Control Success Factors And Performance. **Jurnal Mekanikal**, [S.L.], v. 30, n. 1, 2018. Disponível em:

<https://jurnalmekanikal.utm.my/index.php/jurnalmekanikal/article/view/106>. Acesso

em: 26 aug. 2024.

MOLIN. J. Colhedora de grãos. Edisciplinas. USP, 2021. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4453313/mod\\_resource/content/1/Colhedora\\_s%20de%20gr%C3%A3os.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4453313/mod_resource/content/1/Colhedora_s%20de%20gr%C3%A3os.pdf)>. Acesso em: 05 de mar. de 2024.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introduction to statistical quality control**. John Wiley & sons, 2019.

MONTGOMERY, Douglas C.. A modern framework for achieving enterprise excellence. **International Journal Of Lean Six Sigma**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 56-65, 26 mar. 2010. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/20401461011033167>.

MOREIRA, Bruno Rafael de Almeida *et al.* Advancements in peanut mechanization: implications for sustainable agriculture. **Agricultural Systems**, [S.L.], v. 215, p. 103868, mar. 2024. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.agsy.2024.103868](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.103868). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X24000180?via%3Dihub>

[hub](#).

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Di>  
[hub](#) Acesso em: 08 maio 2024.

MOTTALEB, Khondoker A. *et al.* Enhancing Smallholder Access to Agricultural Machinery Services: lessons from bangladesh. **The Journal Of Development Studies**, [S.L.], v. 53, n. 9, p. 1502-1517, 28 nov. 2016. Informa UK Limited. DOI: [10.1080/00220388.2016.1257116](https://doi.org/10.1080/00220388.2016.1257116). Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00220388.2016.1257116>.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Di>  
[hub](#) Acesso em: 08 maio 2024.

NICOLI, Bruna Margon. **Plicação do ciclo PDCA na gestão de estoque para promover a melhoria contínua na agricultura familiar: um estudo de caso**. 2023. 28 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração, Colatina, Colatina, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/4085?show=full> . Acesso em: 16 fev. 2024.

NOVASKI, Olívio. **Introdução à engenharia de fabricação mecânica**. Editora Blucher, 2021.

OTSUKA, Keijiro. Food insecurity, income inequality, and the changing comparative advantage in world agriculture. **Agricultural Economics**, [S.L.], v. 44, n. 1, p. 7-18, jul. 2013. Wiley. DOI: [10.1111/agec.12046](https://doi.org/10.1111/agec.12046). Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/agec.12046>.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Di>  
[hub](#) Acesso em: 08 maio 2024.

PHROMJAN, Juthanee; SUVANJUMRAT, Chakrit. Non-pneumatic tire with curved isolated spokes for agricultural machinery in agricultural fields: empirical and numerical study. **Heliyon**, [S.L.], v. 9, n. 8, p. 18984, ago. 2023. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.heliyon.2023.e18984](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18984). Disponível em: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)06192-3?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023061923%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)06192-3?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023061923%3Fshowall%3Dtrue). Acesso em: 08 maio 2024.

PRAKASH, Chander *et al.* Advancements in smart farming: a comprehensive review of iot, wireless communication, sensors, and hardware for agricultural automation. **Sensors And Actuators A: Physical**, [S.L.], v. 362, p. 114605, nov. 2023. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.sna.2023.114605](https://doi.org/10.1016/j.sna.2023.114605). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924424723004545?via%3Di>  
[hub](#).  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Di>  
[hub](#) Acesso em: 08 maio 2024.

PUTHENVEETIL, Nithin Raj; SAPPATI, Praveen Kumar. A review of smart contract adoption in agriculture and food industry. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 223, p. 109061, ago. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2024.109061>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169924004526>.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3DiHub> Acesso em: 08 maio 2024.

QAYYUM, Muhammad *et al.* Advancements in technology and innovation for sustainable agriculture: understanding and mitigating greenhouse gas emissions from agricultural soils. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 347, p. 119147, dez. 2023. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.jenvman.2023.119147](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119147). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479723019357?via%3DiHub> . Acesso em: 08 maio 2024.

QIAN, Long *et al.* Household-owned farm machinery vs. outsourced machinery services: the impact of agricultural mechanization on the land leasing behavior of relatively large-scale farmers in china. **Land Use Policy**, [S.L.], v. 115, p. 106008, abr. 2022. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.landusepol.2022.106008](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106008). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837722000357?via%3DiHub> . Acesso em: 08 maio 2024.

QIAO, Fangbin *et al.* The Impact of Agricultural Service on Grain Production in China. **Sustainability**, [S.L.], v. 12, n. 15, p. 6249, 3 ago. 2020. MDPI AG. DOI: [10.3390/su12156249](https://doi.org/10.3390/su12156249). Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/15/6249>. Acesso em: 08 maio 2024.

QING, Yi *et al.* Mechanization services, farm productivity and institutional innovation in China. **China Agricultural Economic Review**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 536-554, 13 jun. 2019. Emerald. DOI: [10.1108/caer-12-2018-0244](https://doi.org/10.1108/caer-12-2018-0244). Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/15/6249>. Acesso em: 08 maio 2024.

QIU, Bianbian *et al.* Ergonomic researches in agricultural machinery- a systematic review using the PRISMA method. **International Journal Of Industrial Ergonomics**, [S.L.], v. 95, p. 103446, maio 2023. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.ergon.2023.103446](https://doi.org/10.1016/j.ergon.2023.103446). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169814123000380?via%3DiHub>. Acesso em: 08 maio 2024.

QIU, Tongwei *et al.* The paradox of developing agricultural mechanization services in China: supporting or kicking out smallholder farmers?. **China Economic Review**, [S.L.], v. 69, p. 101680, out. 2021. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.chieco.2021.101680](https://doi.org/10.1016/j.chieco.2021.101680). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1043951X21000985?via%3DiHub>. Acesso em: 08 maio 2024.

RAHMAN, Mohd Nizam Ab *et al.* Statistical process control: Best practices in small and medium enterprises. **Maejo International Journal of Science & Technology**, v. 9, n. 2, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Afis-Mohd-Alias/publication/282239733\\_Statistical\\_process\\_control\\_Best\\_practices\\_in\\_small\\_and\\_medium\\_enterprises/links/5608b9d208aeb5718ff9c74b/Statistical-process-control-Best-practices-in-small-and-medium-enterprises.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Afis-Mohd-Alias/publication/282239733_Statistical_process_control_Best_practices_in_small_and_medium_enterprises/links/5608b9d208aeb5718ff9c74b/Statistical-process-control-Best-practices-in-small-and-medium-enterprises.pdf) . Acesso em: 08 maio 2024.

RASAY, Hasan *et al.* An integrated Maintenance and Statistical Process Control Model for a Deteriorating Production Process. **Reliability Engineering & System Safety**, [S.L.], v. 228, p. 108774, dez. 2022. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.ress.2022.108774](https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108774). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0951832022003970?via%3Dihub>. Acesso em: 08 maio 2024.

RUFFONI, Estêvão Passuello; REICHERT, Fernanda Maciel. Capabilities and Innovative Performance in the Brazilian Agricultural Machinery Industry. **Review Of Business Management**, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 275-293, 2022. FECAP Fundacao Escola de Comercio Alvares. DOI: [10.7819/rbgn.v24i2.4168](https://doi.org/10.7819/rbgn.v24i2.4168). Disponível em: <https://rbgn.fecap.br/RBGN/article/view/4168/1819>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub> Acesso em: 08 maio 2024.

RUNGASAMY, Selvan *et al.* Critical success factors for SPC implementation in UK small and medium enterprises: some key findings from a survey. **The Tqm Magazine**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 217-224, 1 ago. 2002. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/09544780210429825>.

SANTOS, Carlos Alexandre Silva Alves dos *et al.* Mapeamento Patentário do Tema Máquinas Conectadas a Máquinas (M2M) e os Desafios Brasileiros da Agricultura 4.0. **Cadernos de Prospecção**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 153, 2 jan. 2021. Universidade Federal da Bahia. DOI: [10.9771/cp.v14i1.33052](https://doi.org/10.9771/cp.v14i1.33052). Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/33052>. Acesso em: 08 maio 2024.

SARKAR, Debasis. Advanced materials management for Indian construction industry by application of statistical process control tools. **Materials Today: Proceedings**, [S.L.], v. 62, p. 6934-6939, 2022. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.matpr.2021.12.082](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.082). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321077555?via%3Dihub>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub> Acesso em: 08 maio 2024.

SCHEFER, Elisete de Souza. **TECNOLOGIAS PARA O BENEFICIAMENTO DO PLANTIO DE ARROZ EM MOSTARDAS - RS**. 2020. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Faculdade de Ciências Econômicas, Ufrgs, Mostardas, 2022. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/254642> . Acesso em: 16 mar. 2024.

SCHNEIDER, Anne-Kathrin *et al.* Drawing transformation pathways for making use of joint effects of food and energy production with biodiversity agriphotovoltaics and electrified agricultural machinery. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 335, p. 117539, jun. 2023. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.jenvman.2023.117539](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117539). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479723003274?via%3Dihub>. Acesso em: 08 maio 2024.

SHAMSUZZAMAN, Mohammad *et al.* An effective statistical process control scheme for industrial environmental monitoring. **Chemometrics And Intelligent Laboratory**

**Systems**, [S.L.], v. 229, p. 104651, out. 2022. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemolab.2022.104651>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169743922001629>. Acesso em: 08 maio 2024.

SILVA, Fabiano Battermarco da *et al.* Statistical process control and geostatistics on the characterization of the noise produced by a backhoe loader. **Revista Engenharia na Agricultura - Reveng**, [S.L.], v. 30, p. 236-245, 10 ago. 2022. Revista Engenharia na Agricultura. DOI: [10.13083/reveng.v30i1.13759](https://doi.org/10.13083/reveng.v30i1.13759). Disponível em:  
<https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/13759>.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub> Acesso em: 08 maio 2024.

SILVA, Rodrigo Peixoto da; VIAN, Carlos Eduardo de Freitas. Avaliação Ex-post de Ato de Concentração na Indústria de Máquinas Agrícolas com o Uso de Séries Temporais1. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [S.L.], v. 55, n. 1, p. 157-178, jan. 2017. FapUNIFESP (SciELO). DOI: [10.1590/1234-56781806-94790550109](https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790550109). Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/resr/a/mQyqChpzScD6r73tQYXMw9d/?lang=pt>.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub> Acesso em: 08 maio 2024.

SILVA, Rouverson Pereira da *et al.* Potential of using statistical quality control in agriculture 4.0. **Revista Ciência Agronômica**, [S.L.], v. 51, n. 5, p. 327-345, 2020. GN1 Sistemas e Publicacoes Ltd.. DOI: [10.5935/1806-6690.20200105](https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200105). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/GmvRJVsJjZjSPSimKjSPWkP/abstract/?lang=em> Acesso em: 08 maio 2024.

SILVEIRA, Franco da *et al.* Technologies used in agricultural machinery engines that contribute to the reduction of atmospheric emissions: a patent analysis in brazil. **World Patent Information**, [S.L.], v. 64, p. 102023, mar. 2021. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.wpi.2021.102023](https://doi.org/10.1016/j.wpi.2021.102023). Disponível em:  
<http://periodicos.ufc.br/revistacienciaagronomica/article/view/84933>. Acesso em: 08 maio 2024.

SIMÕES, Elsa Barbosa; SARAIVA, Margarida. **Raízes de sucesso agrícola: explorando caminhos para a qualidade, produção e satisfação**. Amplla Editora, 2023.

SINGH, Khushboo *et al.* Applications of multi-parameter sensing in pharmaceutical, agriculture and mineral industries using THz spectroscopy and Low-Wavenumber Raman spectroscopy. **Optics & Laser Technology**, [S.L.], v. 177, p. 111020, out. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.optlastec.2024.111020>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S003039922400478X>. Acesso em: 08 maio 2024.

SOUZA, Carolina Gusmão *et al.* Algoritmos De Aprendizagem De Máquina E Variáveis De Sensoriamento Remoto Para O Mapeamento Da Cafeicultura. **Boletim de Ciências Geodésicas**, [S.L.], v. 22, n. 4, p. 751-773, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). DOI: [10.1590/s1982-21702016000400043](https://doi.org/10.1590/s1982-21702016000400043). Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/bcg/a/WQ7VNcwfcFyvX7F6sZY4tbr/?lang=pt>. Acesso em: 08 maio 2024.

THIEDE, Sebastian. Advanced energy data analytics to predict machine overall equipment effectiveness (OEE): a synergetic approach to foster sustainable manufacturing.. **Procedia Cirp**, [S.L.], v. 116, p. 438-443, 2023. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.074>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827123000641> .

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub> Acesso em: 08 maio 2024.

TÓTH, Réka; DARÓCZI, Miklós. A növénytermesztés gépesítés fejlesztésének tendenciái. **Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka**, [S.L.], v. 12013, p. 415-418, 2013. *Fiatal Muszakiak Tudomanyos Ulesszaka*. DOI: [10.36243/fmtu-2013.91](https://doi.org/10.36243/fmtu-2013.91).

Disponível em: [https://www.eme.ro/publication-](https://www.eme.ro/publication-hu/fmtu/FMTU2013/91_FMTU2013_TohtReka,DarocziMiklos_415-418.pdf)

[hu/fmtu/FMTU2013/91\\_FMTU2013\\_TohtReka,DarocziMiklos\\_415-418.pdf](https://www.eme.ro/publication-hu/fmtu/FMTU2013/91_FMTU2013_TohtReka,DarocziMiklos_415-418.pdf).

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub> Acesso em: 08 maio 2024.

VÁGÓ, Emese; KEMÉNY, Sándor. Critique of the aiag cross-tabulation procedure for attribute gauge R&R study. **International Journal of Quality Engineering and Technology**, v. 2, n. 1, p. 75-93, 2011. Disponível em:

<https://www.inderscienceonline.com/doi/pdf/10.1504/IJQET.2011.038724> Acesso

em: 08 maio 2024.

VIAN, Carlos Eduardo de Freitas *et al.* Origens, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [S.L.], v. 51, n. 4, p. 719-744, dez. 2013. *FapUNIFESP (SciELO)*. <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-20032013000400006>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/resr/a/Yg34vGfdryDNVrRj9K3Vwhx/?lang=pt>. Acesso em: 15 junho 2024.

WANG, Hao *et al.* Interactive image segmentation based field boundary perception method and software for autonomous agricultural machinery path planning. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 217, p. 108568, fev. 2024. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.compag.2023.108568](https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108568). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169923009560?via%3Dihub>.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub> Acesso em: 08 maio 2024.

WANG, Kai *et al.* Improved estimation of pollutant emissions from agricultural machinery and projection of its reduction potential in the Beijing-Tianjin-Hebei region, China. **Atmospheric Pollution Research**, [S.L.], v. 13, n. 11, p. 101591, nov. 2022. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.apr.2022.101591](https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101591). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1309104222002720?via%3Dihub>.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub> Acesso em: 08 maio 2024.

WANG, Xiaobing *et al.* Rising wages, mechanization, and the substitution between capital and labor: evidence from small scale farm system in china. **Agricultural Economics**, [S.L.], v. 47, n. 3, p. 309-317, 30 mar. 2016b. Wiley. DOI: [10.1111/agec.12231](https://doi.org/10.1111/agec.12231). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub> Acesso em: 08 maio 2024.

WANG, Xiaobing *et al.* Wage Growth, Landholding, and Mechanization in Chinese Agriculture. **World Development**, [S.L.], v. 86, p. 30-45, out. 2016a. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.worlddev.2016.05.002](https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.05.002). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X15301935> Acesso em: 08 maio 2024.

WATSON, Goodwin. Resistance to change. **American behavioral scientist**, v. 14, n. 5, p. 745-766, 1971. Disponível em:

<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/000276427101400507>. Acesso em: 08 maio 2024.

WU, Bobo *et al.* Multi-type emission factors quantification of black carbon from agricultural machinery based on the whole tillage processes in China. **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 314, p. 120280, dez. 2022. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.envpol.2022.120280](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120280). Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749122014944>. Acesso em: 08 maio 2024.

WU, Caicong *et al.* China's agricultural machinery operation big data system. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 205, p. 107594, fev. 2023. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.compag.2022.107594](https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107594). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169922009024?via%3Dihub>. Acesso em: 08 maio 2024.

YAN, Ying *et al.* A two-stage fault diagnosis strategy for air handling units via a backpropagation multidimensional Taylor network fitter and a novel statistical process control. **Applied Thermal Engineering**, [S.L.], v. 248, p. 123245, jul. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.123245>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135943112400913X>. Acesso em: 08 maio 2024.

YANG, Chunfang *et al.* Digital economy empowers sustainable agriculture: implications for farmers ∴ adoption of ecological agricultural technologies. **Ecological Indicators**, [S.L.], v. 159, p. 111723, fev. 2024. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.ecolind.2024.111723](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111723). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X24001808?via%3Dihub>  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub>. Acesso em: 08 maio 2024.

YANG, Jin *et al.* The Rapid Rise of Cross-Regional Agricultural Mechanization Services in China. **American Journal Of Agricultural Economics**, [S.L.], v. 95, n. 5, p. 1245-1251, 28 jun. 2013. Wiley. DOI: [10.1093/ajae/aat027](https://doi.org/10.1093/ajae/aat027). Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1093/ajae/aat027> . Acesso em: 08 maio 2024.

YANG, Lili *et al.* Real-Time field road freespace extraction for agricultural machinery autonomous driving based on LiDAR. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 211, p. 108028, ago. 2023. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.compag.2023.108028](https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108028). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169923004167?via%3Dihub>. Acesso em: 08 maio 2024.

YANG, Yang *et al.* An optimal goal point determination algorithm for automatic navigation of agricultural machinery: improving the tracking accuracy of the pure pursuit algorithm. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 194, p. 106760, mar. 2022. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.compag.2022.106760](https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106760). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169922000771?via%3Dihub>  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160791X18301581?via%3Dihub>. Acesso em: 08 maio 2024.

YAO, Yipu *et al.* A location-allocation model of maintenance resources based on fault distribution for agricultural machinery maintenance service network. **Procedia Cirp**, [S.L.], v. 104, p. 393-398, 2021. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.procir.2021.11.066](https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.066). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827121009641?via%3Dihub>. Acesso em: 08 maio 2024.

YAO, Zhixin *et al.* Agricultural machinery automatic navigation technology. **Iscience**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 108714, fev. 2024. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.isci.2023.108714](https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.108714). Disponível em: [https://www.cell.com/iscience/fulltext/S2589-0042\(23\)02791-8?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2589004223027918%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/iscience/fulltext/S2589-0042(23)02791-8?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2589004223027918%3Fshowall%3Dtrue) . Acesso em: 08 maio 2024.

YAO, Zhixin *et al.* Agricultural machinery automatic navigation technology. **Iscience**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 108714, fev. 2024. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.isci.2023.108714](https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.108714). Disponível em: [https://www.cell.com/iscience/fulltext/S2589-0042\(23\)02791-8?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2589004223027918%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/iscience/fulltext/S2589-0042(23)02791-8?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2589004223027918%3Fshowall%3Dtrue) . Acesso em: 08 maio 2024.

YOUNES, Abiadi *et al.* The application of machine learning techniques for smart irrigation systems: a systematic literature review. **Smart Agricultural Technology**, [S.L.], v. 7, p. 100425, mar. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atech.2024.100425>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772375524000303>. Acesso em: 08 maio 2024.

YU, XI *et al.* Do Agricultural Machinery Services Facilitate Land Transfer? Evidence from Rice Farmers in Sichuan Province, China. **Land**, [S.L.], v. 10, n. 5, p. 466, 30 abr. 2021. MDPI AG. DOI: [10.3390/land10050466](https://doi.org/10.3390/land10050466). Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/10/5/466>. Acesso em: 08 maio 2024.

ZASADZIEŃ, Michał; MIDOR, Katarzyna. Statistical Process Control as a Failure Removal Improvement Tool. **Acta Technologica Agriculturae**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 124-129, 1 set. 2018. Walter de Gruyter GmbH. DOI: [10.2478/ata-2018-0023](https://doi.org/10.2478/ata-2018-0023).

Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00385417.1989.10640790> . Acesso em: 08 maio 2024.

ZASLOW, David. MODERNIZATION OF SOVIET AGRICULTURAL MACHINE BUILDING: the example of tractor production. **Soviet Geography**, [S.L.], v. 30, n. 7, p. 559-575, set. 1989. Informa UK Limited. DOI: [10.1080/00385417.1989.10640790](https://doi.org/10.1080/00385417.1989.10640790).

Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00385417.1989.10640790> . Acesso em: 08 maio 2024.

ZERBATO, Cristiano *et al.* Statistical process control applied to mechanized peanut sowing as a function of soil texture. **Plos One**, [S.L.], v. 12, n. 7, p. 0180399, 24 jul. 2017. Public Library of Science (PLoS). DOI: [10.1371/journal.pone.0180399](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180399).

Disponível em:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0180399> . Acesso em: 08 maio 2024.

ZHANG, Hao; LI, Shuchao. Analysis on the Development of Chinese Agricultural Machinery. **Proceedings Of The 2015 International Conference On Education Technology, Management And Humanities Science**, [S.L.], v. 5, n. 8, p. 327-345, 2015. Atlantis Press. DOI: [10.2991/etmhs-15.2015.254](https://doi.org/10.2991/etmhs-15.2015.254). Disponível em

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0180399> . Acesso em: 08 maio 2024.

ZHANG, Jie; LI, Dan. Research on path tracking algorithm of green agricultural machinery for sustainable development. **Sustainable Energy Technologies And Assessments**, [S.L.], v. 55, p. 102917, fev. 2023. Elsevier BV. DOI:

[10.1016/j.seta.2022.102917](https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102917). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138822009651?via%3Dihub> . Acesso em: 08 maio 2024.

ZHANG, Xiaobo *et al.* Mechanization outsourcing clusters and division of labor in Chinese agriculture. **China Economic Review**, [S.L.], v. 43, p. 184-195, abr. 2017. Elsevier BV. DOI: [10.1016/j.chieco.2017.01.012](https://doi.org/10.1016/j.chieco.2017.01.012). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1043951X17300214?via%3Dihub> . Acesso em: 08 maio 2024.

ZHAO, Liyang *et al.* Digital transformation of the agricultural industry: behavioral decision-making, influencing factors, and simulation practices in the yunnan highlands. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 358, p. 120881, maio 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120881>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479724008673>. Acesso em: 08 maio 2024.