


AGRICULTURA 4.0: TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA CADEIA PRODUTIVA PARA EFICIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE NO SETOR AGROINDUSTRIAL

 <https://doi.org/10.56238/arev6n4-153>

Data de submissão: 11/11/2024

Data de publicação: 11/12/2024

Eric Marcel Lemes Pistori

Mestrando em Agronegócio e Desenvolvimento (UNESP), Engenheiro Mecatrônico, Especialista em Gerenciamento de Projetos e Gestão de Negócios (UTFPR),
E-mail: eric.pistori@unesp.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2246-057X>
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/2394030859013784>

Mario Mollo Neto

Doutor em Engenharia Agrícola, pela Universidade de Estadual de Campinas
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã
Departamento de Engenharia de Biossistemas
E-mail: mario.mollo@unesp.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8341-4190>
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/6037463340047597>

RESUMO

O uso de alta tecnologia na produção agroindustrial é uma realidade nas lavouras, reforçando a relevância da Agricultura 4.0 como um agente transformador por meio da digitalização e integração de processos. A transformação digital conecta todos os elos da cadeia produtiva, permitindo que dados em tempo real do campo sejam disseminados e utilizados para aprimorar o controle das operações e embasar decisões estratégicas com precisão. Esse avanço facilita práticas mais eficientes, monitoramento contínuo e respostas ágeis às variáveis ambientais e de mercado. Neste contexto, este artigo apresenta uma Revisão Bibliográfica Sistemática, abordando o estado da arte da Agricultura 4.0, suas tecnologias e as práticas aplicadas ao setor agroindustrial. Em sequência, aplica-se um estudo de caso com a coleta de dados em uma empresa que fornece soluções tecnológicas voltadas à gestão do processo agroindustrial do setor sucroenergético. O objetivo é analisar e relacionar os desafios na integração entre o campo, a tecnologia e o usuário dos dados, visando identificar fatores críticos que influenciam a adesão e o sucesso das soluções digitais. A pesquisa busca explorar como a digitalização pode otimizar a eficiência operacional, aumentar a produtividade e criar oportunidades para a gestão do conhecimento e a sustentabilidade na agroindústria. Destacou-se, nos resultados, que a transformação digital no agronegócio, impulsionada pela tecnologia 4.0, está mudando a maneira como as atividades agrícolas são geridas, trazendo ganhos expressivos em produtividade, sustentabilidade e competitividade, mas a crescente presença das tecnologias 4.0 nas fazendas e organizações indica a importância de um plano contínuo de gestão do conhecimento, que abranja tanto a implantação quanto o acompanhamento pós-venda, de modo a assegurar que os usuários tenham as habilidades para lidar com as inovações. Essa abordagem permite não apenas a atualização tecnológica das operações, mas também o fortalecimento do capital humano, criando um ambiente colaborativo e adaptável às mudanças. Observou-se que o fortalecimento da base de conhecimento prático, com foco em boas práticas e modelos de uso, é fundamental para que o agronegócio brasileiro possa aproveitar ao máximo o potencial da Agricultura 4.0.

Palavras-chave: Agricultura Digital. Implantação de Projetos. Agroindústria. Sucroenergético.

1 INTRODUÇÃO

A Agricultura Digital, também conhecida como Agricultura 4.0 (Agro 4.0), tem avançado notavelmente com o desenvolvimento tecnológico e inovações que trazem impactos positivos e significativos ao setor agroindustrial. Compreende-se que, além de produzir com eficiência, o setor deve adotar práticas inovadoras e sustentáveis, impulsionando o surgimento de sistemas escalonáveis que permitem não apenas o aumento da produtividade, mas também o controle eficaz de custos. Esses sistemas são capazes de armazenar e processar grandes volumes de dados, interligando dispositivos móveis e plataformas online para dar suporte às tomadas de decisão em tempo real (MASSRUHÁ, 2017).

Os processos tecnológicos utilizados pela Agricultura 4.0, contribuem para produção rural mais eficiente, isto é, aumentando a produtividade, reduzindo a utilização de recursos naturais, como a água e redução do uso de fertilizantes e agrotóxicos, contribuindo para a redução dos impactos ambientais (CLERCQ; VATS; BIEL, 2018). Segundo Schumpeter (1988), a inovação tecnológica é uma força fundamental para o desenvolvimento econômico, viabilizada pela incorporação de novas técnicas de produção, reorganização industrial e utilização de novas combinações de recursos produtivos (SEIDLER e FRITZ FILHO, 2016). Nesse contexto, o desenvolvimento da agricultura inteligente torna-se essencial para alcançar as metas globais de segurança alimentar e sustentabilidade, definidas pela FAO (2010).

O Brasil é o maior exportador mundial de soja, café, açúcar, suco de laranja, etanol de cana-de-açúcar, carne bovina e frango. Em 2019, as exportações do agronegócio atingiram US\$ 96,8 bilhões, representando 43,2% do total exportado pelo país. A agricultura brasileira é diversificada, com mais de 300 espécies cultivadas, e exporta 350 tipos de produtos para 200 mercados ao redor do mundo. O Brasil se destaca como grande produtor de grãos, carne e frutas, e o setor agropecuário contribui com 21,1% do PIB e emprega 20% da força de trabalho (Embrapa, 2019).

Para Silva (2018), as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) desempenham um papel auxiliar no processo de inovação ao atuarem como ferramentas direcionadas e eficientes para funções específicas. Compostas por *hardwares* e *softwares*, essas tecnologias permitem a automação de processos como coleta de dados, transcrição e comunicação, facilitando a interação entre dispositivos e usuários e integrando informações em plataformas digitais que suportam a gestão agrícola.

A Agricultura 4.0 conecta, portanto, todos os elos da cadeia produtiva, promovendo o compartilhamento de dados reais do campo e aprimorando o controle operacional. Contudo, a modernização agrícola demanda uma análise de adoção e difusão tecnológica: enquanto a adoção

representa a decisão individual ou organizacional de incorporar tecnologias modernas, frequentemente influenciada por fatores microeconômicos, a difusão caracteriza-se como um processo mais abrangente, que avalia os impactos gerais e integrados da tecnologia nos níveis estratégico, tático e operacional. Essa distinção é fundamental para entender como diferentes agentes – agricultores e empresas – utilizam essas inovações e em quais níveis organizacionais elas são implementadas (MASSRUHÁ, 2017). O sucesso ou fracasso da tecnologia agrícola depende, em grande parte, da percepção de valor e dos benefícios proporcionados pelo *hardware* e *software* entre os usuários finais.

A revisão bibliográfica é essencial para estabelecer os limites e a fundamentação teórica de uma pesquisa, de acordo com a perspectiva científica apresentada por Dane (1990). O autor destaca que esse processo envolve a definição de tópicos-chave, autores, palavras-chave, periódicos e fontes de dados preliminares. Nesse contexto, a revisão bibliográfica é considerada uma etapa inicial crucial para qualquer investigação científica que segundo Webster e Watson (2002), servindo como alicerce para a construção e delimitação do estudo.

Diante desse cenário, o presente artigo realiza uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) de caráter exploratório, reunindo soluções tecnológicas destacadas na literatura que dialogam com o contexto investigado no estudo de caso. Esse processo busca fornecer uma análise crítica e estruturada dos fatores que influenciam a adoção e eficácia das tecnologias digitais no agronegócio. Com base nos dados coletados, a pesquisa explora o panorama do mercado agroindustrial e o estado da arte sobre Agricultura Digital, analisando a conexão desses dados com as práticas de gestão do conhecimento. O estudo de caso destaca a importância dos dados gerados pela tecnologia 4.0 para os agentes envolvidos em territórios rurais, reforçando o valor estratégico dessas informações na gestão e operação do setor agrícola.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O conceito de agricultura digital refere-se à inserção de tecnologias de informação e comunicação (TICs), além de processos de coleta e transmissão de dados, na agricultura e pecuária. Por meio de *hardwares* e *softwares*, esses dados são convertidos em ferramentas estratégicas para o aumento da eficiência, permitindo ao produtor rural alcançar novos patamares de produtividade e sustentabilidade no campo. Também conhecida como Agricultura 4.0, essa abordagem inclui uma gama de tecnologias já em operação ou em desenvolvimento, como robótica, nanotecnologia, proteínas sintéticas, agricultura celular, edição genética, inteligência artificial, *blockchain* e

aprendizado de máquina, cujos efeitos transformadores devem moldar o futuro da agricultura e dos sistemas agroalimentares (KLERKXA; ROSEB, 2020).

Nos últimos 30 anos, o setor agrícola brasileiro protagonizou um crescimento significativo, impulsionado pela capacidade de adaptação e aprimoramento de suas técnicas de cultivo e manejo, alcançando níveis de produtividade similares aos da América do Norte (REVISTA MERCOSUL, 2017). Esse avanço destaca o papel da tecnologia como motor essencial para a competitividade global do Brasil no agronegócio. Segundo Bolfe e Massruhá (2020), a transformação digital nas propriedades rurais brasileiras já não é uma opção, mas uma necessidade vital para aumentar a competitividade e a integração de valor ao longo de toda a cadeia produtiva. A Agricultura 4.0, portanto, não apenas moderniza o setor, mas também possibilita uma visão de futuro onde a inovação e a tecnologia aprimoram a sustentabilidade e a eficiência dos sistemas agroalimentares.

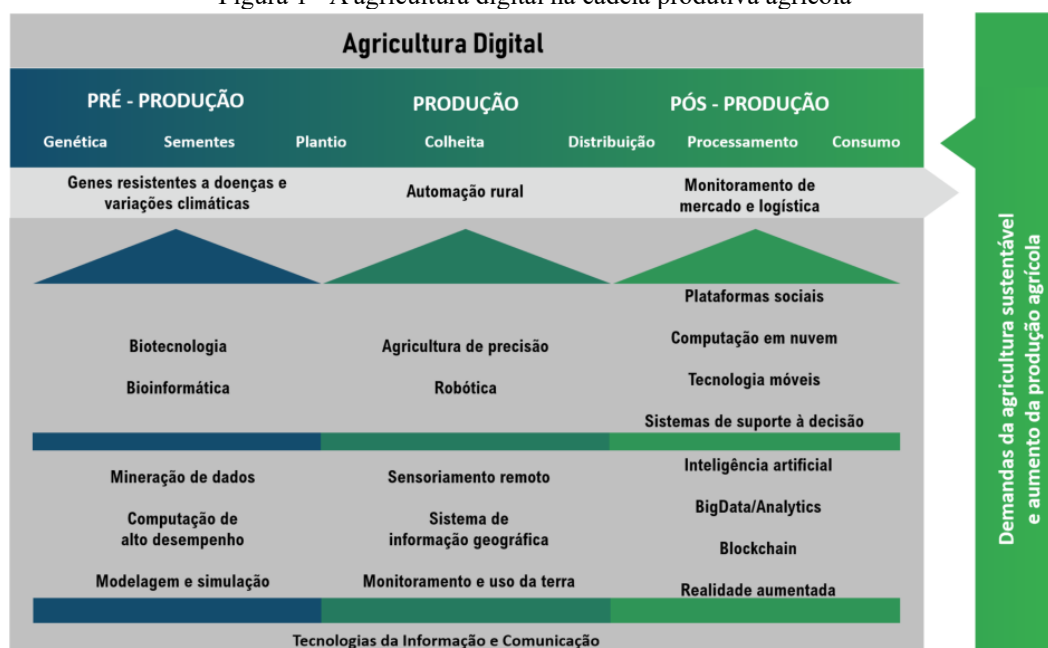
2.1 TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC)

Na agricultura, as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) surgem como oportunidades de inovação para enfrentar desafios como o de aumentar a produtividade sem expandir a área plantada e, especialmente, para aprimorar a gestão de dados, informações e conhecimento em toda a cadeia produtiva (MASSRUHÁ, 2017). No setor agroindustrial, a adoção das TICs cria um ambiente rico em possibilidades para reduzir a assimetria informacional. O papel da tecnologia, portanto, não é centralizar o conhecimento, mas aplicá-lo de forma que contribua para a geração de novos conhecimentos e inovações (CASTELLS, 1999).

A agricultura digital no meio rural engloba a geração e o processamento de grandes volumes de dados digitais, que têm o potencial de impulsionar a inovação em todas as fases da produção, incluindo pré-produção, produção e pós-produção (BOLFE et al., 2021). Na Figura 1, Massruhá et al. (2020) apresentam um panorama detalhado desse cenário de transformação digital, evidenciando como as TICs permeiam a cadeia produtiva agrícola.

A Figura 1 apresenta uma visão estruturada da agricultura digital ao longo de três etapas da cadeia produtiva: pré-produção, produção e pós-produção. Em cada uma dessas fases, tecnologias como biotecnologia, agricultura de precisão, e inteligência artificial são aplicadas para melhorar a eficiência e sustentabilidade da produção. A pré-produção foca em genética e resistência a doenças; a produção enfatiza automação rural e sensoriamento remoto; enquanto a pós-produção utiliza monitoramento logístico e plataformas sociais. Esse conjunto de inovações atende às demandas por uma agricultura mais sustentável e com maior capacidade produtiva.

Figura 1 - A agricultura digital na cadeia produtiva agrícola



Fonte: Masshurá *et al.* (2020)

2.2 INTERNET DAS COISAS (IOT)

Segundo Lee e Lee (2015), a Internet das Coisas (IoT) é uma tendência tecnológica inovadora que abrange uma rede de máquinas e dispositivos capazes de interagir autonomamente. No contexto da automação, a IoT realiza a coleta de dados por meio de sensores, processa essas informações com controladores e finaliza o processo de automação através de atuadores, permitindo maior precisão e eficiência nas operações. Triantafyllou *et al.* (2019) destacam que a agricultura inteligente (*smart farming*) se baseia na integração de tecnologias modernas, como a IoT e a Computação em Nuvem, em um ciclo de gerenciamento de campo cibernético-físico. Essas tecnologias aceleram a transformação digital das práticas agrícolas tradicionais, promovendo um aumento da produtividade e a melhoria da qualidade dos produtos agrícolas.

Atzori, Iera e Marobito (2010) complementam o conceito de IoT afirmando que os diversos dispositivos que nos rodeiam – incluindo sensores, *smartphones*, atuadores e identificadores eletrônicos – podem interagir e cooperar entre si por meio de comunicação integrada e esquemas de endereçamento, com o objetivo de alcançar uma finalidade comum, como o monitoramento preciso e o controle automatizado. No contexto brasileiro, a expansão da conectividade no meio rural, associada à integração de sistemas sensoriais, sensores remotos, equipamentos agrícolas e dispositivos móveis, tem impulsionado a adoção da agricultura digital. No Quadro 1, Bolfe *et al.* (2020) apresentam um levantamento realizado com 504 agricultores brasileiros, que relaciona as tecnologias digitais em uso e as respectivas complexidades de implementação.

Quadro 1 - Tecnologias da agricultura digital

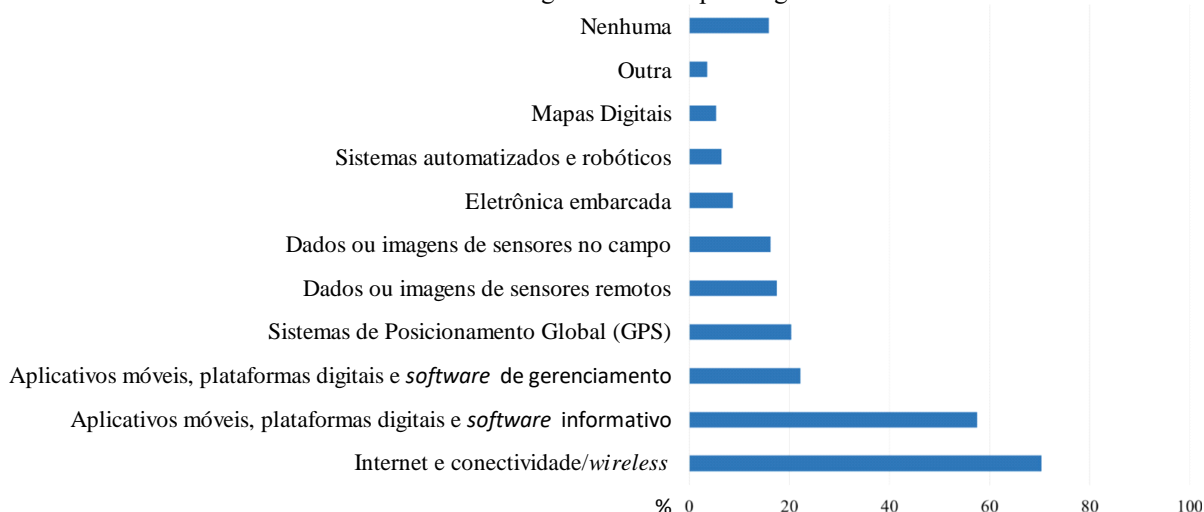
Tecnologias	Complexidade das Aplicações
Internet e Conectividade/ <i>Wireless</i>	Baixa
Aplicativos Móveis, Plataformas Digitais e <i>Software</i>	
Sistemas de Posicionamento Global (GPS)	
Mapas Digitais	
Sensores de Proximidade e de Campo	Média
Sensores Remotos	
Eletrônica embarcada, telemetria e automação	
<i>Deep Machine Learning</i> e Internet das Coisas	Alta
Computação em Nuvem, <i>Big Data</i> , <i>Blockchain</i> e Criptografia	
Inteligência Artificial	

Fonte: Bolfe et al. (2020)

O estudo de caso apresentado neste artigo incorpora, em sua tecnologia de aplicação, as três camadas de complexidade, contemplando as classificações baixa, média e alta, a fim de fornecer uma análise abrangente das diferentes escalas de implementação e seus impactos na eficácia e desempenho do sistema em diferentes cenários.

O Gráfico 1, também mencionado por Bolfe et al. (2020), permite visualizar as tecnologias atualmente empregadas por esses agricultores.

Gráfico 1 - Tecnologias utilizadas pelos agricultores



Fonte: Bolfe et al. (2020)

2.3 PLANEJAMENTO ORGANIZACIONAL

De acordo com Kotler (2020), o planejamento estratégico é o processo de elaboração de um plano de ação para cada área de negócios, com o objetivo de alcançar metas de longo prazo, levando

em consideração a posição da empresa no setor e aproveitando suas capacidades e recursos. No contexto do agronegócio, o planejamento estratégico foca na busca por vantagem competitiva, com ênfase em práticas agrícolas eficientes e sustentáveis, visando maximizar os lucros enquanto minimiza os custos operacionais. Um planejamento detalhado é fundamental para orientar a organização no setor, compreender sua situação atual e traçar projeções de investimentos futuros.

Nesse cenário, ao planejar a atualização tecnológica, é crucial identificar as melhores opções de serviços e plataformas disponíveis no mercado. Esse processo deve considerar os impactos e reflexos sobre as partes interessadas, o tempo de aprendizado necessário e, por fim, a qualidade das informações geradas, garantindo um retorno positivo sobre o investimento. Para Heleno (2009), a falta de aplicação de técnicas de gestão no Brasil, especialmente no setor agrícola, resulta em prejuízos significativos para o agronegócio nacional, incluindo a ausência de Planos de Negócio Rural. A estratégia adotada por uma organização é determinante para seu sucesso ou fracasso.

Para entender o conceito de planejamento estratégico, é necessário abordar o planejamento geral, que se divide em três níveis, conforme Daft apud Fernandes (2022):

- Planejamento operacional: de curto prazo, voltado para as operações diárias, sendo responsabilidade dos gerentes de níveis mais baixos.
- Planejamento tático: de médio prazo, focado nos setores ou divisões da empresa, responsabilidade de executivos e gerentes.
- Planejamento estratégico: de longo prazo, que envolve a alta direção e trata da organização como um todo.

Este artigo discute, por meio de um estudo de caso, os impactos das divisões tática e operacional em uma indústria do setor sucroenergético. A análise dessas camadas é essencial devido aos significativos efeitos sobre a curva de aprendizado e a geração de dados dentro da organização.

3 METODOLOGIA

A pesquisa teve caráter exploratório, iniciando com uma revisão bibliográfica sobre o estado da arte do tema em questão, seguida por um estudo de caso. A coleta de dados foi realizada em uma empresa especializada em fornecer soluções tecnológicas voltadas à gestão do processo agroindustrial em usinas do setor sucroenergético.

Esse enfoque permitiu uma análise detalhada das práticas e desafios enfrentados pelas empresas do setor, além de possibilitar a identificação de tendências e inovações tecnológicas que impactam a eficiência operacional e a sustentabilidade das usinas.

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA (RBS)

O método adotado foi a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), conforme definido por Conforto (2011). Essa abordagem metodológica visa realizar uma análise crítica e aprofundada da literatura existente sobre um tema específico, seguindo um processo rigoroso e estruturado. O objetivo principal da RBS é reunir, analisar e sintetizar as evidências já produzidas sobre o tema, identificando padrões, lacunas e tendências na literatura.

A pesquisa abrangeu um período de cinco anos, utilizando a base de dados Scopus para buscar artigos publicados entre 2017 e 2022 em periódicos científicos. Foram utilizadas as seguintes palavras-chave para a análise bibliográfica, presentes no título, resumo ou palavras-chave: "*digital agriculture*", "*technology application*" e "*farming*". Para a análise inicial, foi adotado como critério de qualificação o mínimo de 15 citações. Após aplicar esse filtro, foram selecionados 29 artigos, o que permitiu focar nas publicações mais relevantes e impactantes dentro do tema, assegurando a qualidade da análise subsequente. Essa seleção criteriosa contribuiu para uma visão mais precisa das tendências e contribuições significativas no campo das tecnologias digitais no agronegócio. Na etapa seguinte, foram lidos os resumos de todos os 29 artigos listados. A partir dessa análise, selecionaram-se 10 artigos para uma avaliação mais detalhada, com base em sua relevância e profundidade. Esses artigos serviram como fundamento para a construção do referencial teórico deste estudo de caso, garantindo uma base sólida e atualizada sobre o tema e conferindo consistência e robustez à pesquisa.

3.2 APLICAÇÃO AO ESTUDO DE CASO

Este tópico apresenta um estudo de caso, no qual são analisados dados digitais de uma agroindústria voltada ao cultivo de cana-de-açúcar. O estudo acompanha a linha do tempo do projeto, oferecendo uma análise detalhada tanto do período de implementação da tecnologia quanto dos dois anos seguintes à transformação digital.

3.2.1 a empresa fornecedora da tecnologia

Totalmente adaptada à realidade do campo, a empresa se destacou ao nascer com a missão de melhorar a eficiência do setor sucroenergético, um mercado que enfrenta a constante necessidade de inovação e reinvenção a cada ano, visando garantir sua competitividade no mercado global, melhorar a eficiência de sua produção e atender às novas demandas e desafios ambientais e econômicos. O primeiro escritório da empresa foi inaugurado em Araçatuba, no interior de São Paulo, e atualmente serve como sua matriz. Com um crescimento exponencial, a companhia consolidou sua representatividade global em Inteligência Artificial (IA) e Software como Serviço (SaaS) para o

agronegócio, oferecendo tecnologias que integram monitoramento, produtividade, rastreabilidade e logística. Sua expansão foi rápida e global, atualmente gerenciando mais de 9 milhões de hectares em tempo real, no Brasil, Estados Unidos, Canadá e em diversos países da América Latina. Ao todo, a empresa está presente em mais de 11 países ao redor do mundo, a empresa conta com cerca de 850 colaboradores.

Entre os produtos oferecidos ao agronegócio global estão computadores de bordo, sistemas de telemetria, *softwares* para gestão e controle de ativos móveis, aplicativos e sensores especializados, entre outros. Os índices de comercialização são impressionantes, com mais de 3,7 trilhões de dados coletados anualmente, 6 mil transações realizadas por segundo e estimativas de retorno para o produtor de até 30% de ganho em produtividade e eficiência. Essas inovações não só otimizam o processo de gestão, mas também impulsionam a sustentabilidade e a competitividade no setor agrícola global.

3.2.2 a empresa que investiu e implementou as soluções digitais no seu processo agroindustrial

A empresa possui duas unidades industriais no interior de São Paulo, que, juntas, têm capacidade para processar 6,4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por safra. Essas unidades operam com cerca de 420 equipamentos agrícolas ativos em seu parque de máquinas, gerando mais de 2,6 mil empregos nas áreas agrícola, industrial e administrativa. Neste artigo, optou-se por extrair os dados da unidade com maior representatividade para a empresa, a qual conta com aproximadamente 263 máquinas agrícolas em operação. Esta escolha visa fornecer uma análise mais aprofundada das operações e dos impactos da tecnologia implementada na unidade de maior porte.

3.3 TECNOLOGIA IMPLEMENTADA

A solução proposta utiliza informações operacionais geradas em tempo real pelos equipamentos, garantindo a confiabilidade dos registros e exigindo mínima intervenção operacional durante a execução dos processos. Através de um sistema integrado de *hardware* e *software*, a solução oferece os seguintes benefícios: Aumento da confiabilidade dos dados; Redução da intervenção humana; Tomada de decisões embasada em dados precisos; Monitoramento em tempo real da frota de equipamentos da frente de colheita; Otimização dos recursos disponíveis.

O projeto incorporou soluções de automação e telemetria, com a instalação de computadores de bordo para captura e geração das informações provenientes das operações realizadas. Essas informações são transmitidas por meio da rede GPRS (*General Packet Radio Service*) e processadas no banco de dados da empresa, permitindo o monitoramento contínuo da frota, o acompanhamento

das operações produtivas e improdutivas, e a emissão de diversos relatórios gerenciais e operacionais, acessíveis por meio de uma plataforma *online* e armazenamento de dados em nuvem.

3.3.1 apontamento automatizado (máquina de estado)

Com a inteligência incorporada nos computadores de bordo e por meio da lógica de sinais analógicos e digitais captados pelos equipamentos, é possível identificar automaticamente os estados operacionais (efetivo, manobra, deslocamento), sem necessidade de intervenção humana durante o ciclo de operação. No entanto, é necessário registrar os motivos das paradas, como manutenção, chuva, refeição, entre outros.

O computador de bordo possui um *software* embarcado que oferece opções dinâmicas e claras de apontamento, permitindo ao operador realizar intervenções simples e eficientes para registrar operações tipicamente classificadas como improdutivas, que exigem intervenção manual.

3.3.2 sistema de gerenciamento de processos automatizados (sgpa)

Os computadores de bordo possibilitam a identificação georreferenciada dos equipamentos, registrando suas operações conforme a parametrização definida, incluindo categorias como produtivas, improdutivas, auxiliares, manutenção e climáticas. Essas informações são armazenadas em um cartão de memória incorporado aos *hardwares* e enviadas ao sistema de monitoramento por meio de GPRS.

O Sistema de Gestão de Processos Automatizados (SGPA) é o *software* responsável pelo recebimento, processamento e visualização dos dados enviados pelos computadores de bordo instalados nos equipamentos. Este sistema permite a visualização espacial (em mapas georreferenciados) do posicionamento dos equipamentos, juntamente com seu estado operacional, dados dos operadores e alertas. A transmissão dos dados pode variar conforme as condições da rede GPRS, e é possível gerar relatórios *off-line*, ou seja, pós-processamento dos dados.

3.3.3 central de operações agrícolas (coa)

O objetivo do COA é proporcionar maior confiabilidade nas análises de dados dos clientes, garantindo o uso efetivo dessas informações para maximizar a eficiência e reduzir custos. O COA atua como um setor estratégico dentro do negócio, identificando e agindo rapidamente em situações que impactam o desempenho operacional, além de analisar e resolver os principais gargalos em tempo real. Para alcançar uma roteirização quase ideal, o COA deve aplicar:

- Premissas: Disponibilidade de recursos para análise, comprometimento dos patrocinadores do projeto, efetividade nas atividades propostas e acompanhamento contínuo.
- Restrições: Treinamento de operadores e líderes das frentes de corte, com o objetivo de formar equipes analíticas dentro do COA.

Na seção 2.3, são apresentadas as subdivisões do planejamento organizacional, pois o conceito de implementação tática se conecta diretamente com a rotina estratégica integrada nas atividades da Central de Operações Agrícolas. Nesse contexto, observa-se que o COA é o principal receptor das informações, oferecendo uma visão holística de cada operação e conectando, a todo momento, as estratégias do negócio à gestão. Essa integração torna o COA um ponto chave da engrenagem operacional no ambiente agrícola. O principal objetivo dessa área é garantir a máxima eficiência dos ativos agrícolas, aumentando a produtividade das máquinas e, consequentemente, reduzindo os custos operacionais.

3.4 A IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

Na safra de 2019, foi firmado um acordo entre o contratante e o contratado para desenvolver um plano diretor de implementação tecnológica, com o objetivo de atender o parque de máquinas da usina sucroenergética abordada neste artigo. O escopo do projeto incluiu a criação de uma operação que abrangesse toda a estrutura necessária para a inserção tecnológica dos 263 equipamentos agrícolas disponíveis, contemplando uma solução de monitoramento online com apontamentos automatizados (estados das máquinas) e a plataforma de gestão *website* do Sistema de Gestão de Processos Automatizados (SGPA), além da criação da Central de Operações Agrícolas do cliente.

Para garantir a implementação bem-sucedida das soluções propostas, foi essencial manter equipes de alto desempenho, com conhecimentos técnicos especializados, habilidades em gerenciamento de projetos e fluxos bem definidos pelo Escritório de Projetos (EP). A integração dos processos de iniciação, planejamento, execução, controle e encerramento foi fundamental para assegurar a qualidade dos serviços prestados.

O cronograma inicial estimava um total de 488 horas de esforço, com início em 14/10/2019 e término previsto para 19/12/2019. No entanto, devido a adversidades encontradas durante a implantação, o esforço real foi de 566 horas, superando a estimativa inicial. Mesmo com esse aumento de horas, o projeto foi concluído dentro do prazo previsto. A seguir, são apresentadas as atividades previstas no plano de implantação do projeto.

Quadro 2 - Cronograma detalhado de implantação; *Software Ms Project®*

Nome da tarefa	Trabalho	Início	Término
----------------	----------	--------	---------

PROJETO ESTUDO DE CASO	488 hrs	Seg 14/10/19	Ter 24/12/19
100 - Initiation	8 hrs	Seg 14/10/19	Sex 18/10/19
Documento necessário para definição de projeto	8 hrs	Seg 14/10/19	Seg 14/10/19
200 - Planning	16 hrs	Ter 15/10/19	Qui 17/10/19
Visita ao cliente	8 hrs	Ter 15/10/19	Ter 15/10/19
Solicitar lista de documentos necessários para integração	0 hrs	Ter 15/10/19	Ter 15/10/19
Solicitar - Planilha de parametrização	1 hr	Qua 16/10/19	Qua 16/10/19
Validar - Matriz de Responsabilidades	1 hr	Qua 16/10/19	Qua 16/10/19
Validar - Plano de Entregas	1 hr	Qua 16/10/19	Qua 16/10/19
Validar - Plano de Comunicação	1 hr	Qua 16/10/19	Qua 16/10/19
Validar - Cronograma	3 hrs	Qua 16/10/19	Qua 16/10/19
Enviar Solicitação de Firmware	1 hr	Qui 17/10/19	Qui 17/10/19
300 - Executing and controlling	436 hrs	Seg 21/10/19	Seg 16/12/19
KICK OFF MEETING	8 hrs	Seg 21/10/19	Seg 21/10/19
Elaborar Formatadores de Cartão e Pasta Cadastros - CCT	56 hrs	Qui 24/10/19	Sex 01/11/19
Elaborar Formatadores de Cartão e Pasta Cadastros - TPL	80 hrs	Seg 04/11/19	Sex 15/11/19
Integração	8 hrs	Ter 22/10/19	Ter 22/10/19
Preparar e enviar documentação	4 hrs	Ter 22/10/19	Ter 22/10/19
Realizar processo de integração	4 hrs	Ter 22/10/19	Ter 22/10/19
Entregas e instalações	0 hrs	Seg 21/10/19	Sex 13/12/19
Entrega dos Kit's de instalação	0 hrs	Seg 21/10/19	Sex 29/11/19
Entrega de materiais (Kits Colhedora)	0 hrs	Seg 21/10/19	Seg 21/10/19
Entrega de materiais (Kits Transbordo)	0 hrs	Seg 21/10/19	Seg 21/10/19
Entrega de materiais (Kits Canavieiro)	0 hrs	Seg 21/10/19	Seg 21/10/19
Entrega de materiais (Kits TPL)	0 hrs	Seg 21/10/19	Seg 21/10/19
Instalações	0 hrs	Ter 22/10/19	Sex 13/12/19
Validar instalação (Colhedoras F5/F4/F3/F2/F1)	0 hrs	Sex 08/11/19	Sex 08/11/19
Validar instalação (Transbordos F5/F4/F3/F2/F1)	0 hrs	Sex 08/11/19	Sex 08/11/19
Validar instalação (Canavieiros)	0 hrs	Sex 15/11/19	Sex 15/11/19

Validar instalação (TPL)	0 hrs	Sex 13/12/19	Sex 13/12/19
Treinamentos	8 hrs	Qua 23/10/19	Qua 23/10/19
Realizar treinamento para técnicos e multiplicadores	8 hrs	Qua 23/10/19	Qua 23/10/19
SGPA	4 hrs	Seg 28/10/19	Qua 13/11/19
Envio de informações para confecção de Ambiente	4 hrs	Ter 22/10/19	Ter 22/10/19
Validar startup do ambiente SGPA	0 hrs	Seg 11/11/19	Seg 11/11/19
Validar Treinamento SGPA	0 hrs	Qua 13/11/19	Qua 13/11/19
Start-UP	272 hrs	Seg 11/11/19	Seg 16/12/19
Go-Live Monitoramento Online - CCT	36 hrs	Seg 11/11/19	Sex 29/11/19
Start-UP, treinar e instruir operação - F5	24 hrs	Seg 11/11/19	Qua 13/11/19
Acompanhamento e Validação assistida	8 hrs	Qui 14/11/19	Qui 14/11/19
Validar - Mo.	4 hrs	Sex 15/11/19	Sex 15/11/19
Validação Frente 4 e 3	36 hrs	Seg 18/11/19	Sex 22/11/19
Start-UP, treinar e instruir operação - Monitoramento Online	24 hrs	Seg 18/11/19	Qua 20/11/19
Acompanhamento e Validação assistida	8 hrs	Qui 21/11/19	Qui 21/11/19
Validar - Mo.	4 hrs	Sex 22/11/19	Sex 22/11/19
Validação Frente 2 e 1	36 hrs	Seg 25/11/19	Sex 29/11/19
Start-UP, treinar e instruir operação - Mo.	24 hrs	Seg 25/11/19	Qua 27/11/19
Acompanhamento Mo.	8 hrs	Qui 28/11/19	Qui 28/11/19
Validar - Mo.	4 hrs	Sex 29/11/19	Sex 29/11/19
Go-Live Monitoramento Online - TPL	164 hrs	Seg 18/11/19	Seg 16/12/19
Start-UP, treinar e instruir operação - Mo. TPL	120 hrs	Seg 18/11/19	Sex 06/12/19
Acompanhamento Mo. TPL	40 hrs	Seg 09/12/19	Sex 13/12/19
Validar - Mo. TPL	4 hrs	Seg 16/12/19	Seg 16/12/19
400 - Closing Phase	28 hrs	Qua 18/12/19	Qui 19/12/19
Reunião de Encerramento	12 hrs	Qua 18/12/19	Qua 18/12/19
Entrega do Termo de Aceite	0 hrs	Qua 18/12/19	Qua 18/12/19
Relatório de lições aprendidas	16 hrs	Qui 19/12/19	Qui 19/12/19

Fonte: Os Autores. Adaptado de Ms Project®

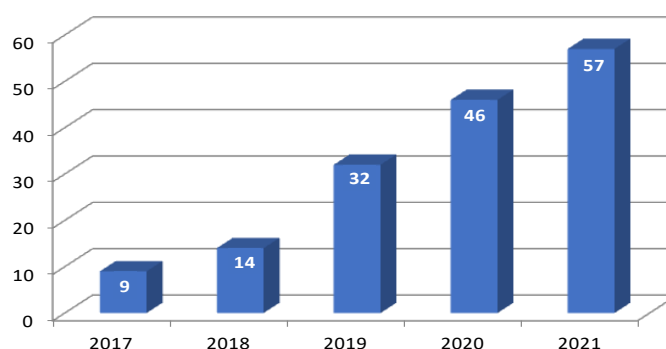
No cronograma de atividades, observa-se que uma grande parte dos esforços foi dedicada a treinamentos e instruções de trabalho para as equipes operacionais e táticas envolvidas no processo. Isso se deve ao fato de que o sucesso do projeto depende diretamente do engajamento e do conhecimento dessas duas camadas, que são fundamentais para a execução eficaz da estratégia e a implementação das soluções tecnológicas propostas.

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DETALHADA DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA (RBS)

Ao longo do período analisado nesta pesquisa foram publicados 158 artigos, conforme ilustrado no Gráfico 2, o qual apresenta a evolução anual das publicações. Essa análise permitiu identificar as principais tendências e inovações na aplicação de tecnologias digitais no setor agrícola, além de fornecer uma visão geral do ritmo de produção acadêmica e das áreas de maior foco de pesquisa dentro da agricultura digital.

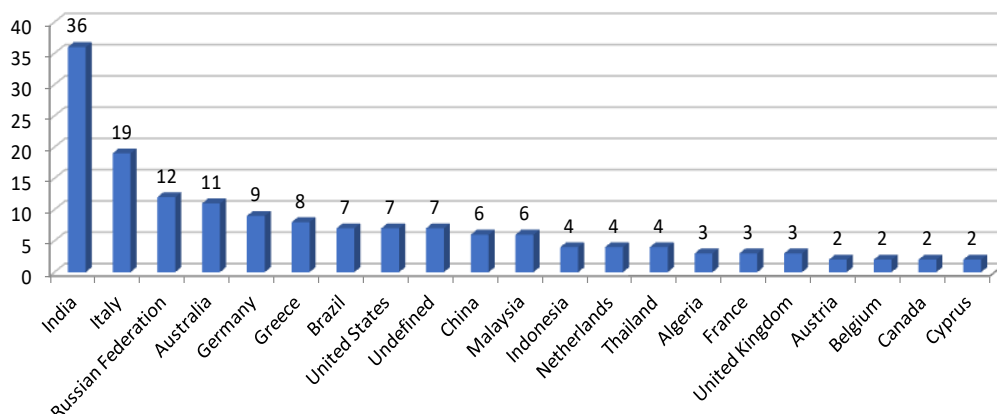
Gráfico 2 - Evolução de publicações relacionadas às palavras-chaves



Fonte: Scopus (2022)

Observa-se uma crescente produção de trabalhos sobre o tema pesquisado, refletindo a crescente relevância da utilização de tecnologias digitais no agronegócio. De fato, pesquisadores de diversas partes do mundo têm compartilhado suas experiências e avanços nesse campo. O Gráfico 3 ilustra a origem dos países responsáveis pelas publicações, com a Índia liderando a lista, com uma participação de 22,8%. O Brasil ocupa a sétima posição, com 4,4% das publicações, empatado com os Estados Unidos e à frente da China. Esse panorama destaca o papel global da Índia e a crescente contribuição do Brasil e de outras nações para o avanço das tecnologias digitais no setor agrícola.

Gráfico 3 - Países de origem das publicações relacionadas às palavras-chaves



Fonte: Scopus (2022)

O método de seleção de artigos, fundamentado em filtros de palavras-chave como "*digital agriculture*", "*technology application*" e "*farming*", resultou na escolha de 29 artigos que destacam as pesquisas mais impactantes e relevantes sobre tecnologias digitais no agronegócio. Essa abordagem criteriosa permitiu identificar com precisão as principais tendências e inovações, além de evidenciar as contribuições significativas do campo. Nos Quadros 2 e 3, é possível visualizar os artigos selecionados, com cada posição categorizada conforme a quantidade de citações, oferecendo uma visão consolidada da relevância acadêmica de cada estudo.

Quadro 3 - Artigos qualificados com mínimo de 15 citações

Pos.	Título	Autores	Ano de publicação	Revista	Citações
1	A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming	Farooq, M.S., Riaz, S., Abid, A., Abid, K., Naeem, M.A.	2019	IEEE Access, 7,883163, pp. 156237-156271, 96(4), pp. 1540-1550, 793,126130	181
2	Managing Socio-Ethical Challenges in the Development of Smart Farming: From a Fragmented to a Comprehensive Approach for Responsible Research and Innovation	Eastwood, C., Klerks, L., Ayre, M., Deh Ruz, B.	2019	Journal of Agricultural and Environmental Ethics, 32(5-6), pp. 741-768, 4(2),8620543, pp. 1085-1092	96
3	"If they don't tell us what they do with it, why would we trust them?" Trust, transparency and benefit-sharing in Smart Farming	Jakku, E., Taylor, B., Fleming, A., ..., Soumness, C., Thorburn, P.	2019	NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, 90-91,100285, 340, pp. 234-248	89
4	Applications of remote sensing in precision agriculture: A review	Siladina, R.P., Ray, R.L., Singh, S.K.	2020	Remote Sensing, 12(19), 3136, pp. 1-31, 350(1),012074	66
5	Plant phenotyping research trends, a science mapping approach	Costa, C., Schurr, U., Loreto, F., Mensurali, F., Carpentieri, S.	2019	Frontiers in Plant Science, 9,1933	56
6	Adoption of the Internet of Things (IoT) in agriculture and smart farming towards urban greening: A review	Maheshwari, A.A.R., Halgimuge, M.N., Wirasagoda, W.A.H.S., Syed, A.	2019	International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 10(4), pp. 11-28	54
7	Spaceborne Imaging Spectroscopy for Sustainable Agriculture: Contributions and Challenges	Blank, T.B., Berger, K., Bach, H., ..., Zarco-Tejada, P., Mauser, W.	2019	Surveys in Geophysics, 40(3), pp. 515-551	50
8	A smart decision system for digital farming	Bosque, C.C., Sendra, S., Lloret, J., Tomas, J.	2019	Agronomy, 9(5), 216	49
9	Experience versus expectation: farmers' perceptions of smart farming technologies for cropping systems across Europe	Kernecker, M., Knerim, A., Wurbs, A., Kraus, T., Borges, F.	2020	Precision Agriculture, 21(1), pp. 34-50	43
10	Development and evaluation of drone mounted sprayer for pesticide applications to crops	Yallappa, D., Veerangouda, M., Maski, D., Palled, V., Bheemanna, M.	2017	GHFC 2017 - IEEE Global Humanitarian Technology Conference, Proceedings, 2017, January, pp. 1-7	39
11	Machine Learning Applications for Precision Agriculture: A Comprehensive Review	Sharma, A., Jain, A., Gupta, P., Chowdhary, V.	2021	IEEE Access, 9,9311735, pp. 4843-4873	38
12	Agro-tech: A digital model for monitoring soil and crops using internet of things (IoT)	Pandithurai, O., Aishwarya, S., Aparna, B., Kavitha, K.	2017	ICONS-TEM 2017 - Proceedings: 3rd IEEE International Conference on Science Technology, Engineering and Management, 2018-January, pp. 342-346	36
13	Precision agriculture: A remote sensing monitoring system architecture	Triantafyllou, A., Sarigiannidis, P., Bibi, S.	2019	Information (Switzerland), 10(1), 248	32
14	A survey on LoRa for IoT: Integrating edge computing	Sarker, V.K., Queraha, J.P., Gao, T.N., Teahum, H., Westerlund, T.	2019	2019 4th International Conference on Fog and Mobile Edge Computing, FMEC 2019, 8795313, pp. 295-300	31
15	IoT Solutions for Precision Farming and Food Manufacturing: Artificial Intelligence Applications in Digital Food	Dolci, R.	2017	Proceedings - International Computer Software and Applications Conference, 2,8029960, pp. 384-385	30
16	Smart farming technology innovations - Insights and reflections from the German Smart-AKIS hub	Knerim, A., Kernecker, M., Endle, K., ..., Borges, F., Wurbs, A.	2019	NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, 90-91,100314	28
17	New directions for integrated weed management: Modern technologies, tools and knowledge discovery	Korres, N.E., Burgos, N.R., Travlos, L., ..., Rouse, C.E., Salas-Perez, R.	2019	Advances in Agronomy, 155, pp. 243-319	28
18	Farming smarter with big data: Insights from the case of Australia's national dairy herd milk recording scheme	Newton, J.E., Nettle, R., Pryce, J.E.	2020	Agricultural Systems, 181,102811	23
19	Smart agriculture - Urgent need of the day in developing countries	Geel, R.K., Yadav, C.S., Vishnoi, S., Rastogi, R.	2021	Sustainable Computing: Informatics and Systems, 30,100512	21
20	Precision agriculture as a driver for sustainable farming systems: State of art in literature and research	Bucci, G., Bentivoglio, D., Finco, A.	2018	Quality - Access to Success, 19(S1), pp. 114-121	21
21	An operational workflow to assess rice nutritional status based on satellite imagery and smartphone apps	Nutini, F., Confalonieri, R., Crema, A., ..., Stavrakoudis, D., Boschetti, M.	2018	Computers and Electronics in Agriculture, 154, pp. 80-92	20
22	Precision and digital agriculture: Adoption of technologies and perception of Brazilian farmers	Bolle, E.L., Jorge, L.A.C., Sanchez, J.D., ..., Ferreira, V.R., Ramirez, A.R.	2020	Agriculture (Switzerland), 10(12),653, pp. 1-16	19
23	May smart technologies reduce the environmental impact of nitrogen fertilization? A case study for paddy rice	Bacchetti, J., Palcari, L., Tartarini, S., ..., Amicizia, F., Confalonieri, R.	2020	Science of the Total Environment, 715,136956	18
24	UAV application for precision agriculture	Perz, R., Wronowski, K.	2019	Aircraft Engineering and Aerospace Technology - 15th Annual International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, DCOSS 2019, 8804834, pp. 385-392	17
25	An architecture model for smart farming	Triantafyllou, A., Tzouras, D.C., Sarigiannidis, P., Bibi, S.	2019	Proceedings - 15th Annual International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, DCOSS 2019, 8804834, pp. 385-392	16

Fonte: Scopus (2022)

Quadro 4 - Continuação dos artigos qualificados com mínimo de 15 citações

Pos.	Título	Autores	Ano de publicação	Revista	Citações
26	Putting agricultural equipment and digital technologies at the cutting edge of agroecology	Bellon-Maurel, V., Huyghe, C.	2017	OCL - Oilseeds and fats, Crops and Lipids, 24(3),D307	16
27	Reduction of fertilizer use in South China-Impacts and implications on smallholder rice farmers	Wehmeyer, H., de Guia, A.H., Connor, M.	2020	Sustainability (Switzerland), 12(6),2240	15
28	Anaerobic digestion, solid-liquid separation, and drying of dairy manure: Measuring constituents and modeling emission	Aguirre-Villegas, H.A., Larson, R.A., Sharara, M.A.	2019	Science of the Total Environment, 696,134059	15
29	A framework of cybersecurity approaches in precision agriculture	Chi, H., Welch, S., Vasserman, E., Kalaimannan, E.	2017	Proceedings of the 12th International Conference on Cyber Warfare and Security, ICCWS 2017, pp. 90-95	15

Fonte: Scopus (2022)

Dentre os 10 artigos selecionados para avaliação mais detalhada, foram extraídos conceitos chave que enriquecem o referencial teórico da pesquisa. A seguir, apresenta-se um resumo conciso dos principais temas abordados nos artigos mais relevantes.

- *A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming: A* Internet das Coisas (*IoT*) é uma tecnologia inovadora que oferece soluções eficientes para modernizar diversas áreas, incluindo a agricultura. O artigo aborda os principais aspectos das tecnologias de *IoT* aplicadas à agricultura, explicando seus componentes e discutindo as tecnologias de rede utilizadas, como arquitetura, camadas, topologias e protocolos. Além disso, explora a integração de sistemas *IoT* agrícolas com computação em nuvem, armazenamento e análise de big data. O texto também destaca os problemas de segurança e apresenta aplicativos de *smartphones* e sensores para gerenciamento agrícola. Também são abordadas as regulamentações internacionais e histórias de sucesso, junto com desafios de pesquisa no campo da agricultura *IoT*.
- *Applications of remote sensing in precision agriculture: A review:* A agricultura desempenha um papel crucial em suprir as necessidades humanas básicas, mas enfrenta desafios devido ao aumento da demanda por alimentos, crescimento populacional e impactos ambientais. Tecnologias emergentes, como *IoT*, análise de *Big Data* e inteligência artificial, estão sendo utilizadas para tomar decisões mais informadas e aumentar a produção agrícola de forma sustentável. A agricultura de precisão (AP) aplica essas tecnologias para otimizar o uso de insumos e reduzir desperdícios. O uso de sensoriamento remoto, como imagens de satélite e veículos aéreos não tripulados (*UAVs*), tem aumentado nas últimas décadas, permitindo monitoramento preciso de culturas e manejo de recursos. A adoção dessas tecnologias depende do desenvolvimento de sistemas eficientes e fáceis de usar, favorecendo sua aplicação em larga escala na agricultura comercial.

- *Adoption of the Internet of Things (IoT) in agriculture and smart farming towards urban greening: A review:* Este estudo analisa a aplicação da Internet das Coisas (*IoT*) nas indústrias agrícolas e agropecuárias, destacando como ela pode melhorar a produtividade e reduzir a intervenção humana por meio da automação. A pesquisa, baseada em 60 publicações científicas de 2016 a 2018, foca em subverticais da *IoT*, como gerenciamento de água (28,08%), gerenciamento de culturas (14,60%) e agricultura inteligente (10,11%). A coleta de dados abrange medições como temperatura ambiente, umidade e pH do solo. O Wi-Fi é a tecnologia mais utilizada (30,27%), seguido pela tecnologia móvel (21,10%). Os resultados indicam que o setor agrícola é mais pesquisado (76,1%) que o agropecuário (23,8%). O estudo oferece recomendações para futuras pesquisas, incluindo a escalabilidade dos sistemas *IoT*, segurança e plataformas de nuvem, com foco na melhoria da eficiência da produção agrícola.
- *Experience versus expectation: farmers' perceptions of smart farming technologies for cropping systems across Europe:* As inovações tecnológicas, especialmente as chamadas tecnologias agrícolas inteligentes (*SFT*), estão transformando a mecanização na agricultura e promovendo uma agricultura mais sustentável na Europa. Uma pesquisa com 287 agricultores de sete países da UE e 22 especialistas revelou que 50% dos agricultores adotaram as *SFT*, com maior adoção em fazendas maiores e em sistemas de cultivo arvense. Embora os agricultores reconheçam a utilidade das *SFT*, muitos têm dúvidas sobre seu potencial em desafios específicos das fazendas. Além disso, tanto adotantes quanto não adotantes têm hesitações, os primeiros estão desiludidos com as tecnologias que utilizam, enquanto os segundos questionam sua disponibilidade e acessibilidade. A pesquisa indicou que 60% dos agricultores sugerem melhorias para tornar as *SFT* mais relevantes. A comunicação entre pares é vista como uma importante fonte de informação, e tanto agricultores quanto especialistas destacam a necessidade de aconselhamento imparcial. Os especialistas geralmente têm uma visão mais positiva sobre as *SFT* e suas tendências de longo prazo. Os resultados sugerem que, para melhorar a adoção e o desenvolvimento das *SFT*, é necessário considerar as diferenças nas estruturas agrícolas e sistemas de cultivo da Europa.
- *Precision and digital agriculture: Adoption of technologies and perception of Brazilian farmers:* O rápido crescimento populacional tem aumentado a demanda por alimentos, fibras, energia e água, exigindo o uso mais sustentável dos recursos naturais. Desde a década de 1990, a agricultura de precisão tem promovido ganhos produtivos e maior

eficiência no uso de insumos. A conectividade rural e a integração com dados de sensores e dispositivos móveis deram origem à Agricultura 4.0 ou digital. Uma pesquisa com 504 agricultores brasileiros revelou que 84% utilizam pelo menos uma tecnologia digital em suas operações, com benefícios percebidos principalmente em aumento de produtividade. Os desafios incluem os custos de aquisição de tecnologias e conectividade. Além disso, 95% dos agricultores demonstraram interesse em conhecer novas tecnologias para melhorar suas propriedades.

O Quadro 4 apresenta os 10 artigos selecionados que foram utilizados como base para a construção do referencial teórico deste estudo.

Quadro 5 - Artigos para referencial teórico

1	A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming	Farooq, M.S., Riaz, S., Abid, A., Abid, K., Naeem, M.A.	2019	IEEE Access 7,8883163, pp. 156237-156271, 96(4), pp. 1540-1550, 293,126130	181
4	Applications of remote sensing in precision agriculture: A review	Sishodia, R.P., Ray, R.L., Singh, S.K.	2020	Remote Sensing, 12(19), 3136, pp. 1-31, 350(1),012074	66
6	Adoption of the Internet of Things (IoT) in agriculture and smart farming towards urban greening: A review	Madushanki, A.A.R., Halgamuge, M.N., Wirasagoda, W.A.H.S., Syed, A.	2019	International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 10(4), pp. 11-28	54
9	Experience versus expectation: farmers' perceptions of smart farming technologies for cropping systems across Europe	Kernecker, M., Knierim, A., Wurbs, A., Kraus, T., Borges, F.	2020	Precision Agriculture, 21(1), pp. 34-50	43
13	Precision agriculture: A remote sensing monitoring system architecture	Triantafyllou, A., Sarigiannidis, P., Bibi, S.	2019	Information (Switzerland), 10(11),348	32
14	A survey on LoRa for IoT: Integrating edge computing	Sarker, V.K., Queralta, J.P., Gia, T.N., Tenhunen, H., Westerlund, T.	2019	2019 4th International Conference on Fog and Mobile Edge Computing, FMEC 2019, 8795313, pp. 295-300	31
22	Precision and digital agriculture: Adoption of technologies and perception of Brazilian farmers	Bolfe, É.L., Jorge, L.A.C., Sanches, I.D., (...), Ferreira, V.R., Ramirez, A.R.	2020	Agriculture (Switzerland), 10(12),653, pp. 1-16	19
25	An architecture model for smart farming	Triantafyllou, A., Tsouros, D.C., Sarigiannidis, P., Bibi, S.	2019	Proceedings - 15th Annual International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, DCOSS 2019 8804834, pp. 385-392	16
26	Putting agricultural equipment and digital technologies at the cutting edge of agroecology	Bellon-Maurel, V., Huyghe, C.	2017	OCL - Oilseeds and fats, Crops and Lipids, 24(3),D307	16
29	A framework of cybersecurity approaches in precision agriculture	Chi, H., Welch, S., Vasserman, E., Kalaimannan, E.	2017	Proceedings of the 12th International Conference on Cyber Warfare and Security, ICCWS 2017, pp. 90-95	15

Fonte: Scopus (2022)

4.2 ANÁLISE DETALHADA DO ESTUDO DE CASO

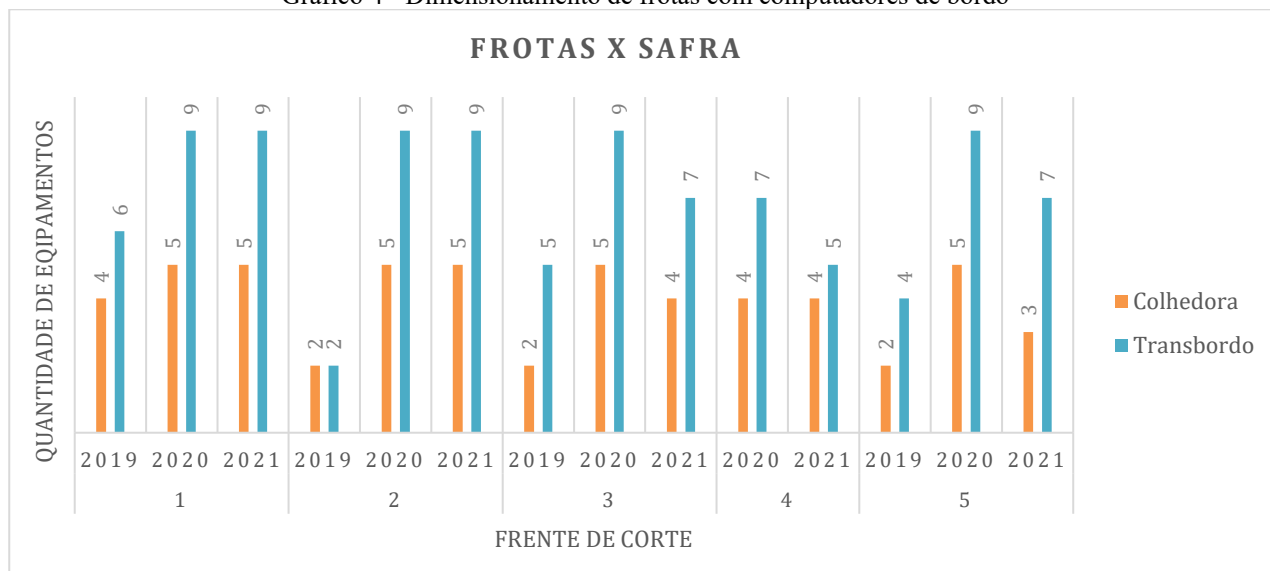
Este artigo foca nas análises dos resultados obtidos durante o ano de implantação da solução tecnológica e, posteriormente, após dois anos de seu uso, com um acompanhamento específico do processo de corte e carregamento da matéria-prima.

A análise concentra-se nos dados gerados pelas colhedoras e tratores transbordos, equipamentos dimensionados dentro do escopo do projeto.

O primeiro levantamento realizado envolveu uma análise da base histórica dos dados coletados pelos computadores de bordo instalados nos equipamentos de colheita da organização. Esses dados serviram como a base analítica para o estudo de caso.

As frentes de trabalho são ilustradas no gráfico 4, que apresenta o dimensionamento dos equipamentos utilizados nas safras de 2019, 2020 e 2021, com foco específico no mês de outubro de cada ano.

Gráfico 4 - Dimensionamento de frotas com computadores de bordo



O segundo tópico analisado refere-se aos índices de ocorrências, apresentados em horas, geradas pela operação denominada "Sem Apontamento". Esta operação caracteriza-se pela única demanda de intervenção homem/máquina, ocorrendo quando o operador, através do computador de bordo, deixa de registrar os períodos de parada do equipamento, resultando automaticamente em uma operação improdutiva "Sem Apontamento".

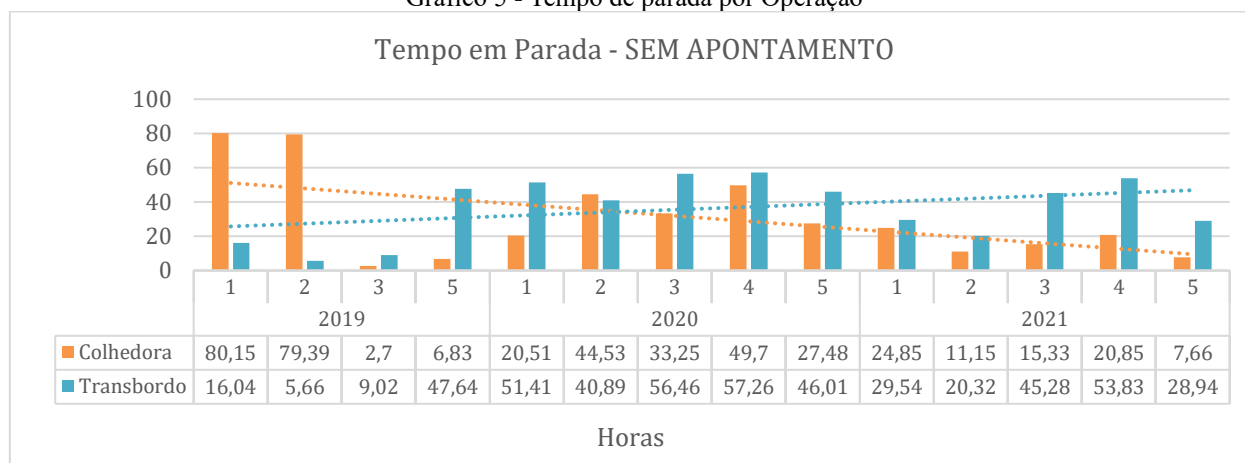
Para aplicar o conceito de COA, conforme apresentado na seção 3.3.3, é essencial que a equipe tática realize um acompanhamento contínuo e assertivo da *performance* operacional, com foco na melhoria da qualidade da informação.

Nesse contexto, mapear as paradas de produção permite o registro de operações improdutivas, facilitando o controle e a comparação entre o planejado e o realizado, conforme definido pela Central de Operações Agrícolas.

Índices elevados de "Sem Apontamento" tornam o processo impreciso, geram distorções nos resultados da gestão e dificultam ações de melhoria contínua, que visam transformar as oportunidades identificadas nas operações improdutivas em ganhos de eficiência nas operações produtivas.

O gráfico 5 apresenta o total de horas acumuladas pela operação "Sem Apontamento" no mês de outubro de cada safra.

Gráfico 5 - Tempo de parada por Operação



Fonte: Os Autores.

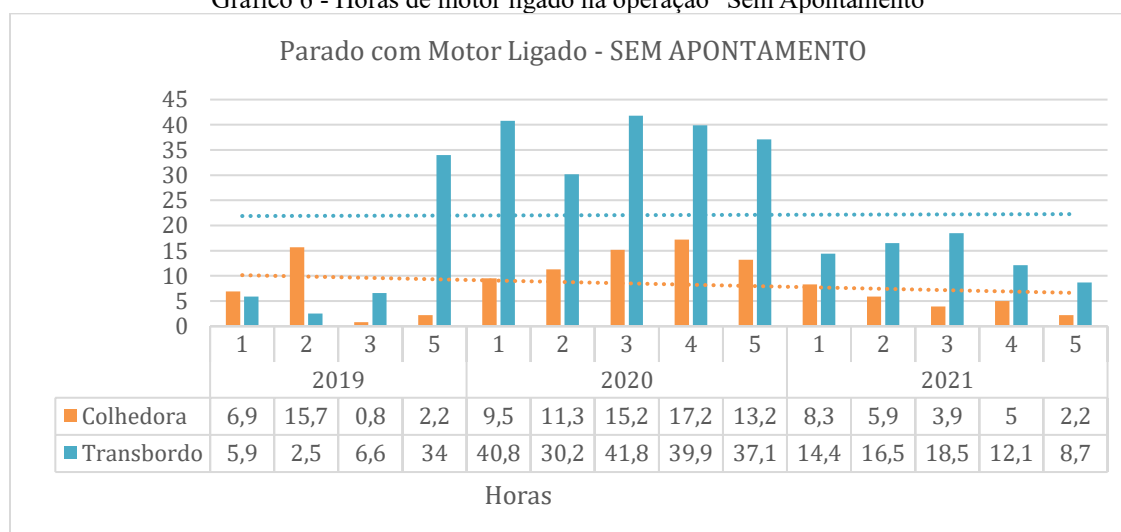
No gráfico, observa-se que, no ano de 2019, a frente de corte número 4 não está referenciada, devido à ausência dessa frente na colheita de cana-de-açúcar durante esse período.

Outro ponto relevante identificado durante o período analisado é apresentado no Gráfico 6, onde se observa um agravante na operação em destaque: o índice de motor ligado enquanto o equipamento se encontra em estado de parada.

Esse valor é consideravelmente significativo para uma operação que deveria seguir a rotina de motor desligado.

Essa ocorrência gera um indicativo importante: o consumo de diesel dos equipamentos. Vale ressaltar que, entre os custos com maquinário agrícola, o combustível e o lubrificante representam uma faixa de 16% a 45% dos custos totais da operação.

Gráfico 6 - Horas de motor ligado na operação "Sem Apontamento"



Fonte: Os Autores.

Ao analisar o percentual de motor ligado durante a operação de parada “Sem Apontamento”, é possível observar o impacto significativo dessa ocorrência em relação aos outros fatores que causam ociosidade do motor, também caracterizados por operações improdutivas que exigem o desligamento do motor. Em 2019, a operação de motor ligado representou 30,1% do total de operações improdutivas, seguida de 59,9% em 2020 e 38,6% em 2021. Esses dados indicam que a Central de Operações Agrícolas (COA) não teve um desempenho eficiente ao longo dos anos, deixando de promover melhorias contínuas no controle dessa ocorrência de consumo elevado.

Ao longo das coletas históricas, foi possível evidenciar a importância do monitoramento efetivo da mecanização agrícola (realizado por meio dos computadores de bordo instalados nas máquinas), com a responsabilidade do setor COA. Esse monitoramento, quando bem aplicado, pode aumentar significativamente a eficiência operacional ao identificar e agir nas oportunidades de aumento do tempo produtivo, além de possibilitar uma intervenção consciente nas situações que requerem apontamentos manuais.

Um controle ativo por parte da COA, aliado à elaboração de planos de ação que identificam e tratam os principais motivos de paradas, especialmente no caso da operação “Sem Apontamento”, são premissas essenciais para uma gestão eficaz e focada em resultados. O gráfico 5 ilustra que foram necessárias três safras para alcançar uma melhoria no índice de paradas da operação “Sem Apontamento” das colhedoras, que ainda permanece acima do *benchmark* de mercado, que gira em torno de 2%. Esse cenário é em contraste com os índices observados no Trator Transbordo, que apresentou uma tendência crescente, em comparação com o ano de implantação.

5 DISCUSSÃO

Neste artigo, com base na RBS possibilitou-se explorar a crescente presença das tecnologias 4.0 nas fazendas e organizações do agronegócio, com uma ampla gama de *hardware* e *software* inovadores que oferecem suporte essencial para decisões estratégicas em práticas de produção animal e vegetal. A aplicação dessas tecnologias possibilita o monitoramento em tempo real, o que facilita ajustes mais precisos e sustentáveis, promovendo maior eficiência e produtividade. No entanto, o setor ainda enfrenta o desafio de integrar as diferentes realidades socioeconômicas e geográficas, para que o acesso às inovações e o desenvolvimento de habilidades técnicas sejam democratizados. Para isso, é crucial que os conhecimentos técnicos e práticos sejam disseminados de maneira equitativa, capacitando usuários de todas as regiões e perfis agrícolas.

A análise do estudo de caso revela que, mesmo em empresas bem estruturadas e especializadas na oferta de soluções tecnológicas, é indispensável adotar um plano robusto de disseminação do

conhecimento para todos os envolvidos. Tal plano deve incluir tanto a fase de implantação quanto o acompanhamento contínuo no pós-atendimento, acompanhando as mudanças nas equipes e medindo regularmente a capacidade dos usuários em absorver e aplicar as inovações. Essa abordagem é fundamental para garantir que o avanço tecnológico seja sustentável e bem adaptado às condições operacionais de cada organização. Com o acompanhamento contínuo, é possível mitigar os impactos de um alto *turnover* de colaboradores e assegurar que o conhecimento adquirido seja continuamente reforçado, evitando a perda de *expertise* e promovendo uma maior autonomia no uso das tecnologias.

A pesquisa exploratória também identificou uma lacuna importante no estado da arte: a falta de conteúdos voltados às boas práticas de uso das tecnologias 4.0, bem como de modelos de uso e lições aprendidas, que poderiam fortalecer a gestão do conhecimento. Esse tipo de conteúdo é essencial para aumentar a eficácia das soluções tecnológicas, promover o compartilhamento de conhecimentos entre os usuários e impulsionar a inovação de forma colaborativa. Apesar de a literatura e o mercado agroindustrial estarem amplamente abastecidos de serviços e aplicações para a agricultura 4.0, há uma carência de materiais práticos e aplicáveis, o que representa uma oportunidade de desenvolver um acervo robusto de práticas de gestão do conhecimento que orientem o uso efetivo das inovações.

6 CONCLUSÃO

A transformação digital no agronegócio brasileiro, impulsionada pela tecnologia 4.0, está mudando a maneira como as atividades agrícolas são geridas, trazendo ganhos expressivos em produtividade, sustentabilidade e competitividade. No entanto, para que essa revolução seja inclusiva e sustentável, é preciso promover uma integração mais eficaz entre tecnologia e capacitação, envolvendo universidades, centros de pesquisa, empresas e *startups* em iniciativas que ampliem o acesso às inovações e gerem conhecimento prático para os usuários.

Ao longo deste artigo, destacou-se a importância de um plano contínuo de gestão do conhecimento, que abranja tanto a implantação quanto o acompanhamento pós-venda, de modo a assegurar que os usuários tenham as habilidades necessárias para lidar com as constantes inovações. Essa abordagem permite não apenas a atualização tecnológica das operações, mas também o fortalecimento do capital humano, criando um ambiente colaborativo e adaptável às mudanças do setor.

Por fim, o fortalecimento da base de conhecimento prático, com foco em boas práticas e modelos de uso, é fundamental para que o agronegócio brasileiro possa aproveitar ao máximo o potencial da Agricultura 4.0. Dessa forma, será possível construir um ecossistema mais inovador,

competitivo e sustentável, que contribua significativamente para o desenvolvimento do país e para a segurança alimentar global.

REFERÊNCIAS

- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.
- BOLFE, E. L.; JORGE, L. A. C.; SANCHES, I. D.; LUCHIARI JR., A.; COSTA, C.C.; VICTORIA, D. C.; INAMASU, R. Y.; GREGO, C. R.; FERREIRA, V.R.; RAMIREZ, A.R. Precision and digital agriculture: Adoption of technologies and perception of Brazilian farmers. *Agriculture* 2020, v. 10: 653.
- BOLFE, E. L.; JORGE, L. A. C.; SANCHES, I. D. Tendências, desafios e oportunidades da Agricultura Digital no Brasil. *Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar* v. 7, n. 2, 2021.
- BOLFE, E.L; BARBEDO, J.G.A; MASSUHÁ, S.M.F.S; SOUZA, K.X.S de; ASSAD, E.D. Agricultura digital no Brasil: tendências, desafios e oportunidades. Resultado de pesquisa online. Capítulo em livro científico (ALICE). Campinas-SP, 2020
- CASTELLS, Manuel. «A Sociedade em Rede – A era da informação: economia, sociedade e cultura - Vol. I». São Paulo, SP, Paz e Terra, 1999.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Roteiro para Revisão Bibliográfica Sistemática: Aplicação no Desenvolvimento de Produtos e Gerenciamento de Projetos. 8o. Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, V. 8, Porto Alegre, RS, 2011.
- CLERCQ, L.; VATS, A.; BIEL, J. Os processos tecnológicos utilizados pela Agricultura 4.0 e seu impacto na produção rural. 2018.
- DANE, F. A. Research design: a guide for researchers in education and the social sciences. London: Prentice Hall, 1990.
- EMBRAPA. Portfólios de P&D da Embrapa: desafios de inovação. Brasília, DF: SPD/Ideare, 2019.
- FERNANDES, Ana Cláudia Terence. Planejamento estratégico como ferramenta de competitividade na pequena empresa: desenvolvimento e avaliação de um roteiro prático para o processo de elaboração do planejamento. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.
- FAO, 2010. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <http://faostat.fao.org/default.aspx>. Acesso em: 18 out 2024.
- HELENO, F. L. Gestão estratégica no agronegócio brasileiro: fundamentos e aplicações. São Paulo: Atlas, 2009.
- KOTLER, P. Administração de Marketing. 16. ed. São Paulo: Pearson, 2020.
- KLERKXA, L.; ROSEB, D. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0. *Global Food Security*, v. 24, n.3, p. 1-7, Mar. 2020. DOI: 10.1016/j.gfs.2019.100347.

LEE, I.; LEE, K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, v. 58, n. 4, p. 431-440, 2015.

MASSRUHÁ, S.; LEITE, M.; OLIVEIRA, S.; MEIRA, C.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E.(Org.). *Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas*. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2020. v. 1. 406 p.

MASSRUHÁ, Silvia Maria Fonseca Silveira; LEITE, Maria Angelica de Andrade. *Agro 4.0 - Rumo à agricultura Digital*. 2017.

REVISTA MERCOSUL. Agronegócio brasileiro cresce e se destaca mundialmente. *Revista Mercosul*, edição de outubro de 2017.

SCHUMPETER, J.A. *A teoria do desenvolvimento econômico*. São Paulo: Nova Cultural, 1988.

SEIDLER, E.P. e Fritz Filho, L.F. 2016. A evolução da agricultura e o impacto gerado pelos processos de inovação: um estudo de caso no município de Coxilha - RS. *Economia e Desenvolvimento*. 28, 1 (nov. 2016). DOI:<https://doi.org/10.5902/1414650921316>.

SILVA, José Renato da. *A tecnologia no campo e a gestão efetiva do agronegócio*. 2018.

SCOPUS. Documents search results. Disponível em: <https://www.scopus.com/results/results.uri?sort=cpf&src=s&st1=digital+AND+agriculture&st2=technology+AND+application&sid=497e6f22b1927c2dea5ba5b8d72895d0&sot=b&sdt=b&sl=151&s%28TITLE-ABS-KEY%28digital+AND+agriculture%29+AND+TITLE-ABS-KEY%28technology+AND+application%29+AND+TITLE-ABS-KEY%28farming%29%29+AND+PUBYEAR+%3e+2016+AND+PUBYEAR+%3c+2022&origin=savedSearchNewOnly&txGid=237e8eecdac1b31547377ae3206070b#>. Acesso em: 13 mai 2022.

TRIANTAFYLLOU, A.; SARIGIANNIDIS, P.; BIBI, S. Precision agriculture: A remote sensing monitoring system architecture. *Information* 2019, v. 10, n. 11: 348.

WEBSTER, J.; WATSON, J.T. Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review. *MIS Quarterly & The Society for Information Management*, v.26, n.2, pp.13-23, 2002.