

## Estudo dos Agronegócios 4.0 – Tecnologias, desafios e benefícios nos Agronegócios

Study of Agribusiness 4.0 – Technologies, challenges and benefits in Agribusiness

Estudio de Agronegocios 4.0 – Tecnologías, desafíos y beneficios en Agronegocios

Recebido: 15/09/2022 | Revisado: 02/10/2022 | Aceitado: 03/10/2022 | Publicado: 09/10/2022

### Vinício Luan Chagas de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8451-9958>  
Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: [vinicyo.oliveira@unemat.br](mailto:vinicyo.oliveira@unemat.br)

### Max Roberto Marinho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6904-2722>  
Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: [max.marinho@unemat.br](mailto:max.marinho@unemat.br)

### Daniela Cabral de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9647-933X>  
Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: [daniela.cabral@unemat.br](mailto:daniela.cabral@unemat.br)

### Mielle Silva Pestana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0222-0256>  
Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: [miellepestana@gmail.com](mailto:miellepestana@gmail.com)

### Sérgio Santos Silva Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5607-9198>  
Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: [santos@unemat.br](mailto:santos@unemat.br)

### Lucas Sperotto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4941-7398>  
Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: [sperotto@unemat.br](mailto:sperotto@unemat.br)

### Fernando Obana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5140-8741>  
Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: [obana@unemat.br](mailto:obana@unemat.br)

### Resumo

É apresentado um estudo sobre o Agronegócio 4.0 (Agro 4.0) e sua evolução ao longo dos anos e, ainda, tecnologias como Internet das Coisas (IoT), *Big Data*, Sensoriamento Remoto, Drones e *Machine Learning* estão sendo aplicados no Agro 4.0. São apresentados, também, os benefícios e desafios das tecnologias e estado da arte no Agro 4.0. O objetivo do trabalho é realizar uma pesquisa bibliográfica sobre o Agro 4.0 e identificar as principais tecnologias adotadas, bem como os benefícios e desafios das mesmas. Nessa revisão quali-quantitativa, as dissertações, as teses e os artigos foram selecionados nas bases de dados Scielo e Google Acadêmico, também foram selecionados livros para o desenvolvimento do trabalho. O presente estudo justifica-se pelo crescimento das tecnologias no Agro, com foco nos trabalhos do estado da arte da inteligência artificial nesse ramo. Nesse sentido, é possível concluir que o Agro 4.0 encontra-se em expansão e numa possível transição para o Agro 5.0.

**Palavras-chave:** Agronegócios 4.0; Tecnologias; Estado da arte.

### Abstract

A study is presented on Agribusiness 4.0 (Agro 4.0) and its evolution over the years, and how technologies such as the Internet of Things (IoT), *Big Data*, Remote Sensing and Drones and Machine Learning are being applied in Agro 4.0. The benefits and challenges of technologies and state of the art in Agro 4.0 are also presented. The objective of the work is to carry out bibliographic research on Agro 4.0 and identify the main technologies adopted, as well as benefits and challenges of them. In this qualitative-quantitative review, articles, dissertations and theses were selected from the Scielo and Google Scholar databases, and books were also selected for the work. The study of the present work is justified by the growth of technologies in Agro with a focus on state-of-the-art artificial intelligence works in this field. In this sense, it is possible to conclude that Agro 4.0 is expanding and in a possible transition to Agro 5.0.

**Keywords:** Agribusiness 4.0; Technologies; State of art.

### Resumen

Se presenta un estudio Agronegocios 4.0 y su evolución a lo largo de los años, y cómo se están aplicando tecnologías como Internet de las Cosas (IoT), Big Data, Teledetección y Drones y Aprendizaje Automático en Agro 4.0. También

se apresentam los beneficios y desafíos de las tecnologías y el estado del arte en Agro 4.0. El objetivo del trabajo es realizar una investigación bibliográfica sobre Agro 4.0 e identificar las principales tecnologías adoptadas, así como los beneficios y desafíos de las mismas. En esta revisión cualitativa-cuantitativa se seleccionaron artículos, disertaciones y tesis de las bases de datos Scielo y Google Scholar, y también se seleccionaron libros para el desarrollo del trabajo. El estudio del presente trabajo se justifica por el crecimiento de las tecnologías en Agro con foco en trabajos de inteligencia artificial de última generación en este campo. Em este sentido, es posible concluir que Agro 4.0 se encuentra en expansión transición a Agro 5.0.

**Palabras clave:** Agroindustria 4.0; Tecnologías; Estado del arte.

## 1. Introdução

A humanidade enfrenta um grande desafio para garantir a segurança alimentar para uma população mundial que cresceu a uma taxa de 1,05% ao ano em 2020 (Worldmeter, 2022). Além disso, a população global deverá aumentar de 7,8 bilhões de pessoas em 2020 para, aproximadamente, 10 bilhões em 2050 (Pison, 2022). Esse crescimento populacional demandará um aumento na produção de alimentos, exigindo assim um aumento exponencial do Agronegócio, ou seja, aumento da produção de alimentos conforme objetivo do Agro 4.0.

Nesse sentido, Queiroz *et al.* (2021) afirmam que o aumento na produção de alimentos pode ser alcançado usando tecnologias que permitem ao agricultor monitorar o sistema solo-planta-atmosfera, de modo que os fatores que levam à redução da produtividade das culturas possam ser detectados e gerenciados para diminuir as perdas de produtividade, aplicando técnicas de agricultura de precisão na agricultura digital.

A revolução digital tem causado grande impacto no desenvolvimento em diversos segmentos (Fleming *et al.*, 2021), e na Agricultura projetos de gerenciamento do uso da água (Lima *et al.*, 2020) com irrigação controlada (Boursianis *et al.*, 2020), uso de sensores de parâmetros do solo (Lezoche *et al.*, 2020) com aplicação de nutrientes (Kodan *et al.*, 2020) e o monitoramento em tempo real (Mazzetto *et al.*, 2020) das condições climáticas cada vez mais desfavoráveis em muitas regiões do planeta (Symeonaki, *et al.*, 2020) são opções para os Agronegócios 4.0 (Agro 4.0).

De acordo com Lezoche *et al.*, (2020) no Agro 4.0 é possível proporcionar sistemas automatizados que enviam comandos para a plantação, com uso de redes de comunicação sem fio que interligam máquinas e dispositivos atuadores para controle e monitoramento da produção e, assim, obter benefícios importantes como redução do consumo de água, de fertilizantes, de defensivos agrícolas (herbicidas e pesticidas), da alocação da força de trabalho nas regiões agrícolas, da gestão de recursos eficientes (Trivelli *et al.*, 2019), do conhecimento detalhado sobre a plantação e colheita (Mavridou *et al.*, 2019) e, ainda, serve de apoio aos agricultores em processos de tomada de decisão baseada em dados (Klerkx, Rose, 2020; Monteleone, Moraes, Faria, 2020a & Zhal *et al.*, 2020).

Por sua vez, Jorgensen (2018) afirma que os agricultores com unidades de produção maiores já utilizam tecnologias digitais do Agro 4.0, em cenários de pulverização e de preparação do solo, com potencial de ganhos econômicos e ambientais e com os dados sendo compartilhados em ambientes de nuvem que auxiliam outros produtores na tomada de decisões estratégicas e operacionais (Saiz-Rubio & Rovira-Más, 2020).

Assim, as tecnologias aplicadas no agronegócio possibilitam o aumento nas economias rurais com apoio em operações de plantação, de produção, de marketing e da gestão da cadeia de negócios agrícolas (Raj *et al.*, 2021).

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma pesquisa bibliográfica sobre o Agro 4.0 e sua evolução ao longo dos anos e, ainda, tecnologias como Internet das Coisas (IoT), *Big Data*, Sensoriamento Remoto, Drones e *Machine Learning* estão sendo aplicados no Agro 4.0, e de que forma mesmas são caracterizadas enquanto benefícios e desafios no Agro 4.0. Também é ressaltado o estado da arte da inteligência artificial no Agro 4.0 e em quais campos estão sendo pesquisados.

O estudo do presente trabalho se justifica pelo crescimento das tecnologias no Agro, com foco nos trabalhos do estado da arte da inteligência artificial nesse ramo. Nesse sentido, é possível concluir que o Agro 4.0 encontra-se em expansão e numa possível transição para o Agro 5.0.

## 2. Desenvolvimento

Este trabalho trata-se de uma pesquisa qualitativa, com base em uma revisão exploratória, conforme metodologia proposta por Gil (2008).

Os artigos para compor este trabalho foram selecionados a partir de livros, de teses, de resumos, de sites e de artigos das bases de dados *Scielo* e *Google Acadêmico*, publicados entre os anos de 2015 a 2022, utilizando as palavras-chave: Agronegócio 4.0, evolução no Agro 4.0, benefícios e desafios do Agro 4.0 e estado da arte no Agro 4.0, conforme ilustra o Quadro 1.

**Quadro 1** – Quantitativo de Teses, Dissertações e Artigos.

Descritor	Tese	Dissertação	Artigo	Anos
Agronegócio	1	1	20	2017 - 2021
Agricultura Digital	1	1	37	2016 - 2021
Agricultura de Precisão	1	1	29	2014 - 2021
Internet das Coisas	1	1	29	2015 -2022
Sensoriamento Remoto e Drones e <i>Machine Learning</i>	1	1	28	

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A revisão bibliográfica sistemática da literatura consistiu dos seguintes passos: em um primeiro momento, foi realizada, de forma rápida e objetiva, com leitura dos títulos dos artigos e excluindo os artigos duplicados disponíveis em mais de uma base de dados. Em seguida, foi realizada a leitura dos artigos previamente selecionados, os quais incluíram todos os trabalhos que tratassem diretamente sobre Agronegócio 4.0, evolução no Agro 4.0, benefícios e desafios do Agro 4.0 e estado da arte no Agro 4.0. Na sequência, fez-se a ordenação das informações coletadas e realizou-se uma leitura crítica do referencial teórico.

## 3. Referencial Teórico

### 3.1 Agronegócios 4.0 e sua evolução

Ao longo dos anos, o Agronegócio teve uma grande evolução e, segundo Sordi & Vaz (2020), eles se iniciaram com o chamado Agro 1.0 que, de modo geral, era considerado substancial pelo seu baixo recurso tecnológico e baixa produtividade. No início do século 20, tinha-se o Agro 1.0, cuja força de trabalho era provida pela mão de obra das famílias, utilizando instrumentos manuais e ajudada pela tração animal. Neste sentido, era uma agricultura com baixa produção e o objetivo destes produtores era cultivar apenas para consumo próprio. Mas, conseqüentemente, gerava também um excedente de alimentos que sustentava um número sempre crescente de pessoas (Embrapa, 2020a).

Já Silva *et al.*, (2020) afirmavam que, a partir da década 1950, a agricultura passou a ser chamada de Agro 2.0, dando um salto rumo ao avanço tecnológico, quando as máquinas começaram a alcançar o campo. Por exemplo, a tração animal passou a ser substituída pelas máquinas, ressaltando o início da produção em grande escala, a comercialização em

âmbito global e o fornecimento de insumos. Nessa época, ocorreu a revolução verde que trouxe uma série de inovações tecnológicas no setor agropecuário. Essas inovações tinham como objetivo aumentar a produtividade através da modificação genética de sementes, de novas técnicas de fertilização dos solos, da utilização de produtos industrializados, tais como os agrotóxicos, e do intenso uso de máquinas, o que diminuiu o tempo gasto para a colheita. Ainda a criação cuidadosa de gado, a rotação deliberada de culturas e melhores equipamentos, com a introdução do motor a combustão, ajudaram a aumentar a produção. Desta forma, a mecanização no campo tornou-se uma tendência no início do século XX (Embrapa, 2020a). De acordo com a Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão, a agricultura de precisão é:

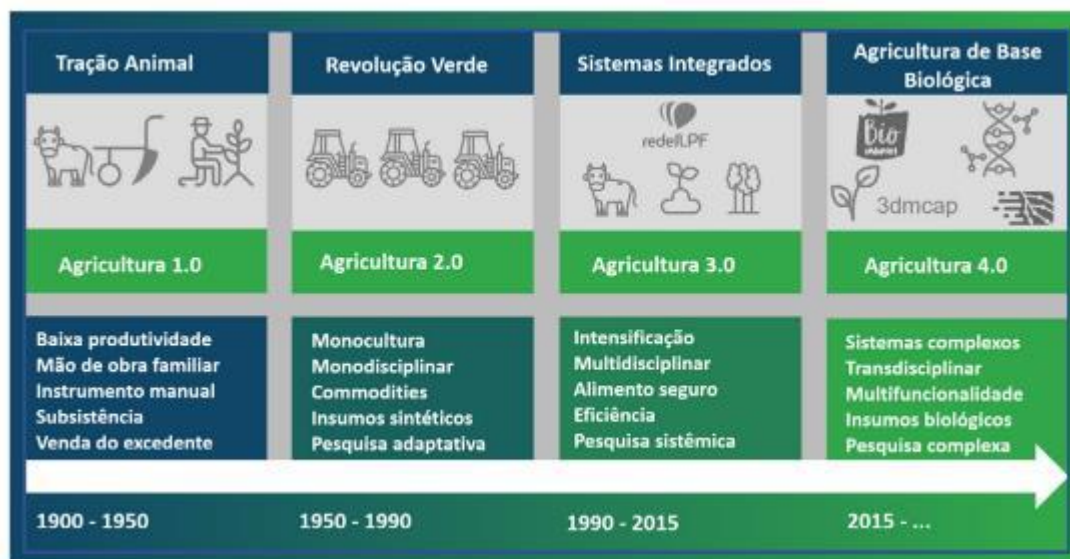
[...] uma estratégia de gestão que coleta, processa e analisa dados temporais, espaciais e individuais e os combina com outras informações para apoiar as decisões de gerenciamento de acordo com a variabilidade estimada para melhorar a eficiência no uso de recursos, produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade da produção agropecuária (Springer, 2020, p. 1).

De acordo com Sordi & Vaz (2020) o Agro 3.0 surgiu no século 20, com a demanda por produção sustentável e automação no campo, introduzindo métodos para coleta de dados digitais que fornecem informações para que os produtores agrícolas possam tomar decisões para melhorar a produtividade. Desde então, as tecnologias evoluíram de um modo inimaginável para a época, com máquinas e implementos que aumentam a eficiência das atividades do campo, uma tendência que ficou conhecida como agricultura de precisão, inaugurando a agricultura 3.0 (Embrapa, 2020a).

Nesse sentido, surgiu então o Agro 4.0, também conhecido como agricultura digital, que busca desenvolver hardware (máquinas) e softwares (programas de computador) que são capazes de realizar tomadas de decisões assertivas, tornando a agricultura mais produtiva e sustentável (Massruhá *et al.*, 2020). O Agro 4.0 tem como foco a redução de custo na utilização de defensivos agrícolas, de água para irrigação, de fertilizantes e outros (Santana *et al.*, 2019), aumentando assim a eficiência e a produtividade. De acordo com Clercq *et al.*, (2018) a quarta revolução nos campos tem que enxergar o cenário como um todo, onde os *stakeholders* sejam beneficiários de todo o processo: os produtores rurais agregam valor a sua produção e aumentam sua lucratividade, mas ao mesmo tempo garantem alimentos à sociedade e não degradam o meio ambiente (com redução dos usos dos insumos industriais e do emprego racional dos recursos hídricos), redesenhando a cadeia de valor do setor. Nessa perspectiva, a aplicação dos avanços tecnológicos na agricultura permitirá essa conquista global.

Paralelamente a essas novas demandas da agricultura surge a transformação digital, conforme abordado na seção de Introdução, trazendo as novas tecnologias disruptivas que passaram a ser utilizadas provocando o surgimento da agricultura digital e levando a mais uma fase da revolução tecnológica, ou seja, a agricultura 4.0, que é uma analogia à Indústria 4.0, como resultado da transformação digital do setor agrícola, por meio da coleta massiva de dados para ajudar na tomada de decisão (Massruhá *et al.*, 2020). A Figura 1 ilustra a evolução da agricultura e suas respectivas fases.

**Figura 1** - Fases da evolução dos Agronegócios.



Fonte: Adaptado de Pilon (2017).

Silva e Cavichioli (2020) afirmam que a tecnologia é um aglomerado de cadeias produtivas que possibilita a interação do físico com o virtual, sendo assim o grande responsável pelo impulso do Agro 4.0, estimulando ainda mais o setor para uma nova era.

De acordo Silva e Cavichioli (2020), a agricultura digital não está limitada somente à mecanização do campo, mas sim à unificação do virtual e o físico, tornando a tomada de decisão rápida e concreta. Além disso, os dados são coletados e processados para uma tomada de decisão assertiva. Sordi e Vaz (2020) destacam que os dados podem ser coletados por satélites, sensoriamento remoto e até mesmo drones. Com estes dados é possível realizar o mapeamento da plantação e localizar necessidades distintas na mesma plantação, proporcionando que as máquinas possam ser operadas de forma remota para atender necessidades específicas em diferentes locais de uma mesma plantação.

Zeymer (2021) afirma que a fazenda inteligente, ou seja, controlada por máquinas inteligentes, é constituída por agricultura de precisão, digital e Agro 4.0, marcando o avanço rumo à unificação do mundo físico com o virtual. Nesse sentido, as tecnologias como: automação, agricultura de precisão, robótica, *Big Data*, Internet das Coisas (IoT), Sensoriamento Remoto, Blockchain e Drones se tornam cada vez mais necessárias para uma agricultura sustentável e de alto desempenho.

Keogh e Henry (2016) definem o Agro 4.0 como o emprego de sensores digitais que são acoplados nas diversas máquinas agrícolas (tratores, colheitadeiras, pulverizadores, semeadoras, ordenhadeira, etc) e os dados que são gerados para tomada de decisões na gestão da propriedade rural. Nessa mesma linha de raciocínio, Zhal *et al.* (2020) acrescentam que o Agronegócio 4.0 é o resultado da somatória do uso de IoT, *Big Data* e Inteligência Artificial e suas ferramentas como os sensores e computação em nuvem, que podem incrementar as atividades agropecuárias com aumento da eficiência nos processos.

Ademais, Klerkx *et al.* (2019) afirmam que o Agro 4.0 é um conceito embasado nos diferentes tipos de dados que são produzidos (localização, clima, fitossanidade das plantas, nutrientes e umidade no solo, consumo de energia, preços, variações do mercado, etc), armazenados e processados pelos diversos dispositivos, e por meio das informações levantadas, fazer análises temporais do passado, prever o futuro e tomar as decisões por meio deles.

### 3.2 Tecnologias aplicadas ao Agro 4.0

O Agro 4.0 busca a interação de práticas sustentáveis e precisas, com a interação disponibilizada por meio das redes de conexão, por meio de novos conceitos aplicados no Agronegócio como a Internet das Coisas (IoT), Big Data, Blockchain, Sensoriamento Remoto, Drones, sendo possível fazer a gestão da propriedade e sua visualização em tempo real (Lioutas *et al.* 2019).

O Agronegócio 4.0 pode ser compreendido como um fenômeno que deriva de aplicações como o uso de *Big Data*, internet das coisas, a robótica, os sensores, a integração de sistemas, a inteligência artificial, o aprendizado de máquina, o armazenamento em nuvem entre outras tecnologias, aplicados ao Agronegócio e nas cadeias de abastecimento de alimentos, fibras e bioenergia (Lisbinski *et al.*, 2020). Algumas das tecnologias aplicadas aos Agro 4.0 são abordadas a seguir.

#### 3.2.1 Internet das coisas

Na internet das coisas (IoT), cada dia mais “coisas” (máquinas, cidades, elementos de infraestrutura, veículos e residências) se conectam à internet para informar a sua situação, receber instruções e até mesmo praticar ações com base nas informações recebidas (Massruhá & Leite, 2017). De acordo com Rocha (2021) “a internet das coisas pode ser compreendida como a interação entre humanos, animais e objetos que, por meio da utilização de dispositivos computacionais, estão conectados a uma rede que tem a capacidade de se comunicar com outros [...]”.

Já Lin *et al.*, (2017) afirmam que a IoT é a interação entre humanos-animais-objetos, por meio de dispositivos computacionais que são conectados e se comunicam entre as partes. Através desses dispositivos foram desenvolvidas diversas ferramentas que realizam trabalhos, auxiliam na tomada de decisões e são fundamentais para a operação em diversas áreas, sem necessidade da presença humana, uma vez que tudo está conectado e interligado. É uma rede que conecta os aparelhos eletrônicos por meio da internet, e possibilita ao usuário obter monitoramento online, rastreabilidade por sinal de GPS, notificações sobre ações de prevenções dos processos, gestão de segurança, controle e manutenção remota e entre outras coisas.

De acordo com Chen e Yang (2019), a IoT pode ser aplicada no Agronegócio em funções de sensoriamento, identificação, transmissão, monitoramento e feedback nas operações das propriedades rurais, com a promessa de obter precisão nas ações e aplicações, agregando valor aos processos, reduzindo custos de tempo e financeiro, aliando aos ganhos de produtividade, desmascarando algumas ideias que são inseridas no senso comum dos produtores rurais. Por meio das adoções das tecnologias de IoT, os problemas de baixa eficiência na infraestrutura agropecuária, que são gargalos produtivos, podem ser superados e levar ao pleno desenvolvimento, com gerenciamento e a possibilidade de levantar dados e informações.

Além disso, a IoT pode se associar às técnicas de Agricultura de Precisão (AP). Conforme Kodati e Jeeva (2019) as práticas de AP se tornam efetivas com as ferramentas disponibilizadas pela IoT, de forma que uma concepção completa a outra. Desta forma, o objetivo da AP é o retorno de produtividade, combinado com a redução de uso de insumos. A AP pode ser mais eficaz com a adoção dos sensores e atuadores de IoT, que maximizam os resultados de estudos sobre os solos, aplicações de insumos por taxa variável, otimização da taxa de irrigação de taxa variável (VRI), com a utilização de drones, com sistema de posicionamento global (GPS) para mapeamento da propriedade. As aplicações da IoT, na agricultura, vão desde operações de plantio, controle de biomassa e pragas, colheita e entre outras atividades.

As ferramentas de IoT são capazes de coletar inúmeros dados importantes para gestão de uma propriedade rural, seja informações do solo, da produtividade, sobre ameaças de doenças e pragas, por exemplo, e que podem gerar resultados positivos para o produtor. Com isso, é primordial a ciência de dados e saber fazer sua análise para o aproveitamento total dos aparelhos e, junto ao IoT, as técnicas de *Big Data* complementam sua função (Jayaraman *et al.*, 2016).



### 3.2.2 Big Data e Cloud Computing

Os avanços tecnológicos revolucionaram a maneira de tomar decisões, principalmente no segmento agrícola, em que a tomada de decisão se dava através de conhecimento prático e de experiências passadas. Essas novas técnicas resultam no aumento exponencial de dados, que é representada pelo *Big Data*, uma ferramenta que apresenta dados e que pode decifrar diversos cenários para tomadas de decisões (Hashem *et al.*, 2015).

O conceito de *Big Data* pode ser compreendido como grande volume de dados, variedade e velocidade de transmissão dos mesmos e que demandam formas inovadoras e rentáveis de processamento da informação, para melhor percepção e tomada de decisão. Já a Computação nas Nuvens (*Cloud Computing*) elimina o custo na compra de hardware, de software e na instalação e na execução de *datacenters* locais, pois estes recursos são disponibilizados como serviços por intermédio da internet.

Silva & Cavichioli (2020) afirmam que o conceito de *Big Data* se dá pela utilização de um sistema inteligente de armazenamento e análise. De acordo Massruhá *et al.* (2020) os dados são coletados através da utilização de agricultura de precisão, sensores remotos conectados à internet (IoT) que geram um grande volume de dados (*Big Data*) entre outros que, posteriormente, são filtrados, armazenados (computação em nuvem) e analisados. Nos Agronegócios os dados estão presentes, proveniente dos Agronegócios 4.0 e da conectividade nos campos. Por meio de sensores e máquinas, proveniente da tecnologia de IoT, inúmeros dados podem ser levantados das operações rurais, através de diversos aplicativos, possibilitando mensurar informações das culturas e de suas atividades, impactando na gestão das propriedades rurais e na cadeia de *stakeholders* (Rocha, 2021).

Ressalta-se que o *Big Data* está cada vez mais presente no setor agropecuário, uma vez que toda cadeia agrícola está inserida nas tecnologias, seja nas organizações que desenvolvem os softwares e aplicativos, nos grandes *players* do mercado (fabricantes de tratores, agroquímicos, desenvolvedores de sementes, traders e processadores) e produtores rurais (Lioutas *et al.*, 2019).

Com a utilização do *Big Data*, é possível ter uma melhor tomada de decisão, visto que uma tomada de decisão automatizada reduz a complexidade para o produtor e permite que cada decisão seja tomada em tempo assertivo (Schwalbert *et al.*, 2014). Segundo Zeymer (2021) a utilização de técnicas de aprendizado de máquina e inteligência artificial para a agricultura permitirá que programas computacionais forneçam resoluções e perspectivas abundantes, apoiando os agricultores a tomar decisões seguras.

Um aporte significativo do *Big Data* no agronegócio está associado a ganhos em sustentabilidade. A modelagem agrônômica permite antecipar as condições ideais para a ocorrência de uma doença – levando em conta, por exemplo, a presença do patógeno, o nível de umidade e a temperatura ao longo de um número de dias. Os dados são usados para simular a probabilidade de a doença atacar a plantação, permitindo ao agricultor embasar a decisão de quando pulverizar e também o volume adequado de inseticida ou fungicida a ser aplicado na lavoura (Villafuerte *et al.*, 2018).

O *Big Data* e a Computação em Nuvem trazem soluções inovadoras para o agronegócio, possibilitando a tomada de decisões em tempo real, baseado em informações capturadas do campo, por intermédio de sensores de temperatura, umidade, pressão, localização e câmeras digitais acopladas em drones e outras máquinas. Além disso, com a popularização dos *smartphones*, o acesso, o compartilhamento e a análise da informação na nuvem tornam-se baratos, eficientes e acessíveis. Os dispositivos de IoT e máquinas com sensores e atuadores embarcados geram um volume enorme de dados, que normalmente são armazenados utilizando-se recursos de computação em nuvem, onde são aplicadas técnicas de inteligência de negócios e ferramentas analíticas, que possibilitam melhores tomadas de decisões (Lee & Lee, 2015).

### 3.2.3 Sensoriamento Remoto e Drones

No Brasil, o primeiro drone voou pela primeira vez em 1983, registrado como BQM1BR. Foi um protótipo que funcionava com propulsão a jato, registrava apenas imagens e vídeos, era pouco resistente e com difícil autonomia. O Brasil é um dos primeiros a ter o uso de drones na agricultura (Mesquita, 2014).

O drone é aplicado para registro de fotos, permitindo ao produtor mapear as falhas no plantio ou adubação e, assim, visualizar a evolução do cultivo, proceder a análise de solo e identificar as pragas e as doenças. Ademais, através de câmeras e recursos avançados, um drone pode substituir aviões ou satélites na produção de fotos georreferenciadas de propriedades rurais e lavouras, permitindo o dimensionamento das áreas de reserva legal ou de proteção permanente (Mesquita, 2014).

O uso de drones ou VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados), adaptados ao agronegócio, foi um grande avanço, possibilitando monitoramentos e ações por meio de imagens de alta resolução e com localização precisa, de forma rápida e simples, sem requerer a presença de um ser humano no local (Villafuerte *et al.*, 2018). A utilização dos drones no Agronegócio possibilitou o monitoramento de lavouras, utilizando suas imagens de alta resolução para identificar falhas de plantio, sanidade da lavoura, infestação de pragas, problemas de irrigação ou déficit hídrico, dentre outras funções. Com a ajuda de softwares georreferenciados ou sistemas de sensoriamento remoto, é possível interpretar as imagens por meio de frequências de ondas de luz e fotogrametria, gerando diversos dados ao produtor ou técnico responsável, proporcionando a tomada de decisões assertivas (Pixforce, 2018).

Queiroz *et al.*, (2021) afirmam que sensores vêm sendo utilizados no âmbito do Agro 4.0, com o intuito de obter informações sobre as várias demandas de produção e culturas. Assim, por meio de equipamentos com sensores, o uso de imagens de satélites, aeronaves remotamente pilotadas (drones), e mesmo sensores implantados em animais e lavouras gera uma grande quantidade de dados e, assim, tornando a tomada de decisão assertiva e em tempo real.

Rocha (2021) afirma que o uso de equipamentos espalhados pela propriedade rural, sejam sensores, máquinas, aplicativos e drones, proporciona maior suporte para a tomada de decisão do agricultor, quando comparado com a maneira tradicional de tomada de decisões, baseada na sua experiência no campo. Essa expansão na obtenção de informações em tempo real tem o intuito de melhorar o gerenciamento das operações e dos processos que englobam o uso de tratores e máquinas agrícolas controlados remotamente e que coletam e enviam informações em tempo real, beneficiando a lavoura (Zaparolli, 2020).

### 3.2.4 Machine Learning

Jha *et al.* (2019) afirmam que todos os dias o agronegócio enfrenta desafios, que os problemas essenciais enfrentados pelos agricultores vão desde a semeadura até a colheita das safras e, ainda, que a inteligência artificial e o aprendizado de máquina podem penetrar em todas essas categorias.

O aprendizado de máquina supervisionado está presente no setor agrícola, e Jha *et al.* (2019) afirmam que as redes neurais artificiais têm sido incorporadas ao setor agrícola devido às vantagens sobre os sistemas tradicionais, tendo como benefício a prevenção baseada no raciocínio paralelo. Os autores afirmam também que foi desenvolvido um sistema especialista PRITHVI (significa-se terra em sânscrito) baseado em lógica difusa com intuito de ajudar os agricultores a aumentarem a produção de soja.

Por sua vez, Tu *et al.*, (2021) relataram também um método de baixo custo, eficiente e não destrutivo para detectar a variedade de sementes de milho, com base em processamento de imagens com *deep learning*.

O desafio do aprendizado de máquina no Agro 4.0 é que, em uma única colheita, as condições estão sempre mudando entre uma temporada e a próxima. Ou seja, os dados coletados em duas colheitas podem não guardar similaridades entre si. As condições do tempo são imprevisíveis, ocorrem mudanças na qualidade do solo e existe ainda a possibilidade de surgimento de



pragas e doenças, aumentando a variabilidade de dados (Villafuerte et al., 2018). Porém, existem aplicações bem sucedidas de *machine learning*, como é o caso do sensoriamento remoto com drones ou imagens via satélite, permitindo obter um vasto conjunto de imagens de diversas culturas. Isto é muito importante, pois desta maneira é possível criar bases de dados para alimentar os algoritmos de aprendizado de máquina e, conseqüentemente, solucionar alguns problemas que o agronegócio enfrenta como, por exemplo, a detecção de doenças em árvores.

Um dos problemas que pode ser detectado é o nível de saúde das árvores, se estão mortas, secas, ou morrendo, e se esses problemas são causados por fatores de natureza nutricional. Neste caso específico, a partir de uma base de dados de imagens multiespectrais que alimentam algoritmos de aprendizado de máquina, consegue-se prever o estado de saúde em uma determinada plantação (Pixforce, 2018)

Liakos et al., (2018) exploraram a utilização das técnicas de aprendizado de máquina no agronegócio e concluíram que a inteligência artificial, em tempo real, permite que os programas computacionais gerem recomendações e percepções ricas para apoiar os agricultores nas tomadas de decisões seguras.

Dentre os principais algoritmos de aprendizagem de máquina utilizados na criação de modelos preditivos, pode-se citar: cubist, florestas aleatórias, redes neurais artificiais, máquinas de vetor suporte, entre outros. O algoritmo Cubist constrói sucessivos pontos de discriminação que segregam os dados em diferentes ramificações e, no final de cada uma, cria-se uma regressão linear multivariada para modelar o relacionamento entre as variáveis em cada ramo (Fajardo et al., 2019). Florestas Aleatórias é um algoritmo projetado para melhorar o método de árvores de classificação e regressão linear tradicional, de modo a integrar um grande conjunto de árvores de decisão, selecionando um conjunto aleatório de variáveis e uma amostra aleatória do treinamento (Genuer et al., 2015). Redes Neurais Artificiais são algoritmos complexos, que realizam a modelagem treinando o conjunto de dados, com resultado conhecido, e otimizam pesos para uma melhor previsão em situações desconhecidas (Aghbashlo et al., 2015). Máquinas de vetor suporte são utilizadas para classificação supervisionada e identificam o limite de decisão ideal, que separa os pontos de dados variados e, em seguida, preveem a classe de novas observações com base neste limite de separação (Dai et al., 2020).

Enfim, todas as tecnologias citadas acima sinalizam um novo marco no Agronegócio, promovendo mudanças importantes que envolvem o uso massivo de diferentes tecnologias, tais como Internet das Coisas (IoT), computação em nuvem, rede de sensores, conectividade entre dispositivos móveis, métodos para processar grandes volumes de dados, aprendizado de máquina, entre outros (Mekala & Viswanathan, 2017, Morán *et al.*, 2018). Como exemplo, pode-se citar o emprego de sensores digitais distribuídos por toda a propriedade rural e interconectados à Internet (IoT), gerando um grande volume de dados (*Big Data*), que necessita ser processado, armazenado (computação em nuvem) e analisado por algoritmos de aprendizado de máquina e, assim, contribuir significativamente para o desenvolvimento de processos inteligentes, decisões otimizadas e aperfeiçoamento da produção, em busca de produtos de maior qualidade e respeito ao meio ambiente (Massuhá & Leite, 2017).

### **3.3 Benefícios e Desafios das Tecnologias no Agro**

A implantação de novas tecnologias ao Agro traz consigo diversos benefícios, como por exemplo, redução nos custos com irrigação, aplicação de agrotóxicos, de fertilizante, rastreamento, monitoramento e contagem do rebanho entre outros, de forma automática, utilizando equipamentos, sensores, máquinas agrícolas, por meio da agricultura de precisão, bem como gerenciar as etapas de produção e, assim, administrar a quantidade e qualidade do produto final.

De acordo com Pontes et al., (2019) algumas das principais vantagens da utilização de novas tecnologias no campo é a disponibilidade de informações que auxiliam na tomada de decisão e, conseqüentemente, aumenta a produtividade e diminui os impactos ambientais. Massuhá et al., (2020) afirmam que o mercado consumidor caminha para uma era digital, em que é

possível ter uma maior capacitação em agricultura digital, sistemas que são capazes de realizar projeções de risco para o futuro e obter uma melhor rastreabilidade e assertividade na tomada de decisão. Mas, em igual medida, grandes desafios surgem, dentre eles está a dificuldade em desfazer a ideia de que novas tecnologias estão fora de alcance e ainda mostrar o quão eficiente e qual retorno proporciona para o agricultor.

Já Lisbinski et al., (2020) afirmam que outro desafio que o Agro 4.0 vem enfrentando é a busca por maneiras de aumentar a produtividade sem aumentar a área de plantio, de modo que a agricultura se mantenha em um patamar sustentável. Vencer este desafio é importante para garantir que a produtividade aumente, para manter um abastecimento constante do mercado, de modo que toda a população tenha acesso a produtos de qualidade.

O crescimento da tecnologia no campo vem acompanhada de alguns obstáculos a serem superados, os quais dificultam, de algum modo, a implementação por completo do termo Agro 4.0. A falta de conexão à internet é uma das principais barreiras, pois o Brasil não tem infraestrutura suficiente para comportar a transmissão de dados e chegar a todos os pontos do campo, pois mesmo com o aumento dos usuários de internet móvel, apenas 5% dos produtores utilizam a internet de modo profissional (Silva & Cavichioli, 2020).

[...] há no Brasil enorme carência de infraestrutura de conexão, cujo custo tem que ser arcado pelas empresas de telecomunicações, governos ou fazendeiros. Para ampliar a cobertura para cerca de 90% é necessário instalar algo como 16 mil antenas de transmissão (Zaparolli, 2020, p. 287).

Silva e Cavichioli (2020) destacam que outro desafio com o crescimento da tecnologia é a falta de mão de obra qualificada para trabalhar com as novas tecnologias, de modo que a quantidade de profissionais qualificados é muito inferior à demanda no mercado de trabalho para o futuro, de modo geral a desinformação dos agricultores sobre o benefício do Agro 4.0 pode ser um dos principais motivos pela baixa adesão das tecnologias no campo. Assim, a capacitação deve ser contínua frente aos agricultores e aos profissionais que atuam em atividades como regulação, manutenções preventivas e corretivas de máquinas tecnológicas e operações agrícolas (Massuhá et al., 2020).

Ribeiro et al., (2018) afirmam que, nos últimos 40 anos, o Brasil se tornou uma potência na exportação de alimentos para o mundo, ocupando o terceiro colocado, ficando atrás apenas dos Estados Unidos e União Européia. Todo esse avanço se deve graças ao aumento da tecnologia e à busca incessante por aumentar a produção de alimentos e de energia de modo sustentável.

Portanto, para que isso seja possível, são necessários investimentos em infraestrutura de rede banda larga e móvel, capacitação dos funcionários e agricultores para que as informações sejam recebidas em tempo real para tomada de decisões assertivas e, além disso, toda tecnologia deve ser criada de modo que evite a perda da biodiversidade, plantando em espaços menores e mantendo a produtividade e qualidade do produto. Nesse sentido, os principais desafios são: infraestrutura digital, qualificação, insegurança e desconfiança e integração e customização.

### **3.4 Estado da Arte da Arte no Agronegócios 4.0**

Moslem et al. (2019) modelaram a produção de sementes através de redes neurais artificiais e regressão linear múltipla, sendo avaliado através de cinco modelos de redes neurais com diferentes algoritmos de aprendizagem, funções de transferência, camadas ocultas e neurônios em cada camada, junto com modelo de regressão multilinear para prever a produção de sementes de Cártamo. Os autores Saffariha et al. (2020) estudaram sobre a previsão de germinação de sementes de *Salvia limbata* sob estresse, em que analisaram a germinação das sementes sob quatro estresses ecológicos: salinidade, seca, temperatura e pH, com aplicação de técnicas de modelagem de inteligência artificial, MLR e MLP. Medeiros et al. (2020)

realizaram um estudo recente sobre a possibilidade de classificação de sementes de *Jatropha curcas* L quanto à qualidade por meio do uso de dados fenotípicos obtidos por análise de imagens de raios-X, com abordagens de aprendizado de máquina. Por fim, Spancerski & Santos (2021) propuseram um modelo de redes neurais recorrentes LSTM para a previsão de produtividade de arroz no estado do Rio Grande do Sul. O modelo apresentou resultados adequados para uma previsão de curto prazo. Nayak et al., (2021) modelou uma rede neural artificial para a secagem de caroço de manga, realizando uma previsão online do teor de umidade de grãos de manga partidos e triturados durante o processo de secagem com ar quente, sendo relevante para a indústria farmacêutica e alimentícia para produzir grãos de manga secos no teor de umidade desejado. Zeymer (2021) utilizou o modelo preditivo de árvores aleatórias (RF) para prever a perda de matéria seca dos grãos de soja. O modelo de Árvores Aleatórias apresentou a melhor concordância entre os dados observados e preditos na fase de treinamento e teste, mostrando uma ferramenta promissora de baixo custo, que pode ser utilizada para prever a perda de matéria de grãos de soja armazenada. Por fim, Oliveira et al., (2022) propuseram uma metodologia baseada em aprendizado de máquina, supervisionado para a classificação de soja, proporcionando uma tomada de decisão assertiva e em tempo real. Foi desenvolvido um site *web* para a classificação de soja, com base em técnicas de computação inteligentes, com resultados eficientes, confiáveis, robustos e precisos para realização da classificação dos grãos de soja.

#### 4. Considerações Finais

O Agronegócio 4.0 tem como intuito aplicar as novas tecnologias para promover o aumento da produção de alimentos, reduzindo custos e defendendo a utilização de recursos naturais. As tecnologias têm o objetivo de vencer desafios como falta de terras para plantio, solo em condições inadequadas e crescimento populacional. Os benefícios são soluções para sistemas de otimização, com utilização de drones e sensores, tecnologias de suporte à decisão para agricultura de precisão como controle das atividades, gastos e produtividade.

O presente estudo identificou as principais tecnologias para o Agro 4.0, bem como os benefícios proporcionados pela tecnologia no campo e desafios a serem superados pelos agricultores. Nesse sentido, é possível afirmar que as pesquisas com as novas tecnologias no Agronegócio 4.0 estão em estados iniciais e requerem investimentos para tais aplicações. E, ainda, que o Agro está em possível transição do Agro 4.0 para o Agro 5.0.

Como trabalho futuro pretende-se desenvolver uma estação meteorológica de baixo custo e programar uma base de dados para diagnóstico de cultivos de grãos no Agronegócio, utilizando as tecnologias abordadas no presente trabalho. Nesse estudo será implementada a tecnologia de Internet das Coisas (IoT), *Big Data* a partir do banco de dados experimentais e *Machine Learning* para diagnóstico dos cultivos de grãos.

#### Referências

- Aghbashlo, M., Hosseinpour, S. & Mujumdar, A.S. (2015). Application of artificial neural networks (ANNs) in drying technology. A comprehensive review. *Drying Technology*, 33(12), 1397-1462.
- Boursianis, A. D. *et al.* (2020). Smart Irrigation System for Precision Agriculture - The AREThOU5A IoT Platform. *IEEE Sensors Journal*.
- Chen, J. & Yang, A. (2019). Intelligent Agriculture and Its Key Technologies Based on Internet of Things Architecture. *IEEE*, 7, 77134-77141.
- Clercq, M., Vats, A. & BIEL, A. (2018). Agriculture 4.0: the future of farming technology. *World Government Summit*.
- Dai, A., Zhou, X. & Wu, Z. (2020). Design of an intelligent controller for a grain dryer: A support vector machine for regression inverse model proportional-integral-derivative controller. *Food Science & Nutrition*, 8(2), 805-819.
- Embrapa. (2020a). Trajetória da agricultura brasileira. <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>.
- Fajardo, M., Whelan, B., Filippi, P. & Bishop, T. (2019). Wheat yield forecast using contextual spatial information. In *Precision agriculture'19*, Wageningen Academic Publishers, pp.4559-4565.

- Fleming, A *et al.* (2021). Foresighting Australian digital agricultural futures: Applying responsible innovation thinking to anticipate research and development impact under different scenarios. *Agricultural Systems*, v. 190, n. March, p. 103120. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103120>.
- Genuer, R., Poggi, J. M., & Tuleau-Malot, C. (2015). Vsuf: An R package for variable selection using random forests. *The R Journal*, 7, 19-33.
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. (6a ed.), Atlas.
- Hashem, *et al.* (2015). The Rise Of “Big Data” On Cloud Computing: Review And Open Research Issues. *Information Systems*, 47, 98–115.
- Jayaraman, *et al.* (2016). Internet of Things Platform for Smart Farming: Experiences and Lessons Learnt. *Sensors*, 16, 1884.
- Jhan, K., Doshi, A., Patel, P. & Shah, M. (2019). A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture 1:1-12*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.05.004>.
- Jorgensen, M. H. (2018). Agricultural field production in an ‘industry 4.0’ concept. *Agronomy Research*, 16(1), 94–102.
- Keogh, M. & Henry, M. (2016). The implications of Digital Agriculture and Big data for Australian Agriculture. Ressearch Report, Autralian Farm Institute, Sidney, Autralia.
- Klerkx, L., Jakku, E. & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90–91, 100315.
- Klerkx, L., & Rose, D. (2020). Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? *Global Food Security*, v. 24, n. October 2019, p. 100347. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>.
- Kodan, R., Parmar, P., & Pathania, S. (2020). Internet of Things for Food Sector: Status Quo and Projected Potential. *Food Reviews International*, 36(6), 584–600.
- Kodati, S. & Jeeva, S. (2019). Smart Agricultural using Internet of Things, Cloud and Big Data. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, ISSN: 2278-3075, Volume-8 Issue-10.
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431–440. <https://doi.org/10.1016/J.BUSHOR.2015.03.008>.
- Lezoche, M. *et al.* (2020). Agri-food 4.0: A survey of the Supply Chains and Technologies for the Future Agriculture. *Computers in Industry*, 117, 103187. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103187>.
- Lima, G. C. *et al.* (2020). Agro 4.0: Enabling agriculture digital transformation through IoT. *Revista Ciencia Agronomica*, 51(5), 1–20.
- Lin, *et al.* (2017). A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications. *Ieee internet of things journal*, vol. 4, no. 5.
- Lioutas, *et al.* (2019). Key Questions On The Use Of Big Data In Farming: An Activity Theory Approach. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* 90–91.
- Lisbinski, F. C., Muhl, D. D., Oliveira, L. De, & Coronel, D. A. (2020). Perspectivas e Desafios da Agricultura 4.0 para o Setor Agrícola. *Simpósio da ciência do agronegócio, Cepam Agronegócio*. <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/218601/001122708.pdf?sequence=1#:~:text=Dentre%20as%20perspectivas%20da%20agricultura,evitar%20a%20perda%20da%20biodiversidade..>
- Massruhá, S, S. F. M., & Leite, A. A. M. M. (2017). *Agro 4.0 – Rumo à agricultura digital. JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: Mobilizar o Conhecimento para Alimentar o Brasil, 2017*.
- Massruhá, S. M. F. S., Leite M. A. de A., Oliveira, S. R. de M., Meira, C. A. A., Luchiari Junior, A., & Bolfe, E. L. (2020). *Agricultura digital: Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas*. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126213/agricultura-digital-pesquisa-desenvolvimento-einovacao-nas-cadeias-produtivas>.
- Mattetti, M. *et al.* (2021). Outlining the mission profile of agricultural tractors through CAN-BUS data analytics. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 184, n. February, p. 106078. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106078>.
- Mavridou, E. *et al.* (2019). Machine vision systems in precision agriculture for crop farming. *Journal of Imaging*, 5(12).
- Mazzetto, F., Gallo, R., & Sacco, P. (2020). Reflections and methodological proposals to treat the concept of “information precision” in smart agriculture practices. *Sensors (Switzerland)*, v. 20, n. 10, p. 1–27.
- Medeiros, A. D. de., Pinheiro, D. T., Xavier, W. A., Silva, L. J. da., & Dias, D. C. F. dos S. (2020) Quality classification of *Jatropha curcas* seeds using radiographic images and machine learning. *Industrial Crops and Products* 146:112–162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112162>.
- Mekala, M. S., & Viswanathan, P. (2017). A survey: smart agriculture IoT with cloud computing. In: 2017 international conference on microelectronic devices, circuits and systems (ICMDCS). IEEE, p.1-7.
- Monteleone, S., Moraes, E. A. De, & Faria, B. T. De. (2020). Exploring the Adoption of Precision Agriculture for Irrigation in the Context of Agriculture 4.0: The Key Role of Internet of Things. *Sensors*.
- Moslem A, Younessi-Hmazekhanlu M, Ramazani S H R, & Omid A H (2019) Artificial neural networks and multiple linear regression as potential methods for modeling seed yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Industrial Crops and Products* 127(1):185-194. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.050>.

- Nayak, P., Rayaguru, K., Bal, L. M., Das, S. & Dash, S. (2021). Modelagem de Rede Neural Artificial da Cinética de Secagem por Ar Quente de Mango Kernel. *Revista de Pesquisa Científica e Industrial*. V. 80 pp. 750-758.
- Oliveira, D. C. de., Barbosa, U. C., Bergland, A. C. R. O., Resende, O., & Oliveira, D. E. C. de. (2022). G-Soja – Website with Prediction on Soybean Classification Using Machine Learning. *Revista Engenharia Agrícola*. V. 42. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v42nepe20210140/2022>.
- Pillon, C. N. (2017). Dos pós de rocha aos remineralizadores: passado, presente e desafios. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 3., 2017, Pelotas. Anais. Assis: Triunfal Gráfica e Editora, p. 16-23. Editado por Adilson Luis Banberg, Carlos Augusto Posser Silveira, Éder de Souza Martins, Magda Bergmann, Rosane Martinazzo e Suzi Huff Theodoro.
- Pison, G. (2019). How many humans tomorrow? The United Nations revises its projections. *The Conversation*. Waltham. <http://theconversation.com/how-many-humans-tomorrow-the-united-nations-revises-its-projections-118938>.
- PixForce. Aprendizado de máquina para soluções agrícolas e florestais. PixelFoce, 2018. <https://pixforce.com.br/>.
- Pontes, L. B., & Cavichioli, F. A. (2019). Agricultura de Precisão. *SIMTEC - Simpósio de Tecnologia da Fatec Taquaritinga*, 5(1), 238-250, 22 dez.
- Queiroz, D. M. de., Coelho, A. L. de F., Valente, D. S. M., & Schueller, J. K. (2021). Sensors applied to Digital Agriculture: A review. <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/7751#:~:text=Sensors%20are%20the%20basis%20of,automate%20the%20prescription%20of%20inputs>.
- Queiroz, D. M., Coelho, A. L. F., Valente, D. S. M. & Schueller, J. K. (2020). Sensors applied do Digital Agriculture: A review. *Revista Ciência Agronômica*, v. 51, Special Agriculture 4.0, e20207751. DOI: 10.5935/1806-6690.20200086. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Raj, M. *et al.* (2021). A survey on the role of Internet of Things for adopting and promoting Agriculture 4.0. *Journal of Network and Computer Applications*, 185(5).
- Ribeiro, J. G., Marinho, D. Y. & Espinosa, J. W. M. (2018). Agricultura 4.0: Desafios à Produção de Alimentos e Inovações Tecnológicas. *Simpósio de Engenharia de Produção*. Universidade Federal de Goiás.
- Rocha, E. T. B. Da. (2021). Agricultura 4.0 nas Lavouras: Estudo Multicaso para caracterização em Propriedades Rurais. *Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal*.
- Saffariha M, Jahani A, & Potter D (2020) Seed germination prediction of *Salvia limbata* under ecological stress in protected areas: an artificial intelligence modeling approach. *BMC Ecology* 20 (48):1-14. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12898-020-00316-4>
- Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Agronomy*, 10(2).
- Santana, H. M. de *et al.* (2019). Evolução histórica da Indústria 4.0 e seus reflexos nos Agronegócios. <https://fateclog.com.br/anais/2019/evolu%20c3%87%20e%20o%20hist%20c3%93rica%20da%20industria%204.0%20e%20seus%20reflexos%20no%20agroneg%20c3%93cio.pdf>.
- Schwalbert, *et al.* (2014). Zonas de manejo: atributos de solo e planta visando a sua delimitação e aplicações na agricultura de precisão. *Revista Plantio Direto*, Edição 140, p. 21-32.
- Silva, J. M. P. & Cavichioli, F. A. (2020). O Uso da Agricultura 4.0 como perspectiva do aumento da Produtividade no Campo. s.l.:DOI: 10.31510/infa.v17i2.1068.
- Sordi, V. F. & Vaz, S. C. M. (2020). *Os Principais Desafios para a Popularização de Práticas Inovadoras de Agricultura Inteligente*. s.l.:Editora Unijuí.
- Spancerski, J. S., & Santos, J. A. A. (2021) Previsão da produtividade de arroz: uma aplicação de redes neurais recorrentes LSTM. *Revista Cereus* 13(2):163-175. DOI: <https://doi.org/10.18605/2175-7275/cereus.v13n2p163-175>.
- Springer. (2020). Precision agriculture. <https://www.springer.com/journal/11119/updates/17240272>.
- Symeonaki, E., Arvanitis, K., & Piromalis, D. (2021). A context-aware middleware cloud approach for integrating precision farming facilities into the IoT toward agriculture 4.0. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(3).
- Trivelli, L. *et al.* (2019). From precision agriculture to Industry 4.0: Unveiling technological connections in the agrifood sector. *British Food Journal*. [S.l.: s.n.].
- Tu K, Wen S, Cheng Y, & Zhang T (2021) A non-destructive and highly efficient model for detecting the genuineness of maize variety 'JINGKE 968' using machine vision combined with deep learning. *Computers and Electronic in Agriculture*. 182
- Villafuerte, A., Valadares, F. G., Campolina, G. F., & Silva, M. G. P. (2018). Agricultura 4.0 – Estudo de Inovação Disruptiva no Agronegócio Brasileiro. *International Symposium Technological Innovation*. ISSN: 2318-3403. 9(1). 150-162. 10.7198/S2318-3403201800010018.
- Worldmeter. (2022). Department of economic and social affairs, population division, world population prospects. <<http://www.worldometers.info/population/>>.
- Zaparolli, D. (2020). Agriculture 4.0. Connected Farms. *Pesquisa Fapesp magazine*. São Paulo, 21(287), 12-20. Available at: <[https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2020/01/Pesquisa-287\\_Completo-2.pdf](https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2020/01/Pesquisa-287_Completo-2.pdf)>. Acesso em: 08 de setembro 2022.
- Zeymer, J. S. (2021). Modelagem Matemática dos Fenômenos de Higroscopia e Respiração de Grãos de Soja em diferentes condições de armazenamento. s.l.:s.n. Massruhá.
- Zhal, Z. *et al.* (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, n. August 2019, p. 105256. <<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>>.