



ConBRepro

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



01 a 03
de dezembro 2021

Tecnologias 4.0 na agricultura: aplicações e resultados

Tatiana C. de Severo Pasquini

PPGEP - UTFPR

Sabrina Aparecida Pereira

PPGEP - UTFPR

Fabiane Florencio de Souza

PPGEP - UTFPR

Regina Negri Pagani

PPGEP - UTFPR

Resumo: As tecnologias da Indústria 4.0, presentes em diversos setores, buscam o aumento de eficiência e melhores práticas de gestão. Algumas delas são aplicadas a melhorias na agricultura para controle de pragas, aplicação de defensivos agrícolas, análise da saúde do solo, monitoramento de animais, entre outros. Dessa forma, essa onda de inovações proporcionada pela Indústria 4.0 afeta consideravelmente a cadeia produtiva de alimentos. Para obter um panorama atual das publicações científicas acerca do entrelaçamento dos temas Indústria 4.0 e agricultura foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura, nas bases de dados Scopus, Web of Science, Science Direct e IEEE. Os resultados mostram que o pilar Internet das Coisas representa o maior número de publicações, e pode-se observar que a coleta de dados e as novas tecnologias destacam-se quanto ao controle, gestão e melhores práticas para a agricultura.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Áreas rurais, Inovação Tecnológica, Agricultura.

Industry 4.0 applied to agriculture: a systematic review of the literature

Abstract: Industry 4.0 technologies, present in various sectors, seek to increase efficiency and better management practices, some of which are applied to improvements in agriculture, such as: pest control, application of pesticides, soil health analysis, monitoring of animals, among others. Thus, this wave of innovations provided by Industry 4.0 considerably affects the food production chain. To obtain a current overview of scientific publications on the intertwining of Industry 4.0 and agriculture themes, a Systematic Literature Review was carried out in the Scopus, Web of Science, Science Direct and IEEE databases. The results show that the Internet of Things pillar represents the largest number of publications, and it can be observed that data collection and new technologies stand out in terms of control, management and best practices for agriculture.

Keywords: Industry 4.0, Rural areas, Technological Innovation, Agriculture.

1. Introdução

O termo Indústria 4.0 (I4.0) foi popularizado pelo Fórum Econômico Mundial (WEF) em 2015, tornando-se um termo abrangente para descrever mudanças nos modelos de negócios, trabalho e de educação (MAJA, MEYER e VON SOLMS, 2020). O efeito da digitalização provoca uma reestruturação dos processos de produção trazendo novas oportunidades de receita (HAT et al., 2020). Assim, as organizações necessitam de adaptações devido às constantes mudanças e inovações tecnológicas.

Conforme Girardelo et al. (2016), a Indústria 4.0, caracterizada pela forte presença da digitalização, pode ser definida como uma onda de inovações tecnológicas que formam um conjunto de transformações e modificações nas interações entre indústria e trabalhadores, por meio de novas tecnologias de controle, baseadas na internet.

Para Maja, Meyer e Von Solms (2020), a Indústria 4.0, apesar de não existir um consenso sobre sua definição, pode-se considerar a conexão em tempo real de pessoas e máquinas, objetos e sistemas de tecnologia da informação e comunicação (TIC) para gerenciar sistemas complexos, e para isso algumas tecnologias são associadas ao conceito de I4.0, sendo definido em nove pilares, a saber: (i) Integração Vertical e Horizontal; (ii) Manufatura Aditiva; (iii) Robôs autônomos; (iv) Big Data; (v) Internet das Coisas; (vi) Simulação; (vii) Segurança Cibernética; (viii) Computação em nuvem; (ix) Realidade Aumentada (Rüßmann et al. 2015). No contexto da agricultura, esses pilares apresentam-se em diferentes cenários que vão desde a preparação da terra, correções no solo, plantio até a colheita e venda (ROCHA et al., 2021).

Diante dessa abrangência, este estudo busca identificar na literatura o panorama atual das tecnologias da Indústria 4.0 aplicada à agricultura. Para atingir este objetivo foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura utilizando a metodologia multicritério Methodi Ordinatio. As bases de dados pesquisadas foram a Scopus, Web of Science, Science Direct e IEEE com os termos dos nove pilares da Indústria 4.0 relacionados à agricultura.

Este estudo está estruturado da seguinte forma: Introdução; Referencial Teórico abordando a indústria 4.0 e a importância de inovações tecnológicas para a agricultura; Metodologia; Resultados obtidos; e Conclusões.

2. Tecnologias 4.0: na indústria e no campo

Segundo os autores Lydon (2015) e Senhoreli et al. (2018), a aplicação do conceito da Indústria 4.0, melhora os processos de fabricação em uma série de dimensões, incluindo eficiência e capacidade de resposta, tornando as fábricas inteligentes o suficiente para ter a competência e a autonomia de programar manutenções, antecipar falhas e adaptar aos requisitos e mudanças não planejadas no processo produtivo.

No contexto da agricultura, as tecnologias oriundas da Indústria 4.0 proporcionam ao agricultor conhecimento para melhorar a gestão do sistema solo-planta-atmosfera, de modo que possam ser detectados e gerenciados fatores de risco que podem levar à redução da produção agrícola (LIMA et al., 2020). As tecnologias provenientes da Indústria 4.0 integradas à agricultura oferecem a oportunidade de transformar a forma das atividades agrícolas (LIU et al., 2020).

Caffaro et al. (2020) apresentam os fatores que afetam a intenção dos agricultores da Itália em adotarem as *Smart Farming Technologies* (SFTs) que podem minimizar custos, preservar recursos e melhorar a produção. Utilizando o Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM), a pesquisa identificou que são necessários sistemas de assessoria que forneçam acesso e conhecimento aos recursos de inovação, campanhas de informação e atividades de treinamentos para aumentar a intenção de adoção de tecnologias pelos agricultores.

A inovação tecnológica vem ocorrendo na agricultura nas últimas décadas em diversas partes do mundo. Contudo, o Brasil ainda enfrenta várias barreiras para investimentos em inovações tecnológicas. Para Vincenzi e Cunha (2020), no caso de economias emergentes, como o Brasil, o investimento e o desenvolvimento de inovações podem significar melhores perspectivas de riqueza, competitividade e crescimento no longo prazo.

O cenário das tecnologias ofertadas pela I4.0 oferecem inúmeros benefícios. Porém, com resistência por parte dos agricultores em adquiri-las, torna-se indispensável que tanto a academia quanto a indústria divulguem os casos de sucesso e proporcione, através da informação, maior segurança ao agricultor em sua tomada de decisão. Então, apesar de o Brasil estar avançando nesta questão, ainda há muito o que se fazer.

2.1 Tecnologias aplicadas na agricultura

A Internet das Coisas (IoT) refere-se a uma rede inteligente que processa e troca informações entre coisas e entregar vários serviços inteligentes (RAJU et al. 2020), enquanto a IoT conecta dispositivos físicos, o pilar Big Data têm como objetivo principal orquestrar o volume e a variedade dessas informações geradas pelos dispositivos físicos. Por sua vez, o pilar Computação em Nuvem fornece um nível de flexibilidade para acessar as informações orquestrada pelo Big Data e geradas pelos dispositivos físicos. Através de uma plataforma de software remota, a Computação em Nuvem permite que essas informações possam ser facilmente estendidas sob demanda e evitam a instalação de sistemas complexos em nível local (ZAMORA-IZQUIERDO et al., 2019).

O pilar Robôs Autônomos em conjunto com a Inteligência Artificial está atrelado a automação de processos, aprendizagem de máquinas que permitem que os agricultores monitorem melhor todos os procedimentos e apliquem tratamentos precisos determinados por máquinas (UNAL, 2020).

Os autores Rübmann et al. (2015) e Yamada e Martins (2018) identificaram nove pilares que impactam a transformação tecnológica digital nas indústrias, a Tabela 1 apresenta a definição de cada pilar.

Tabela 1 – Definição dos pilares

| Pilar | Definição |
|----------------------------------|--|
| Integração Vertical e Horizontal | Trata-se da integração entre a fábrica e toda a cadeia externa e interna à planta, conexão entre setores internos e a conexão com parceiros e fornecedores externos (GIAGNOCAVO et al. 2017). |
| Manufatura Aditiva | Também conhecida como impressora 3D, é a evolução da prototipagem de componentes. Através de um produto digital é possível, com eficiência e flexibilidade, criar um produto físico (RÜßMANN et al. 2015). |
| Robôs autônomos | São máquinas com recursos para lidar com tarefas complexas e repetitivas, são autônomas, flexíveis e cooperativas (RÜßMANN et al. 2015). |
| Big Data | Trata-se da gestão do volume e variedade de dados gerados pelas mais diversas fontes, realizando a avaliação abrangente desses dados (CORSI et al. 2021). |
| Internet das Coisas | É a interconexão de “coisas” que permite interações conectando várias coisas com a capacidade de computar, executar, e se comunicar com a Internet (RAJU et al. 2020). |
| Simulação | Trata-se da virtualização de ambientes e processos, aproveitar os dados em tempo real para espelhar o mundo físico em um modelo virtual (RÜßMANN et al. 2015). |

| | |
|-----------------------|---|
| Segurança Cibernética | Necessidade de protocolos de comunicações seguras e confiáveis, bem como gerenciamento sofisticado para proteção dos dados (RÜßMANN et al. 2015). |
| Computação em nuvem | É uma plataforma de software remota, que pode fornecer monitoramento e gerenciamento de controle (ZAMORA-IZQUIERDO et al., 2019) |
| Realidade Aumentada | Representação da realidade física em virtual através de imagens, permite o fornecimento de informações em tempo real (RÜßMANN et al. 2015). |

Fonte: Elaborado pelas autoras (2021)

O conceito Indústria 4.0 e seus pilares, são oportunidades para aumentar o desempenho e a eficiência na produção, ao uso consciente dos recursos produtivos e a redução dos desperdícios (DA SILVA et al., 2019).

3. Metodologia

De acordo com Flick (2004), a definição dos aspectos essenciais de uma pesquisa é pautada pela correta seleção dos métodos e teorias oportunas, pela análise de diversos pontos de vista e pela compreensão dos estudos desenvolvidos por pesquisadores. Segundo Gil (2008) o processo de pesquisa tem como objetivo apresentar respostas aos problemas propostos, sendo um método racional e sistemático para obtenção de dados. O objetivo de cada pesquisa é descobrir respostas para questões mediante métodos científicos. Isto é, conhecer os fenômenos, suas estruturas, funções, modo de operar, pontos de influência e de controle.

Assim, para esta pesquisa foi utilizada a *Methodi Ordinatio*, metodologia para a revisão sistemática de literatura, proposta por Pagani, Kovaleski e Resende (2015; 2017). Essa metodologia utiliza o cálculo *InOrdinatio*, que é um índice para classificar a relevância dos trabalhos selecionados. Esse índice cruza os três principais fatores sob avaliação em um artigo: fator de impacto, ano de publicação e número de citações.

Foram realizadas as nove etapas da *Methodi Ordinatio*, conforme descritas a seguir.

Na primeira etapa foi estabelecido o objetivo da pesquisa, que é mapear como o tema inovações tecnológicas através dos pilares da Indústria 4.0 estão inseridos na agricultura. Na segunda etapa, foi realizada uma busca exploratória preliminar nas bases de dados, a fim de identificar a presença de trabalhos com este tema nas revistas científicas. Na terceira etapa definiu-se as palavras-chave juntamente com as associações e uso dos operadores booleanos. Foram feitas as combinações com as palavras: "Industry 4.0" e os seus nove pilares: IoT, Big Data, Cloud, Cyber Security, Robots, Simulation, Augmented reality, System Integration, mescladas com as palavras "technologies" e "rural areas". As bases de dados utilizadas foram Science Direct, Scopus, Web of Science e IEEE. Na Tabela 2 é apresentada a sintaxe da pesquisa, bem como os resultados brutos das buscas.

Tabela 2 – Combinação das palavras-chave

| Combinação de palavras-chave | Science Direct | Scopus | Web of Science | IEEE | Total |
|--|----------------|--------|----------------|------|-------|
| "Industry 4.0" AND "Technologies" AND "rural areas" | 0 | 15 | 1 | 1 | 17 |
| "IoT" AND "technologies" AND "rural areas" | 7 | 61 | 18 | 6 | 92 |
| ("IA" OR "artificial intelligence") AND "technologies" AND "rural areas" | 4 | 274 | 8 | 3 | 289 |
| "Big Data" AND "technologies" AND "rural areas" | 3 | 68 | 8 | 4 | 83 |
| "Cloud" AND "technologies" AND "rural areas" | 2 | 0 | 30 | 169 | 68 |

| | | | | | |
|---|----|-----|----|----|-------------|
| "Cyber Security" AND "technologies" AND "rural areas" | 1 | 7 | 1 | 0 | 9 |
| "Robots" AND "technologies" AND "rural areas" | 3 | 70 | 2 | 4 | 79 |
| "Simulation" AND "technologies" AND "rural areas" | 54 | 480 | 83 | 66 | 683 |
| "Augmented reality" AND "technologies" AND "rural areas" | 2 | 21 | 4 | 0 | 27 |
| "System Integration" AND "technologies" AND "rural areas" | 4 | 12 | 1 | 1 | 18 |
| TOTAL BRUTO | | | | | 1365 |

Fonte: Elaborado pelas autoras (2021)

Os procedimentos de filtragem, etapa cinco da Methodi Ordinatio, foram realizados primeiramente com a eliminação de duplicatas, o refinamento conforme o tema da pesquisa, através da leitura dos títulos, eliminando os artigos que não tratavam a respeito do tema especificamente da pesquisa, pois não traziam as palavras-chave conforme a intenção da pesquisa, sendo assim, considerados como não relevantes. Conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados do processo de filtragem

| Procedimento de Filtragem | Comb 1 | Comb 2 | Comb 3 | Comb 4 | Comb 5 | Comb 6 | Comb 7 | Comb 8 | Comb 9 | Comb 10 |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Eliminação por duplicatas | 3 | 12 | 8 | 14 | 7 | 2 | 52 | 159 | 12 | 5 |
| Eliminados por tipo de documento | 2 | 2 | 3 | 5 | 21 | 0 | 20 | 201 | 9 | 7 |
| Eliminação por leitura de título | 5 | 42 | 151 | 52 | 26 | 4 | 5 | 289 | 6 | 2 |
| Eliminação por leitura de Resumo | 4 | 3 | 120 | 10 | 12 | 0 | 2 | 32 | 0 | 1 |
| Eliminação leitura completa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total de artigos eliminados | | | | | 1310 | | | | | |
| Total do portfólio | | | | | 55 | | | | | |

Fonte: Elaborado pelas autoras (2021)

Posteriormente à eliminação dos artigos não relevantes a essa pesquisa, foi aplicada a equação InOrdinatio (1) (PAGANI, KOVALESKI & RESENDE, 2015; 2017), que pondera o

Fator de Impacto do periódico, o ano da pesquisa e publicação, o peso atribuído pelo pesquisador e o número de citação que o artigo possui em outros trabalhos acadêmicos.

$$\text{InOrdinatio: } (IF/1000) + (a*(10-(\text{AnoPesq}-\text{AnoPub}))) + (Ci) \quad (1)$$

O portfólio final foi de 55 artigos. Na sequência, foram realizadas as etapas oito e nove, onde os textos foram localizados em formato integral e a leitura sistemática e análise de conteúdo dos artigos foi realizada.

4. Resultados e discussões

Com base nos resultados obtidos a partir da revisão sistemática da literatura dos artigos considerados para este estudo, observou-se a tendência de crescimento no número de publicações relacionadas a Indústria 4.0 aplicada especificamente à agricultura. A Figura 1 mostra que desde 2011 o tema vem sendo pesquisado e com destaque especial no número de publicações em 2019 e 2020 demonstra a relevância do entrelaçamento dos temas I4.0 e agricultura.

Figura 1: Número de publicações por ano

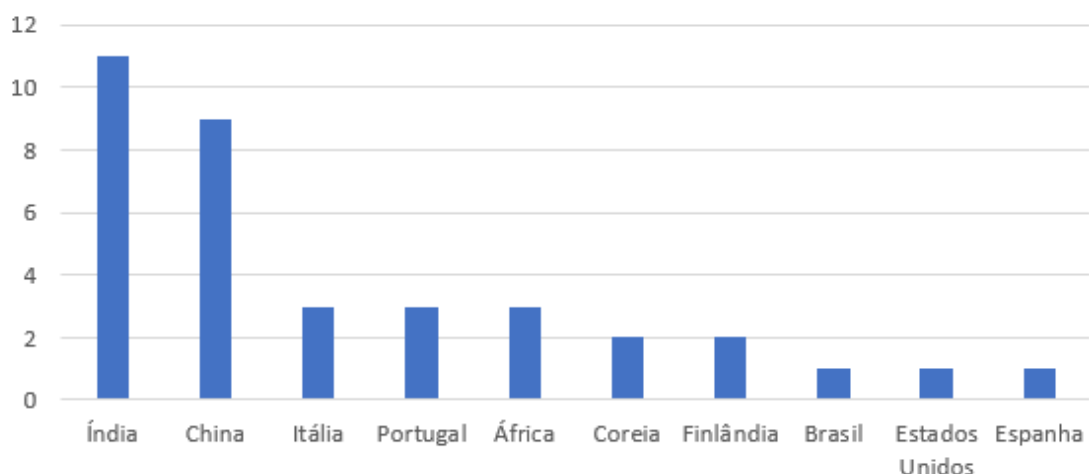


Fonte: Dados da Pesquisa (2021)

É possível observar que, a partir de 2018, as publicações obtiveram um aumento expressivo, e a quantidade de artigos evidencia a importância da discussão emergente sobre as tecnologias da I4.0 para atender a agricultura.

Dentre os artigos revisados foi identificado os países com maior número de publicações, conforme a Figura 2. Os países que mais publicaram sobre os temas foram Índia e China, por outro lado, países como Brasil, Estados Unidos e Espanha apresentaram poucas publicações.

Figura 2: Países com maior número de publicações



Fonte: Dados da Pesquisa (2021)

A Índia representa 23% das publicações do portfólio de artigos, seguido da China com 19% e a Itália, Portugal e África representam 6% cada, do total de publicações.

A seguir são apresentados os *Journals* com maior representatividade no portfólio, nota-se que apenas dois dos 43 periódicos publicaram mais de quatro artigos: IEEE Internet of Things Journal e Sensors, evidenciando uma grande abrangência de publicações sobre o tema. Conforme apresentado na Tabela 4.

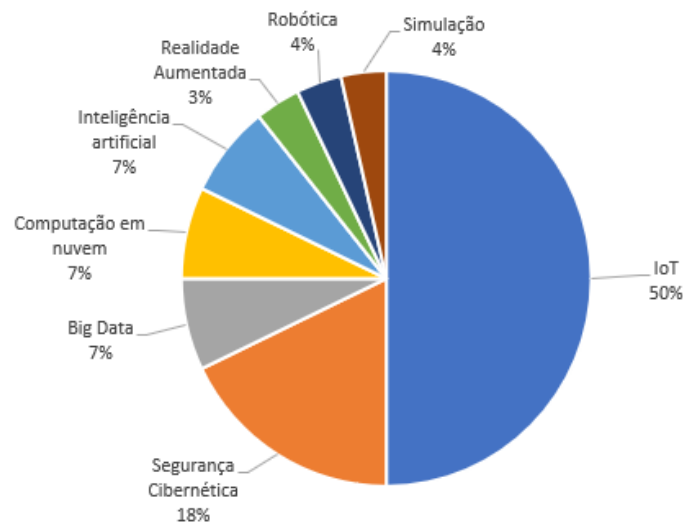
Tabela 4 - Relação de representatividade do portfólio

| Journal | Fator de Impacto | Artigos | Representatividade (%) |
|--|------------------|---------|------------------------|
| IEEE Internet of Things Journal | 9,515 | 5 | 9% |
| Sensors | 3,031 | 5 | 9% |
| IEEE Access | 4,098 | 3 | 5% |
| Wireless Communications and Mobile Computing | 1,396 | 2 | 4% |
| Computer Networks | 3,424 | 2 | 4% |
| Computers and Electronics in Agriculture | 3,171 | 1 | 2% |
| Demais Journals | - | 18 | 33% |
| Total | | 55 | 100% |

Fonte: Elaborado pelas autoras (2021)

Nos artigos revisados foram identificados 15 de revisão de literatura e 32 apresentaram estudos de caso sobre os pilares da I4.0 aplicado à agricultura, o pilar onde há mais estudos publicados sobre os benefícios das tecnologias para atender desde as necessidades até propor inovações para a agricultura é a Internet das Coisas (IoT). Conforme Figura 3, este pilar representa a metade do portfólio de artigos pesquisados.

Figura 3: Pilares da Indústria 4.0



Fonte: Dados da Pesquisa (2021)

Com o objetivo de permitir que as coisas sejam conectadas usando uma rede de transmissão a qualquer hora e em qualquer lugar a IoT foi estabelecida como referência em tecnologias e se tornou a espinha dorsal da agricultura (RAJU et al., 2020).

Wang e Liu (2014) realizaram em seu estudo uma análise da utilidade da IoT aplicada a cadeia de abastecimento de produtos agrícolas, com o objetivo de melhorar a eficiência operacional e a competitividade identificaram que a aplicação de novas tecnologias é um método viável para melhorar a eficiência operacional da cadeia de abastecimento de produtos agrícolas e promover o desenvolvimento da agricultura na China.

As aplicações da IoT na agricultura através de sensores climáticos e estações meteorológicas permitem controlar as condições do microclima para maximizar a produção de frutas e vegetais e sua qualidade, os fluxos de dados dos sensores, que são armazenados e usados para monitoramento, mineração de conhecimento e controle permitem aprimoramento do potencial dos produtos (TZOUNIS et al., 2017). Sensores de solo permitem o controle dos níveis de umidade e temperatura para prevenir fungos e outros contaminantes microbianos, Oliveira et al. (2020) propôs uma plataforma de sensoriamento através da IoT, que fornece informações sobre o estado do solo e do ambiente em termos de pH, umidade, temperatura do ar e luz. Esta plataforma é combinada com visão computacional para analisar e compreender as características do solo.

O segundo pilar do portfólio com maior número de publicações são estudos que apresentaram propostas para a Segurança Cibernética por meio da coleta de informações.

Duncan et al. (2019) publicou uma análise sobre os conceitos de biossegurança cibernética, da produção até o usuário final, e identificou desafios e barreiras devido ao avanço rápido de adoção de tecnologias pelo setor agrícola. A força de trabalho atual possui conhecimento limitado ou treinamento inapropriado para tratar questões de segurança dos dados gerados por estas tecnologias. Algumas das recomendações apontadas no estudo são: (i) desenvolver estratégias de avaliação de riscos; (ii) desenvolver e preparar a força de trabalho atual e futura para identificar e adotar estratégias eficazes de biossegurança cibernética; (iii) comunicação eficaz dentro do setor. Uma abordagem multidisciplinar integrando experiência em agricultura, alimentos, engenharia, ciência da computação e segurança cibernética é necessária para preencher essa lacuna.

Prodanović et al. (2020) propôs um modelo geral de segurança de dados, independente da topologia e estrutura da rede, que pode ser amplamente utilizado na aplicação de

monitoramento agrícola. Os resultados da simulação mostraram a eficiência do modelo na prevenção de ataques durante a comunicação, mas também um aumento no consumo de energia.

O estudo de Nikander, Manninen e Laajalahti, (2020) examinou os recursos de Segurança Cibernética Agrícola em seis fazendas de pequeno e médio porte na Finlândia, e identificou como obstáculo a falta de conscientização dos agricultores sobre as questões de segurança cibernética, conhecimento e conexões com especialistas.

O pilar Big Data na agricultura foi revisado no estudo de Wofert et al. (2019). A análise trouxe dados entre janeiro de 2010 até março de 2015 das bases de dados Web of Science e Scopus, e demonstrou que as oportunidades para aplicativos de Big Data na agricultura incluem *benchmarking*, implantação e análise de sensores, modelagem preditiva e uso de melhores modelos para gerenciar o risco de quebra de safra e aumentar a eficiência alimentar na produção pecuária, o escopo dos aplicativos estão influenciando toda a cadeia de abastecimento alimentar, estão sendo usados para conduzir decisões operacionais em tempo real e fornecer *insights* preditivos em operações agrícolas.

Esse grande volume, velocidade e variedade de dados que formam o Big Data, necessitam de infraestrutura computacional para que se transforme em valor, pois requer tecnologia e métodos analíticos específicos para sua transformação em informações relevantes. Para armazenar e tratar esses dados é necessário concentrar esse volume e variedade em uma plataforma. A tecnologia conhecida como Computação em Nuvem foi discutida nos estudos de González-Briones et al. (2018) e Padma et al. (2020) para atender também a agricultura.

Os outros pilares como Manufatura Aditiva, Realidade Aumentada, Robôs Autônomos e Simulação apresentaram poucos artigos no portfólio desta pesquisa.

O trabalho de Nigam, Kabra e Doke (2011) apresentou um protótipo de um sistema de Realidade Aumentada para ajudar os agricultores da Índia a identificar insetos e pragas em seus campos, o sistema após a identificação sugere aos agricultores pesticidas e tratamento aprimorado.

O uso de robôs na agricultura permite reduzir a carga de trabalho de um agricultor, facilitando processos, trabalhos repetitivos e cansativos. Robôs equipados com sensores, atuadores podem habilitar funções como irrigação e executar mapeamento de processos (ALBIERO et al., 2020).

A Tabela 5 resume as aplicações das tecnologias da Indústria 4.0, encontradas no portfólio, para a agricultura.

| Tecnologia | Aplicação |
|-------------------------|--|
| Internet das Coisas | monitoramento de gado; estufa inteligente; gerenciamento de pesca; monitoramento do clima. |
| Robôs autônomos | pulverização aérea – Drones; criação de animais (alimentação, ordenha e pastoreio automático); removedoras de ervas daninhas; colheita com mais eficiência. |
| Inteligência Artificial | gestão de dados de safra; gestão de recursos hídricos; adaptação às mudanças climáticas. |
| Simulação | fábrica de plantas; impressão de alimentos 3D; agricultura biodiversa; |

| | |
|-----------------------|---|
| Realidade Aumentada | Identificação de pragas e recomendação de pesticidas; |
| Big Data | Benchmarking; implantação e análise de sensores; modelagem preditiva; |
| Segurança Cibernética | monitoramento para prevenção de ataques durante a comunicação entre equipamentos; |
| Computação em Nuvem | Armazenamento de dados e recursos de rede; |

Fonte: Elaborado pelas autoras (2021)

O estudo de Liu et al. (2020), aponta que em comparação com os processos de produção industrial, a capacidade de automação no processo agrícola ainda é limitado devido a desafios como falta de digitalização e fraca integração de dados.

Embora o processo de produção agrícola seja mecanizado e informatizado em muitos países, esses processos são utilizados em grandes fazendas, a maioria das máquinas e sistemas agrícolas mecanizados são desenvolvidos para atender ao padrão de produção de monocultura em grande escala, no entanto, as pequenas propriedades ainda não possuem acesso às tecnologias emergentes da Indústria 4.0 devido a barreiras como infraestrutura adequada de energia e de telecomunicações.

5. Considerações finais

As pesquisas no âmbito de Indústria 4.0 voltadas para agricultura ainda se mostram como potenciais áreas de estudos a serem exploradas. Nos 55 artigos do portfólio, o pilar Internet das Coisas é o que mais possui estudos publicados relacionado à agricultura. As aplicações mais comuns das soluções IoT para a agricultura são para monitoramento (gado, clima, safra, entre outros) gerenciamento e controle (irrigação, saúde do solo, condições ambientais das estufas, entre outros).

A Índia é o país com maior número de publicações nos últimos anos, com 10 artigos no portfólio. As revistas IEEE Internet of Things Journal e Sensors apresentaram mais de quatro artigos sobre a temática e são revistas com alto fator de impacto.

Percebe-se que outros pilares da Indústria 4.0, tais como Computação em nuvem, Simulação e Realidade Aumentada foram pouco mencionados neste portfólio de artigos. Justamente aqui apontamos a limitação desta pesquisa, que explorou apenas quatro bases de dados para a composição do portfólio. Assim, como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se que novas pesquisas busquem explorar, em outras bases de dados, possíveis trabalhos que relatam aplicações dessas tecnologias na agricultura. Esses relatos servirão para analisar possíveis aplicações em outros contextos, contribuindo com o avanço do conhecimento na área rural agrícola.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos também ao Governo Brasileiro, ao Ministério da Educação, à UTFPR e ao programa de pós-graduação PPGEF pelo apoio e empenho no incentivo à pesquisa acadêmica.

Referências

CAFFARO, F., Micheletti Cremasco, M., Roccato, M. and Cavallo, E., 2020. Drivers of farmers' intention to adopt technological innovations in Italy: The role of information sources, perceived usefulness, and perceived ease of use. **Journal of Rural Studies**, 76, pp.264-271.

CORSI, A., de Souza, F.F., Pagani, R.N. et al. Big data analytics as a tool for fighting pandemics: a systematic review of literature. **J Ambient Intell Human Comput** 12, 9163–9180 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02617-4>

DA SILVA, V., Kovaleski, J., Pagani, R., Silva, J. and Corsi, A., 2019. Implementation of Industry 4.0 concept in companies: empirical evidences. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, 33(4), pp.325-342.

DUNCAN, S., Reinhard, R., Williams, R., Ramsey, F., Thomason, W., Lee, K., Dudek, N., Mostaghimi, S., Colbert, E. and Murch, R., 2019. Cyberbiosecurity: A New Perspective on Protecting U.S. Food and Agricultural System. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, 7.

FLICK, U. **Uma introdução à pesquisa qualitativa**. São Paulo: Bookman, 2004.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª Edição, São Paulo, Atlas, 2008.

GONZALES-BRIONES, A., Castellanos-Garzón, J., Mezquita Martín, Y., Prieto, J. and Corchado, J., 2018. A Framework for Knowledge Discovery from Wireless Sensor Networks in Rural Environments: A Crop Irrigation Systems Case Study. **Wireless Communications and Mobile Computing**, 2018, pp.1-14.

HAT, K. and Stoeglehner, G., 2020. Spatial Dimension of the Employment Market Exposition to Digitalisation—The Case of Austria. **Sustainability**, 12(5), p.1852.

LIMA, G., Figueiredo, F., Barbieri, A. and Seki, J., 2020. Agro 4.0: Enabling agriculture digital transformation through IoT. **REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA**, 51(5).

LIU, Y. Ma, X. Shu, L. Hancke G. P. and Abu-Mahfouz A. M., 2020. From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, vol. 17, no. 6, pp. 4322-4334, doi: 10.1109/TII.2020.3003910.

LYDON, B. **Industry 4.0: Should you bet on it?** Automation.com, 2015. Disponível em: <<https://www.automation.com/automation-news/article/industry-40-should-you-bet-on-it>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

MAJA, P., Meyer, J. and Von Solms, S., 2020. Development of Smart Rural Village Indicators in Line With Industry 4.0. **IEEE Access**, 8, pp.152017–152033.

NAVARRO, E., Costa, N. and Pereira, A., 2020. A Systematic Review of IoT Solutions for Smart Farming. **Sensors**, 20(15), p.4231.

NIGAM, A., Kabra, P. and Doke, P., 2011. **Augmented Reality in agriculture**. IEEE 7th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob).

NIKANDER, J., Manninen, O. and Laajalahti, M., 2020. Requirements for cybersecurity in agricultural communication networks. **Computers and Electronics in Agriculture**, 179, p.105776.

OLIVEIRA-Jr, A., Resende, C., Pereira, A., Madureira, P., Gonçalves, J., Moutinho, R., Soares, F. and Moreira, W., 2020. IoT Sensing Platform as a Driver for Digital Farming in Rural Africa. **Sensors**, 20(12), p.3511.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. **Methodi Ordinatio**: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. *Scientometrics*, v. 105, n. 3, p. 2109–2135, 2015.

PRODANOVIC, R., Rančić, D., Vulić, I., Zorić, N., Bogičević, D., Ostojić, G., Sarang, S. and Stankovski, S., 2020. Wireless Sensor Network in Agriculture: Model of Cyber Security. **Sensors**, 20(23), p.6747.

ROCHA, F., Brasil, B., Borges, J. and Galerani, P., 2021. **Abordagem da Agricultura Comportamental: proposta para a pesquisa em adoção de tecnologia**. 1st ed. Brasília: Embrapa.

RÜßMANN, Michael et al. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. **Boston Consulting Group**, v. 9, 2015.

SENHORELI, A; OLIVEIRA, A.S.; YAMADA, V.Y. **Indústria 4.0**: uma análise da indústria brasileira perante o mundo. ConBRepo VIII Congresso brasileiro de Engenharia de Produção. 2018. Disponível em: <<http://anteriores.aprepro.org.br/conbrepro/2018/anais.php>>. Acesso 15 abr. 2021.

TZOUNIS, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T. and Kittas, C., 2017. Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. **Biosystems Engineering**, 164, pp.31-48.

UNAL, Z., 2020. Smart farming becomes even smarter with deep learning – a bibliographical analysis. **IEEE Access**.

VINCENZI, T.B.; CUNHA, J.C. Características de empresas e de inovações e suas relações com barreiras à inovação no setor de serviços brasileiro. **Cadernos EBAPE.BR**, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-39512019000401062&lang=pt>. Acesso em: 03 nov. 2020.

WANG, W., Capitaneanu, S., Marinca, D. and Lohan, E., 2019. Comparative Analysis of Channel Models for Industrial IoT Wireless Communication. **IEEE Access**, 7, pp.91627-91640.

WOLFERT, S., Ge, L., Verdouw, C. and Bogaardt, M., 2017. Big Data in Smart Farming – A review. **Agricultural Systems**, 153, pp.69-80.

YAMADA, V. and Martins, L., 2018. **INDÚSTRIA 4.0: UM COMPARATIVO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA PERANTE O MUNDO**. Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa, 34.

ZAMORA-IZQUIERDO, M., Santa, J., Martínez, J., Martínez, V. and Skarmeta, A., 2019. Smart farming IoT platform based on edge and cloud computing. **Biosystems Engineering**, 177, pp.4-17.