



08, 09, 10 e 11 de novembro de 2022
ISSN 2177-3866

DESDOBRAMENTOS DE SMART TECNOLOGIAS APLICADA À AGRICULTURA, UM FOCO NA SUSTENTABILIDADE

ELVIA FLORENCIO TORRES XIMENES
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)

UIARA BANDINELI MONTEDO
ESCOLA POLITÉCNICA / USP

ROBERTO MARX
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)

LILIANE ARAÚJO PINTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ (UFPI)

DESDOBRAMENTOS DE *SMART* TECNOLOGIAS APLICADA À AGRICULTURA, UM FOCO NA SUSTENTABILIDADE

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é considerada uma das profissões mais antigas do ser humano, ela é uma condição básica para a sobrevivência, pois é a fonte de alimentos para a humanidade (Alreshidi, 2019; Clark and Tilman 2017; Friha et al, 2021; Milošević et al, 2020; Shaikh et al, 2021; Vangala et al, 2021). O aumento da população mundial poderá chegar a 11 bilhões até o ano 2100. Embora a taxa de crescimento populacional tenha diminuído, a expectativa de vida humana aumentou desde 1990 (ONU, 2019). Esse crescimento populacional vem acompanhado por uma crescente demanda por alimentos, assim, a atividade agrícola tem se intensificado, trazendo prejuízos ao meio ambiente (Cienciała, Sobura and Sobolewska-Mikulska, 2022; Friha et al, 2021; Mohamed et al, 2021; Mondejar et al, 2021; Shaikh et al, 2021).

Ao mesmo tempo que a agricultura é essencial para a vida, ela também é uma das atividades humanas que causa maior impacto ambiental (Bartkowski, 2017; Clark and Tilman 2017). Dentre as externalidades negativas ocasionadas pelo cultivo agrícola tem-se: Um terço dos alimentos produzidos são perdidos desde a produção até o consumo (FAO, 2018), destes, 14% são inutilizados na fase de pós-colheita, e a outra parte é perdida por desperdício qualitativo, composto por alimentos nutricionalmente pobres e inconsumíveis (FAO, 2019); a agricultura é a maior consumidora de água do mundo, em média 70% do uso mundial da água doce é aplicada principalmente nas irrigações (Mahroof et al, 2021; Saggi and Jain, 2022); para controlar pragas, a atividade agrícola utiliza fertilizantes e pesticidas que é um dos maiores poluentes da água potável (Chen et al, 2017; Zhu and Shin, 2021).

Assim, um grande desafio é buscar sistemas de produção e consumo alternativos, que possam combinar a eficiência, prosperidade e sustentabilidade, pois os padrões atuais de crescimento têm levado ao consumo insustentável de recursos (Clark and Tilman 2017; Hanumante, Shastri and Hoadley, 2019).

Alguns estudos colocam grandes expectativas nas *smart* tecnologias, tidas como alternativas para alcançar um modelo de sociedade equitativa, ambientalmente sustentável e saudável na agricultura (Bouali et al, 2021; Cienciała, Sobura and Sobolewska-Mikulska, 2022; Friha et al, 2021; Mondejar et al, 2021; Vangala et al, 2021). Porém, há de se considerar, que o desenvolvimento de qualquer tecnologia inovadora é feito com intuito de entregar um pacote de benefícios para as organizações, e esses benefícios variam entre os diferentes grupos de *stakeholders*. Assim, sendo, configura-se um desafio atender requisitos divergentes em busca de negócios mais sustentáveis (Bednar and Welch, 2020).

1.1 Problemática da pesquisa e objetivo

Diante do contexto apresentado, questiona-se: Quais os desdobramentos da aplicação das *smart* tecnologias na agricultura diante da busca pela sustentabilidade socioambiental? Assim, o artigo objetivou avaliar algumas *smarts* tecnologias que têm sido aplicadas à agricultura sob a ótica do *trade off* da sustentabilidade (fatores: ambiental, econômico e social).

Para tanto, as seguintes tecnologias foram consideradas no estudo: Internet das Coisas e robótica, estas estão entre as mais utilizadas na agricultura inteligente (Niknejad et al, 2021). Cada uma delas foi analisada em suas aplicações sob a ótica da sustentabilidade social, ambiental

e econômica por meio de uma revisão sistemática da literatura. Nas buscas feitas na plataforma Scopus não foram encontrados artigos que explorem de forma sistematizada o *trade off* da sustentabilidade aplicada à agricultura em seus três pilares: Ambiental, econômico e social (Elkington, 2018). Diante disso, o estudo buscou reparar essa lacuna. A relevância da pesquisa está na visão sistêmica que poderá proporcionar ao tomador de decisão, pois problemas complexos como o da agricultura sustentável não podem ser analisados sob uma perspectiva reducionista, avaliando apenas um aspecto e negligenciando outros.

O artigo segue com a fundamentação teórica acerca do tema, na seção 2; a metodologia adotada para a revisão sistemática da literatura, na seção 3; os resultados obtidos acerca da sustentabilidade das *smart* tecnologias em estudo, na seção 4; as discussões sobre as informações encontradas, na seção 5 e as considerações finais, na seção 6.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 *Smart* tecnologias aplicadas à agricultura

A ação humana sobre a natureza tem causado danos ambientais e sociais cada vez mais graves, tais consequências têm mostrado que a busca desenfreada pela eficiência e desenvolvimento está errada. Para reparar esse modelo de produção, nos últimos anos o desenvolvimento sustentável tornou-se consenso global (Zhu and Li, 2021). A produção agrícola é o segmento da indústria que mais depende dos recursos naturais (Liu, 2021). Diante da necessidade de sustentabilidade desses recursos, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas com intuito de gerar inovações tecnológicas aplicadas a várias atividades agrícolas, desse modo, o modelo de agricultura inteligente tornou-se uma escolha inevitável (Zewge and Dittrich, 2017).

A história da humanidade mostra que o ser humano vem procurando meios de ampliar a produtividade agrícola há muito tempo. Mohamed et al, (2021) relatam várias revoluções de desenvolvimento agrícolas. A primeira delas foi entre os egípcios e gregos há mais de 600 a.C.. Nessa época essas civilizações já desenvolviam, diversas máquinas e equipamentos agrícolas. A segunda foi durante do século XVII, que seguiu até o feudalismo na Europa. A terceira foi caracterizada pelo desenvolvimento de várias máquinas agrícolas e aplicações de fertilizantes e pesticidas nas lavouras (1930-1960). Por fim, a quarta revolução tem sido caracterizada pelas *smart* tecnologias aplicadas à agricultura.

Algumas pesquisas denominam a quarta revolução como agricultura 4.0, um neologismo derivado do conceito de indústria 4.0 (Bertoglio et al, 2021; Bouali et al, 2021; Symeonaki, Arvanitis and Piromalis, 2020). Porém, sob uma perspectiva crítica, Bertoglio et al (2021) afirmam que é difícil determinar um evento como uma revolução em determinado momento da história, tendo em vista que a agricultura não evoluiu da mesma forma em todas as partes do globo. De todo modo, a agricultura tem buscado ferramentas tecnológicas para melhorar seu desempenho em vários aspectos.

A digitalização da produção agrícola e o uso de dados digitais estão modificando os processos, produtos e serviços dos sistemas agroalimentares (Zscheischler et al, 2022). A aplicação das *smart* tecnologias prometem melhorar o ambiente ecológico e auxiliar na busca pelo desenvolvimento sustentável (Yang et al, 2021). Diante desse cenário, muitas pesquisas têm apresentado soluções agrícolas inteligentes que atendam demandas diversas. O aprimoramento da Internet das coisas, da robótica, da inteligência artificial, dentre outras ferramentas, permitiram que a *smart* agricultura se tornasse realidade (Shaikh et al, 2021). O foco deste estudo é dado na Internet das coisas e na robótica, conforme contextualizado a seguir.

2.1.1 A Internet das coisas e sua aplicação na agricultura

A agricultura está se tornando cada vez mais complexa e interconectada o uso de tecnologias facilita a sua gestão (Ouafiq, Saadane and Chehri, 2022). A Internet das Coisas ou *Internet of Things* (IoT) é um exemplo dessas tecnologias, e tem sido amplamente utilizada. Considerando-se que a literatura não apresenta uma definição totalmente aplicada em todas as situações, genericamente, tem-se que a IoT é uma rede robusta que conecta objetos físicos à internet por meio de sensores, *software* e tecnologias que proporcionam a troca e a coleta de dados em tempo real e em nível refinado, viabilizando o planejamento para cenários futuros e tomada de decisão (Krupitzer and Stein, 2021; Mondejar et al, 2021; Shaikh et al, 2021). Bouali et al (2021) acrescentam a esse conceito a ação humana que é responsável por operacionalizar as conexões entre os sensores e os objetos a fim de gerar o conhecimento necessário para gestão.

Na agricultura a IoT ajuda a melhorar a eficiência e a qualidade da produção; os processos de pós-colheita; o gerenciamento da água; o monitoramento das atividades agrícolas; o acompanhamento dos níveis de umidade e temperatura no feno, palha, etc.; a identificação de estações meteorológicas, para as condições climáticas no campo; a monitoramento do estado e o desempenho de máquinas, colheitas e animais, dentre outras possibilidades (Codeluppi et al, 2020; Ouafiq et al, 2022; Ouafiq, Saadane and Chehri, 2022; Shaikh et al, 2021).

A IoT faz uso de diversos sensores que viabilizam a comunicação de vários setores e atividades nas fazendas. Sensores de IoT, desde simples termômetros a drones, foram democratizados na agricultura, e tem potencial para coletar uma infinidade de informações de toda a fazenda, a fim de transmiti-las aos usuários (Ouafiq et al, 2022).

Porém, uma agricultura inteligente baseada em IoT pode estar vulnerável a ataques cibernéticos. Diante disso, os usuários correm o risco de ter conteúdos modificados ou excluídos, acessos perdidos por senhas modificadas, além de publicações clandestinas de informações confidenciais (Vangala, 2021). Além disso, as redes de IoT geralmente são compostas por um número potencialmente grande de nós, que podem enfrentar problemas de recursos como energia, armazenamento limitado, capacidade de processamento, largura de banda etc. (Ouafiq, Saadane and Chehri, 2022).

Vangala (2021) apresenta alguns requisitos básicos para o bom funcionamento da IoT em um ambiente agrícola:

- Alta escalabilidade: Garante que mesmo que haja um aumento de dispositivos inteligentes, a rede de IoT permaneça com desempenho de agilidade e processamento inalterado;
- Disponibilidade: Requer acesso aos dados em tempo real, e viabilidade de comunicação e controle dos dispositivos no ambiente agrícola;
- Eficiência: Necessidade de um protocolo de segurança projetado que inclua reserva de energia, devido às limitações do sistemas energéticos, que em sua ausência, pode comprometer a continuidade do funcionamento dos equipamentos; e investimento em sistema de segurança para armazenar dados secretos.

Assim, as tecnologias precisam ser planejadas e desenvolvidas com cautela para evitar o efeito rebote (Long and Blok, 2018). Nesse sentido, muitos estudos têm sido feitos para avaliar a adoção de tecnologias de IoT no apoio da agricultura, e tais estudos são documentados na literatura de forma ascendente e abrangente, envolvendo várias atividades (Codeluppi et al, 2020).

2.1.2 Robôs agrícolas

A agricultura é permeada por imprevisibilidade o que a torna uma atividade de alta com-

plexidade, para contornar esse problema, a relação homem-robô tem sido estudada como alternativa sinérgica. Nesse contexto, a robotização está fortemente ligada à segurança e ergonomia na agricultura (Benos, Bechar and Bochtis, 2020).

O termo *cobots* tem sido usado para caracterizar robôs projetados para trabalhar de forma colaborativa junto aos humanos. Para tanto, eles precisam de mecanismos projetados para garantir a segurança das pessoas nas colaborações. A movimentação de um robô agrícola é suficiente para ferir um ser humano em caso de contato (Bi et al, 2021). Os *cobots* também são projetados para absorver aprendizado de modo a interagir com o meio em várias situações, porém, a reflexão e a criatividade são esfera exclusiva dos seres humanos (Bednar and Welch, 2020).

Muitos setores se beneficiam das aplicações das tecnologias de robótica, e a agricultura é uma das mais desafiadoras. Enquanto algumas culturas podem atingir altos níveis de autonomia, outras ainda são altamente dependentes da mão-de-obra humana. Culturas como frutas e legumes ainda são colhidas manualmente, além de tarefas como poda e desbaste, que são caracterizadas pela alta complexidade, sendo difícil de automatizar completamente. Além disso, vários países possuem escassez de mão de obra agrícola, isso afeta diretamente o processo produtivo (Vasconez, Kantor and Cheein, 2019)

A sustentabilidade de um sistema de agricultura robótica é um critério importante a ser considerado na gestão de atividades agrícolas (Wang, Ren and Meng, 2021). A agricultura inteligente faz uso de robôs (*agbots*) e drones para medir, monitorar e detectar parâmetros agrícolas, tendo como base indicadores de temperatura, umidade, rendimento e fertilidade das culturas (Shaikh et al, 2021). A robotização na agricultura pode reduzir o consumo de energia por meio da otimização, agilidade e eficiência das operações de campo das máquinas agrícolas (Wang, Ren and Meng, 2021). Alguns robôs, denominados de *chatbots* tem sido programados para treinar agricultores, a fim de melhorar a produtividade (Shaikh et al, 2021). Além disso, a agricultura de precisão faz uso de ferramentas da robótica, para fornecer informações acerca do espaço e do clima (Mondejar, 2021).

Por outro lado, alguns autores vêem a robotização sob uma perspectiva crítica. Por exemplo, o desenvolvimento de robôs de campo leves e inteligentes pode levar ao cultivo de terras anteriormente em pousio, assim, nichos residuais ecológicos estariam prejudicados. Ao mesmo tempo, há uma tendência para desenvolvimento de máquinas agrícolas cada vez maiores e pesadas para aumentar a capacidade produtiva, mas que promovem a compactação e erosão do solo, isso afeta diretamente em seu balanço hídrico (Zscheischler et al 2022). Assim, sendo os robôs agrícolas podem levar a uma falsa ideia de sustentabilidade ecológica. Nesse sentido, discussões sociais, ambientais e políticas públicas são necessárias para extrair o potencial dessas tecnologias no serviço às pessoas e ao planeta (Daum, 2021)

3 METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se por ser uma revisão sistemática da literatura (Snyder, 2019), com artigos encontrados na plataforma *Scopus*. Tal plataforma foi escolhida dada a grande relevância que possui perante a comunidade científica. A *Scopus* é o maior banco de dados do mundo de literatura científica internacional com ferramentas inteligentes de busca (Ragazou et al, 2022).

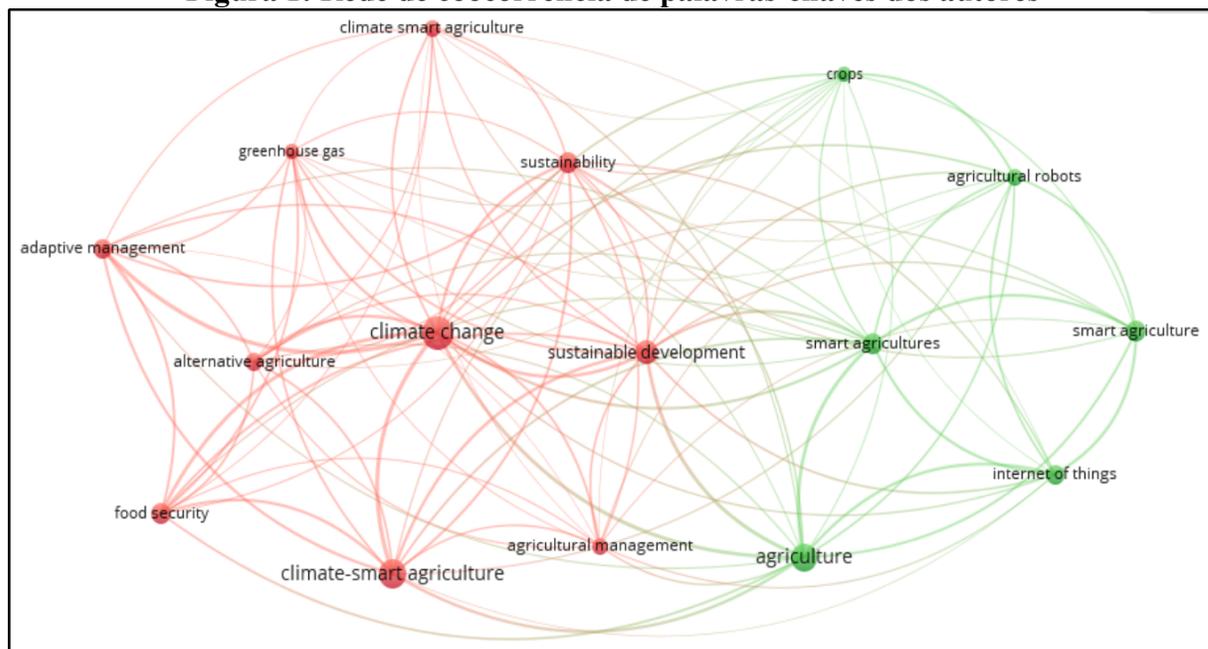
Para selecionar os artigos, buscou-se as palavras: “*Smart agricultur**” AND “*management*” AND “*sustainab**” nos títulos, palavras-chaves e resumos. As publicações consideradas foram “artigos” e “artigos de revisão”. Isso resultou em um total de 202 arquivos. O tema desen-

hou-se como recente e emergente, as primeiras publicações datam de 2013, tendo seu ponto máximo em 2021.

O passo seguinte, foi a leitura dos resumos das publicações para estabelecer as que seriam lidas na íntegra ao longo da pesquisa. Selecionou-se os arquivos que abordavam a *smart* agricultura no contexto das IoT e/ou da Robotização, o que resultou em um total de 39 artigos. Tais tecnologias foram escolhidas como foco do estudo devido a quantidade de pesquisas emergentes envolvendo essa temática no campo pesquisado. Essa informação foi identificada após a aplicação da ferramenta *VOSviewer* (versão 1.6.17), ao banco de dados de artigos extraído da plataforma Scopus.

O *VOSviewer* é uma ferramenta especializada na representação gráfica de mapas bibliométricos (Van Eck and Waltman, 2010), ela possibilitou a identificação dos temas mais recorrentes na agricultura, a partir das palavras chaves. O resultado foi o agrupamento de estudos em dois *clusters*, um mais voltado para a sustentabilidade ambiental e outro para o desenvolvimento de tecnologias, conforme ilustrado na figura 1:

Figura 1: Rede de coocorrência de palavras-chaves dos autores



Fonte: Scopus-VOSviewer, 2022

No *cluster* voltado para tecnologia verificou-se que apenas duas delas aparecem no mapa de coocorrência de palavras-chaves: Robôs agrícolas e IoT, por esse motivo estas foram escolhidas para a análise relacionada a sustentabilidade em seus pilares econômicos, social e ambiental (Elkington, 2018).

Para melhor compreender a sustentabilidade das *smart* tecnologias, em estudo, aplicadas à agricultura, foi realizada uma análise de conteúdo (Snyder, 2019) nos artigos da amostra a fim de identificar padrões de informações que pudessem ser relacionados aos pilares da sustentabilidade abordados por Elkington (2018). Essas informações possibilitaram a formação de um *framework* apresentado na seção seguinte.

4 RESULTADOS ALCANÇADOS

4.1 Esferas da Sustentabilidade e fatores limitantes

Para analisar a sustentabilidade das ferramentas tecnológicas em estudo, o artigo fez uso do conceito “*Triple Bottom Line*” (TBL) criado e reconceituado por Elkington, J. (2018). O TBL é uma estrutura de gestão para a sustentabilidade que examina o impacto social, ambiental e econômico de determinadas ações organizacionais. Desse modo foi feito um *framework* levando em conta a robotização e a IoT na agricultura de modo a sistematizar esse conhecimento (ver quadro 1).

Quadro 1: Sustentabilidade da IoT e dos robôs na agricultura

FATOR ECONÔMICO		
Smart tecnologias	Características	Autores
Internet of Things (IoT)	Possibilita trabalhar a grandes distâncias a um custo reduzido; auxilia na tomada de decisão e conseqüentemente, na gestão dos recursos naturais das fazendas; aumenta o número de decisões corretas tomadas por unidade de área cultivada ou por animal; aumenta a produtividade nas fazendas, tanto na lavoura como na pecuária; auxilia o gerenciamento da água e monitoramento agrícola; minimiza os custos operacionais; melhora a cadeia geral de produção da indústria agrícola; promove a penetração e integração da agricultura e outras indústrias; aumenta a competitividade da agricultura; expandi o espaço para o desenvolvimento futuro da agricultura; otimiza os processos e o rendimento das empresas agrícolas; monitora o ambiente agrícola para garantir produtos de alta qualidade; facilita o gerenciamento da cadeia de suprimentos agrícola; permite que a produção agrícola preveja mudanças e detecte oportunidades; aumenta a eficiência dos insumos na agricultura; aumenta a margem de lucro para os agricultores; reduz desperdícios; economizar tempo e recursos financeiros; acelera o processamento das lavouras por meio da rapidez durante o período de colheita; minimiza doenças de culturas e animais para aumentar os rendimentos; monitora o crescimento das culturas para evitar perdas; monitora os padrões comportamentais do gado; identifica a localização dos animais dentro e fora das fazendas melhorando o controle do gerenciamento do gado; aumenta a produção tanto para as lavouras quanto para a pecuária; facilita a gestão de pessoas (os fazendeiros podem monitorar remotamente seus agricultores a muitos quilômetros de distância); reduz perda de safras; reduz os custos logísticos nas fazendas; melhora os processos de pós-colheita; apresenta simplicidade na instalação com baixo custo de manutenção e configuração automática.	Alreshidi (2019); Bertoglio et al (2021); Bouali et al (2021); Chehri, (2022); Codeluppi et al (2020); Friha et al (2021); Idoje, Dagiuklas and Iqbal (2021); Krupitzer and Stein (2021); Liu (2021); Mohamed et al (2021); Muñoz et al (2020); Ouafiq et al (2022); Ouafiq, Saadane and Ragazou et al (2022); Shaikh et al (2021); Symeonaki, Arvanitis and Piromalis (2020); Vangala et al (2021).
Robôs agrícolas	Aumenta a receita anual da fazenda; supre a necessidade de trabalhadores dada escassez de pessoal; aumenta a produtividade por meio do controle das ervas daninhas; lida com tarefas agrícolas fundamentais mais rapidamente e com maior capacidade do que os trabalhadores humanos; facilita e automatiza a colheita de culturas; pode substituir o trabalho humano proporcionando economia com mão-de-obra; pode auxiliar na mobilidade de máquinas inteligentes dentro da área agrícola; coleta dados para facilitar e melhorar as tomadas de decisões; aumenta a margem de lucro para os agricultores; ajuda na previsão de rendimento de culturas; aumenta geometricamente a produção agrícola e animal; monitora	Alreshidi (2019); Bertoglio et al (2021); Idoje, Dagiuklas and Iqbal (2021); Krupitzer and Stein (2021); Mohamed et al (2021); Ouafiq, Saadane and Chehri (2022); Ragazou et al (2022); Shaikh et al (2021); Wang, Ren and Meng

	as culturas em menos tempo que métodos tradicionais; reduz o consumo de energia; monitora a qualidade do solo por meio do equipamento de amostragem; auxilia nos trabalhos de manutenção reduzindo os tempos de parada e, portanto, possíveis perdas de rendimento ou desperdício de alimentos; monitora em tempo real e mapeia os sistemas de irrigação, pulverização, poda e colheita, economizando recursos e finanças; fertiliza as lavouras; monitora os estágios de crescimento das culturas; melhora a eficiência da agricultura reduzindo os custos operacionais; otimiza o rendimento da agricultura por meio da medição, monitoramento e detecção de parâmetros agrícolas como temperatura, umidade, rendimento e fertilidade das culturas; treina agricultores para melhorar a produtividade com análise de dados seguras e precisas.	(2021); Zscheischler et al (2022).
FATOR AMBIENTAL		
<i>Smart tecnologias</i>	Características	Autores
<i>Internet of Things (IoT)</i>	Tem potencial para auxiliar a redução de emissões de gases poluentes; integra as fontes de energia verde em fazendas inteligentes; aumenta a proteção ambiental reduzindo a utilização de fertilizantes e pesticidas por meio de aplicação inteligente de agroquímicos; melhora a saúde das culturas; otimiza a produção de produtos saudáveis; reduz poluição de recursos primários, viabilizando uma melhor proteção ambiental; proporciona condições de operação mais seguras e eficientes para o meio ambiente; melhora a gestão da água e controle de irrigação; monitora e controla plantas e animais, para alertar os agricultores acerca de doenças e pragas; reduz o desperdício de recursos naturais e alimentos; melhora a saúde do solo; monitora e controla de forma inteligente as condições climáticas com base nas necessidades das plantas.	Alreshidi (2019); Bertoglio et al (2021); Bouali et al (2021); Friha et al (2021); Idoje, Dagiuklas and Iqbal (2021); Kamienski et al (2019); Krupitzer and Stein (2021); Mohamed et al (2021); Ouafiq, Saadane and Chehri (2022); Ragazou et al (2022); Shaikh et al (2021); Symeonaki, Arvanitis and Piromalis (2020); Vangala et al (2021).
Robôs agrícolas	Ajuda na transição das fazendas para a produção sustentável; se apresenta como tecnologia amiga do meio ambiente; reduz a utilização de água e pesticidas; reduz o risco de contaminação ambiental; melhora o monitoramento de insetos, pragas, doenças e incêndios; detecta o período certo para as colheitas; identifica doenças de animais precocemente; beneficia a proteção do solo; aplica com precisão uma quantidade específica de fertilizantes para compensar a deficiência de nutrientes no solo; inspeciona os setores de cultivo em busca de ervas daninhas ou doenças de plantas; aplica herbicidas de modo direcionado; remove automaticamente as ervas daninhas; economiza recursos ambientais; reduz a poluição ambiental provocada pelos pesticidas nas fazendas.	Bertoglio et al (2021); Idoje, Dagiuklas and Iqbal (2021); Krupitzer and Stein (2021); Mohamed et al (2021); Ragazou et al (2022); Wang, Ren and Meng (2021).
FATOR SOCIAL		
<i>Smart tecnologias</i>	Características	Autores
<i>Internet of Things (IoT)</i>	Possibilidade de combinação do uso de IoT e formas verdes de energia na agricultura; pode criar novas oportunidades de emprego para os moradores nas áreas rurais; proporciona condições de operação mais seguras para as partes interessadas (envolvendo agricultores, engenheiros agrônomos, formuladores de políticas e profissionais em geral); reduz uso de agroquímicos que se mal utilizados, podem ter efeitos nocivos para a saúde humana; proporciona à comunidade consumidora transparência de informações acerca da segurança alimentar e nutricional dos alimentos; melhora as condições de trabalho uma vez que as intervenções	Alreshidi (2019); Bouali et al (2021); Codeluppi et al (2020); Friha et al (2021); Idoje, Dagiuklas and Iqbal (2021); Ragazou et al (2022); Symeonaki, Arvanitis and Piromalis (2020).

	manuais e repetitivas para pequenos serviços mecânico não são mais necessárias.	
Robôs agrícolas	Facilita o trabalho; pode liberar os agricultores do trabalho rotineiro, possibilitando que eles se dediquem às tarefas essenciais na fazenda; reduz o trabalho físico; proporciona interação simples e de fácil manuseio com o usuário.	Idoje, Dagiuklas and Iqbal (2021); Mohamed et al (2021); Wang, Ren and Meng (2021); Zscheischler et al (2022)

Fonte: Dados da pesquisa, 2022

Conforme observa-se, a maioria das publicações que unem: Sustentabilidade, IoT e Robotização, em um contexto de gestão, destacam como premissa as vantagens econômicas, seguidas das ambientais. Poucos artigos da base de dados enfatizam os ganhos sociais que as tecnologias em estudo podem viabilizar, tanto para os agricultores, que estão na base operacional da produção, como para a sociedade. Nesse sentido, Whitfield et al (2015) afirmam que em um sistema complexo como a agricultura, as relações ganha-ganha raramente apresentam resultados satisfatórios, dada a existência de múltiplas prioridades e objetivos interconectados na busca pela sustentabilidade, o que provoca conflitos inevitáveis.

A soberania do fator econômico é uma preocupação. Tradicionalmente, os produtores agrícolas buscam aumentar continuamente a produção em troca de benefícios econômicos. Porém o uso excessivo da terra apresenta benefícios de curto prazo (Zhu and Li, 2021). O desenvolvimento tecnológico na agricultura precisa ser praticado em todas as esferas da sustentabilidade para que haja equilíbrio social, ambiental e econômico.

Em todo o mundo há uma busca ascendente por tornar tudo 'inteligente'. No contexto da agricultura, observa-se inúmeras 'inovações mal configuradas' É necessário reinventar muitas tecnologias inteligentes para produzir configurações mais eficazes (Fraser, 2022).

Nesse contexto, Zscheischler et al (2022) falam sobre os custos invisíveis das tecnologias na agricultura (esses custos consistem em externalidades negativas não intencionais). Ao mesmo tempo em que a digitalização traz uma série de melhorias para a agricultura, ela carrega consigo uma série de efeitos não desejáveis e riscos não intencionais que podem aumentar a vulnerabilidade da produção agrícola, porém essa temática tem recebido pouca atenção da academia e da sociedade. Tal realidade é dotada de alta complexidade e deve ser analisada de forma multidisciplinar (Saggi and Jain, 2022). Nesse sentido, alguns fatores, que requerem maior atenção por parte das pesquisas, foram encontrados na literatura e listados, conforme segue:

Em primeiro lugar, as inovações tecnológicas têm proporcionado crescimento exponencial do lixo eletrônico (*e-waste*). Todos os anos milhões de toneladas de equipamentos em fim de vida útil são descartados, gerando consequentes preocupações quanto ao destino final desses resíduos. A gestão do lixo eletrônico tem causado preocupações entre acadêmicos, profissionais, formuladores de políticas e governos (Ahirwar and Tripathi, 2021; Dhir et al, 2021).

Uma outra preocupação é a segurança dos dados. A ampla acessibilidade e abertura das fontes de dados ameaçam a integridade do sistema (Modejar et al, 2021). O advento das *smart* tecnologias intensificou a variedade de questões relacionadas à segurança cibernética, tal realidade tem sido encarada como um desafio que precisa de grande atenção (Riel et al, 2017).

A complexidade para seleção e implantação das tecnologias agrícolas inteligentes em diferentes realidades pode ser considerado mais um desafio (Yang et al, 2021). O mercado está repleto de alternativas de tecnologias inteligentes, com diferenças técnicas, que dificultam a escolha. Além disso, cada alternativa apresenta níveis de investimentos consideráveis, assim sendo, uma escolha errada pode proporcionar grandes perdas para o produtor (Roussaki et al, 2019; Sims and Kienzle, 2017; Yang et al, 2021). As tecnologias precisam estar alinhadas com as neces-

sidades do negócio agrícola (Ouafiq et al, 2022).

Outro fator que deve ser considerado é o impacto social e cultural entre os agricultores. A implementação das tecnologias no campo exigirá capacidades adaptativas por parte deles, para lidarem com as transformações tecnológicas dinâmicas, e para que possam ter acesso às informações a ponto de extraírem conhecimentos relevantes para o exercício do trabalho (Zscheischler et al, 2022). Essa mudança cultural faz-se necessária, porque em muitos casos, os agricultores têm pouco ou nenhum acesso aos dados coletados em suas próprias fazendas (Jaya-shankar et al., 2018).

Nesse contexto, a necessidade de melhor infraestrutura é um desafio, pois ela pode ampliar as desigualdades entre regiões desenvolvidas e em desenvolvimento. Se por um lado, a digitalização melhora o posicionamento dos países em desenvolvimento nos mercados globais, por outro, ela também pode restringir o escopo de sua participação, bem como as oportunidades de atualização no âmbito global, devido aos benefícios relativamente maiores para os países desenvolvidos (Matthess and Kunkel, 2020; Mondejar et al, 2021).

Nessa mesma perspectiva, adiciona-se ainda a dificuldade de acesso a uma rede adequada de internet nas regiões agrícolas de países em desenvolvimento, fator crucial em termos de transmissão de dados entre sensores via internet utilizados na IoT (Mohamed et al, 2021). Os pequenos agricultores ao mesmo tempo que são os mais afetados por essa falta de infraestrutura, também são os principais produtores de alimentos do mundo, cerca de 80% dos alimentos cultivados são produzidos pela agricultura familiar. Assim, é necessário que esse público seja munido de melhor infraestrutura para as tecnologias sustentáveis (Sims and Kienzle, 2017).

Nos países em desenvolvimento, a maioria dos agricultores residem em áreas rurais, não possuem instruções suficientes para operar instrumentos tecnológicos, o que os coloca em um estado de vulnerabilidade (Eitzinger et al., 2019; Friha et al, 2021). Adiciona-se a isso as dificuldades de uso e compreensão que alguns sistemas apresentam, devido às complexas interfaces de usuário, tecnologia e processos operacionais (Wang, Ren and Meng, 2021). Cabe às organizações fornecerem conhecimentos e meios para os agricultores lidarem com as tecnologias (Alreshidi, 2019).

Diante dos dados apresentados, observa-se a grande complexidade na busca de sustentabilidade no contexto da *smart* agricultura. Esse campo é repleto de incertezas operando mudanças em vários níveis, desde as fazendas até as cadeias globais de valor (Turner et al, 2017). Para construir um futuro sustentável, são necessárias inovações que integrem fatores sociais e éticos. Dessa forma, é necessário desenvolver inovações responsáveis que busquem atender demandas para e com a sociedade. Porém, muitas ferramentas tecnológicas são limitadas por desafios relacionados à lógica de negócios dominantes, que envolve os diferentes interesses dos *stakeholders* e restrições de recursos (Long and Blok, 2018). Assim, a gestão de tecnologias na agricultura não é um debate trivial, sua complexidade tem despertado muitas pesquisas em vários campos do conhecimento.

5 DISCUSSÕES

O objetivo da pesquisa foi avaliar algumas *smart* tecnologias que têm sido aplicadas à agricultura sob a ótica do *trade off* da sustentabilidade em seus fatores: ambiental, econômico e social. Foi feita uma revisão sistemática da literatura, por meio de análise de conteúdo em artigos encontrados na plataforma *Scopus*. A partir daí foi possível montar de forma sistematizada um *framework* que apresentou características de duas *smart* tecnologias: IoT e robôs agrícolas.

Apesar da literatura acerca da sustentabilidade na agricultura enfatizar a importância dos fatores econômicos, ambientais e sociais (Mondejar et al, 2021), detectou-se que o desenvolvimento das *smart* tecnologias em estudo é motivado principalmente pela otimização dos rendimentos das empresas, pouca atenção tem sido dada ao fator social.

Embora a esfera econômica continue sendo a principal motivação para o desenvolvimento agrícola, os formuladores de políticas públicas estão, cada vez mais, buscando formas para melhorar a sustentabilidade da produção de alimentos, em busca de soluções que fomentem a relação ganha-ganha entre todas as esferas da sustentabilidade (Whitfield et al, 2015). Nesse sentido, parcerias público-privadas são necessárias para promover a aplicação, desenvolvimento e inclusão de tecnologias na agricultura, tais como de IoT e robôs agrícolas (Sims and Kienzle, 2017).

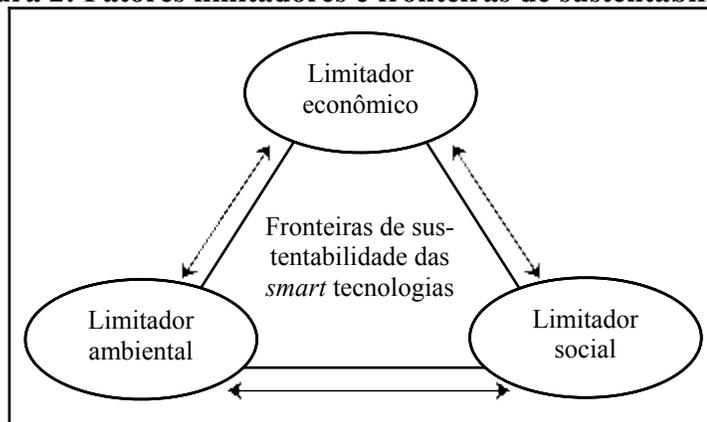
Os formuladores de políticas, possuem o poder de intervir na realidade das organizações estabelecendo marcos regulatórios e incentivos financeiros aos produtores para estimular o comportamento desejado (Turner et al, 2017). Um exemplo de apoio do setor público à modernização da agricultura, foi observado no governo brasileiro por meio do programa “Mais Alimentos” no qual os produtores recebiam incentivos financeiros do governo para compra de máquinas agrícolas. Esse programa foi importado por outros países em desenvolvimento: Moçambique, Gana, Zimbábue e Quênia para promover a agricultura familiar (Amanor and Chichava, 2016).

A sustentabilidade de qualquer sistema complexo abrange muitas dimensões, dada a multiplicidade de fronteiras que podem funcionar como fatores reguladores dos limites de expansão aceitável. Nesses sistemas, as dimensões estão interconectadas, as mudanças têm o potencial de mover os componentes em direções positivas ou negativas em relação aos limites da sustentabilidade (Whitfield et al, 2015).

Diante disso, é importante a avaliação das *smart* tecnologias aqui apresentadas para se identificar o fator limitador de cada uma delas. Por exemplo, fator ambiental limita o uso das tecnologias pelo efeito rebote que observa-se com a produção do lixo eletrônico composto por instrumentos de IoT e robôs em fim de vida útil (Ahirwar and Tripathi, 2021; Dhir et al, 2021; Long and Blok, 2018). A dimensão social, pode regular o uso das *smart* tecnologias por meio da aceitação dos agricultores, que muitas vezes são analfabetos digitais (Alreshidi, 2019; Eitzinger et al., 2019; Friha et al, 2021; Jayashankar et al, 2018; Mohamed et al, 2021; Wang, Ren and Meng, 2021; Zscheischler et al, 2022). O fator econômico pode limitar o uso das tecnologias na medida em que o mercado oferece alternativas tecnológicas variadas para solucionar problemas com altos níveis de investimentos, podendo comprometer o negócio em caso de uma escolha errada (Roussaki et al, 2019; Sims and Kienzle, 2017; Yang et al, 2021).

Graficamente, pode-se ilustrar essa relação da seguinte forma (ver figura 2):

Figura 2: Fatores limitadores e fronteiras de sustentabilidade



Fonte: Formulado pelo autor, 2022

Desse modo, observa-se a grande complexidade envolvida na adoção e aplicação de novas tecnologias com foco na sustentabilidade. Então, o grande desafio é conceber tecnologias sustentáveis para sistemas complexos, que definem os limites de ações aceitáveis (Whitfield et al, 2015), em suas diferentes dimensões.

Por fim, tanto a robótica como a IoT possuem grandes potenciais para auxiliarem a agricultura em busca da sustentabilidade, porém os fatores limitantes aqui apresentados sugerem a seguinte reflexão: Até que ponto essas tecnologias estão sendo verdadeiramente sustentáveis?

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O questionamento que motivou a pesquisa foi: Quais os desdobramentos da aplicação das *smart* tecnologias na agricultura diante da busca pela sustentabilidade socioambiental? Para responder a essa questão de pesquisa foi feita uma revisão sistemática da literatura na plataforma *Scopus*. O objetivo foi avaliar algumas *smart* tecnologias (especificamente IoT e robôs agrícolas) que têm sido aplicadas à agricultura sob a ótica do *trade off* da sustentabilidade em seus fatores: ambientais, econômicos e sociais.

Após a revisão dos artigos foi possível sistematizar um *framework* com características das *smart* tecnologias em estudo nas dimensões ambientais, sociais e econômicas. Com isso, foi possível verificar que o fator econômico tem sido o mais abordado nas pesquisas, denotando que o desenvolvimento das *smart* tecnologias (IoT e robôs agrícolas) são motivados pelo retorno econômico. Em outro extremo, tem-se o fator social como o menos citado nas publicações analisadas. Porém, para que uma tecnologia seja considerada sustentável, é necessário atender todos os seus fatores de modo equitativo.

Assim, os resultados permitem concluir que existe grande complexidade para obtenção do equilíbrio da sustentabilidade socioambiental. Isso acontece devido os vários fatores limitantes encontrados na literatura, que permite sugerir que a IoT e os robôs agrícolas possam ser reavaliados em suas diferentes aplicações, com base nos pilares da sustentabilidade, desde a concepção dos projetos, para que possam ser verdadeiramente sustentáveis

As principais limitações da pesquisa foram: A utilização da plataforma de artigos *Scopus* como única fonte para a revisão sistemática da literatura, e a abordagem mais aprofundada de apenas duas *smart* tecnologias (IoT e robô agrícola). Apesar dessas limitações, acredita-se que o

estudo apresentou rigor acadêmico e relevância para diferentes *stakeholders*: O mercado agroalimentar, foi contemplado por meio da caracterização das ferramentas tecnológicas em estudo; em termos sociais, a pesquisa apresentou diferentes desdobramentos necessários para repensar as *smart* tecnologias; e no que se refere aos formuladores de políticas públicas, apresentou-se demandas que necessitam do poder público para equilibrar o sistema da agricultura sustentável.

Para trabalhos futuros, sugere-se ampliar o escopo da pesquisa envolvendo outras *smart* tecnologias e analisá-las fazendo uso da filosofia da tecnologia com intuito de repensar o desenvolvimento tecnológico vivido pela humanidade hoje.

REFERÊNCIAS

- Ahirwar, R., & Tripathi, A. K. (2021). E-waste management: A review of recycling process, environmental and occupational health hazards, and potential solutions. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 15, 100409.
- Alreshidi, E. (2019). Smart sustainable agriculture (SSA) solution underpinned by internet of things (IoT) and artificial intelligence (AI). arXiv preprint arXiv:1906.03106.
- Amanor, K. S., & Chichava, S. (2016). South–south cooperation, agribusiness, and African agricultural development: Brazil and China in Ghana and Mozambique. *World Development*, 81, 13-23.
- Bartkowski, B. (2017). Degrowth, organic agriculture and GMOs: A reply to Gomiero (2017, JCLEPRO). *Journal of Cleaner Production*, 168, 904-907.
- Bednar, P. M., & Welch, C. (2020). Socio-technical perspectives on smart working: Creating meaningful and sustainable systems. *Information Systems Frontiers*, 22 (2), 281-298.
- Benos, L., Bechar, A., & Bochtis, D. (2020). Safety and ergonomics in human-robot interactive agricultural operations. *Biosystems Engineering*, 200, 55-72.
- Bertoglio, R., Corbo, C., Renga, F. M., & Matteucci, M. (2021). The digital agricultural revolution: A bibliometric analysis literature review. *IEEE Access*, 9, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3115258
- Bi, Z. M., Luo, C., Miao, Z., Zhang, B., Zhang, W. J., & Wang, L. (2021). Safety assurance mechanisms of collaborative robotic systems in manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 67, 102022.
- Bouali, E. T., Abid, M. R., Boufounas, E. M., Hamed, T. A., & Benhaddou, D. (2021). Renewable Energy Integration Into Cloud & IoT-Based Smart Agriculture. *IEEE Access*, 10, 1175-1191.
- Chen, Y. H., Wen, X. W., Wang, B., & Nie, P. Y. (2017). Agricultural pollution and regulation: How to subsidize agriculture?. *Journal of cleaner production*, 164, 258-264.
- Cienciała, A., Sobura, S., & Sobolewska-Mikulska, K. (2022). Optimising Land Consolidation by Implementing UAV Technology. *Sustainability*, 14(8), 4412.
- Clark, M., & Tilman, D. (2017). Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environmental Research Letters*, 12(6), 064016.

- Codeluppi, G., Cilfone, A., Davoli, L., & Ferrari, G. (2020). LoRaFarM: A LoRaWAN-based smart farming modular IoT architecture. *Sensors*, 20(7), 2028.
- Daum, T., 2021. Farm robots: ecological utopia or dystopia? *Trends Ecol. Evol.* 36, 774 – 777. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.06.002>.
- Dhir, A., Koshta, N., Goyal, R. K., Sakashita, M., & Almotairi, M. (2021). Behavioral reasoning theory (BRT) perspectives on E-waste recycling and management. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124269.
- Eitzinger, A., Cock, J., Atzmanstorfer, K., Binder, C. R., Läderach, P., Bonilla-Findji, O., ... & Jarvis, A. (2019). GeoFarmer: A monitoring and feedback system for agricultural development projects. *Computers and electronics in agriculture*, 158, 109-121.
- Elkington, J. (2018). 25 years ago I coined the phrase “triple bottom line.” Here’s why it’s time to rethink it. *Harvard business review*, 25, 2-5.
- FAO (2018). Food and Agriculture Organization. Waste and the Right to Adequate Food: Making the Connection. *FAO: Rome, Italy*, 1.
- FAO (2019). The State of Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Online]. Available: <http://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>
- Fraser, A. (2022). ‘You can't eat data’?: Moving beyond the misconfigured innovations of smart farming. *Journal of Rural Studies*, 91, 200-207.
- Friha, O., Ferrag, M. A., Shu, L., Maglaras, L. A., & Wang, X. (2021). Internet of Things for the Future of Smart Agriculture: A Comprehensive Survey of Emerging Technologies. *IEEE CAA J. Autom. Sinica*, 8(4), 718-752.
- Hanumante, N. C., Shastri, Y., & Hoadley, A. (2019). Assessment of circular economy for global sustainability using an integrated model. *Resources, conservation and recycling*, 151, 104460.
- Idoje, G., Dagiuklas, T., & Iqbal, M. (2021). Survey for smart farming technologies: Challenges and issues. *Computers & Electrical Engineering*, 92, 107104.
- Jayashankar, P., Nilakanta, S., Johnston, W. J., Gill, P., & Bures, R. (2018). IoT adoption in agriculture: the role of trust, perceived value and risk. *Journal of Business & Industrial Marketing*.
- Kamienski, C., Soininen, J. P., Taumberger, M., Dantas, R., Toscano, A., Salmon Cinotti, T., ... & Torre Neto, A. (2019). Smart water management platform: IoT-based precision irrigation for agriculture. *Sensors*, 19(2), 276.
- Krupitzer, C., & Stein, A. (2021). Food Informatics—Review of the Current State-of-the-Art, Revised Definition, and Classification into the Research Landscape. *Foods*, 10(11), 2889.
- Liu, Y. (2021). Intelligent analysis platform of agricultural sustainable development based on the Internet of Things and machine learning. *Acta Agriculturae Scandinavica*, Section B—Soil & Plant Science, 71(8), 718-731.
- Long, T. B., & Blok, V. (2018). Integrating the management of socio-ethical factors into industry innovation: towards a concept of Open Innovation 2.0. *International food and agribusiness management review*, 21(1030-2018-2278), 463-486.

Mahroof, K., Omar, A., Rana, N. P., Sivarajah, U., & Weerakkody, V. (2021). Drone as a Service (DaaS) in promoting cleaner agricultural production and Circular Economy for ethical Sustainable Supply Chain development. *Journal of Cleaner Production*, 287, 125522.

Matthess, M., & Kunkel, S. (2020). Structural change and digitalization in developing countries: Conceptually linking the two transformations. *Technology in society*, 63, 101428.

Milošević, G., Kulić, M., Đurić, Z., & Đurić, O. (2020). The Taxation of Agriculture in the Republic of Serbia as a Factor of Development of Organic Agriculture. *Sustainability*, 12(8), 3261.

Mohamed, E. S., Belal, A. A., Abd-Elmabod, S. K., El-Shirbeny, M. A., Gad, A., & Zahran, M. B. (2021). Smart farming for improving agricultural management. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*.

Mondejar, M. E., Avtar, R., Diaz, H. L. B., Dubey, R. K., Esteban, J., Gómez-Morales, A., ... & Garcia-Segura, S. (2021). Digitalization to achieve sustainable development goals: Steps towards a Smart Green Planet. *Science of The Total Environment*, 794, 148539.

Muñoz, M., Gil, J. D., Roca, L., Rodríguez, F., & Berenguel, M. (2020). An iot architecture for water resource management in agroindustrial environments: A case study in almería (Spain). *Sensors*, 20(3), 596.

Niknejad, N., Ismail, W., Bahari, M., Hendradi, R., & Salleh, A. Z. (2021). Mapping the research trends on blockchain technology in food and agriculture industry: A bibliometric analysis. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101272.

ONU (2019). World Population Prospects 2019: Highlights United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. [Online]. Available: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf

Ouafiq E.M., Saadane R., Chehri A., Jeon S. (2022). AI-based modeling and data-driven evaluation for smart farming-oriented big data architecture using IoT with energy harvesting capabilities. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102093. Doi: 10.1016/j.seta.2022.102093.

Ouafiq, E. M., Saadane, R., & Chehri, A. (2022). Data Management and Integration of Low Power Consumption Embedded Devices IoT for Transforming Smart Agriculture into Actionable Knowledge. *Agriculture*, 12(3), 329.

Ragazou, K., Garefalakis, A., Zafeiriou, E., & Passas, I. (2022). Agriculture 5.0: A New Strategic Management Mode for a Cut Cost and an Energy Efficient Agriculture Sector. *Energies*, 15(9), 3113.

Riel, A., Kreiner, C., Macher, G., & Messnarz, R. (2017). Integrated design for tackling safety and security challenges of smart products and digital manufacturing. *CIRP annals*, 66(1), 177-180.

Roussaki, I., Kosmides, P., Routis, G., Doolin, K., Pevtschin, V., & Marguglio, A. (2019, June). A Multi-Actor Approach to promote the employment of IoT in Agriculture. In *2019 Global IoT Summit (GIoTS)* (pp. 1-6). IEEE.

Saggi, M. K., & Jain, S. (2022). A Survey Towards Decision Support System on Smart Irrigation Scheduling Using Machine Learning approaches. *Archives of Computational Methods in*

Engineering, 1-24.

Shaikh, F. K., Memon, M. A., Mahoto, N. A., Zeadally, S., & Nebhen, J. (2021). Artificial intelligence best practices in smart agriculture. *IEEE Micro*, 42(1), 17-24.

Sims, B., & Kienzle, J. (2017). Sustainable agricultural mechanization for smallholders: what is it and how can we implement it?. *Agriculture*, 7(6), 50.

Snyder, Hannah. 2019. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research* 104, 333–339.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>.

Symeonaki, E., Arvanitis, K., & Piromalis, D. (2020). A context-aware middleware cloud approach for integrating precision farming facilities into the IoT toward agriculture 4.0. *Applied Sciences*, 10(3), 813

Turner, J. A., Klerkx, L., White, T., Nelson, T., Everett-Hincks, J., Mackay, A., & Botha, N. (2017). Unpacking systemic innovation capacity as strategic ambidexterity: How projects dynamically configure capabilities for agricultural innovation. *Land use policy*, 68, 503-523.

Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *scientometrics*, 84(2), 523-538.

Vangala, A., Das, A. K., Kumar, N., & Alazab, M. (2021). Smart secure sensing for IoT-based agriculture: Blockchain perspective. *IEEE Sensors Journal*, 21(16), 17591-17607.

Vasconez, J. P., Kantor, G. A., & Cheein, F. A. A. (2019). Human–robot interaction in agriculture: A survey and current challenges. *Biosystems engineering*, 179, 35-48.

Wang, H., Ren, Y., & Meng, Z. (2021). A Farm Management Information System for Semi-Supervised Path Planning and Autonomous Vehicle Control. *Sustainability*, 13(13), 7497.

Whitfield, S., Benton, T. G., Dallimer, M., Firbank, L. G., Poppy, G. M., Sallu, S. M., & Stringer, L. C. (2015). Sustainability spaces for complex agri-food systems. *Food Security*, 7(6), 1291-1297.

Yang, Z., Lin, M., Li, Y., Zhou, W., & Xu, B. (2021). Assessment and selection of smart agriculture solutions using an information error based Pythagorean fuzzy cloud algorithm. *International Journal of Intelligent Systems*, 36(11), 6387-6418.

Zewge, A., & Dittrich, Y., (2017). Systematic mapping study of information technology for development in agriculture (the case of developing countries). *Electron. J. Inf. Syst. Dev. Ctries*. 82 (1), 1 – 25.

Zhu, L., & Li, F. (2021). Agricultural data sharing and sustainable development of ecosystem based on block chain. *Journal of Cleaner Production*, 315, 127869.

Zhu, X., & Shin, H. J. (2021). Financial Analysis for Improving River Water Quality through Introduction of Organic Agriculture. *Sustainability*, 13(5), 2960.

Zscheischler, J., Brunsch, R., Rogga, S., & Scholz, R. W. (2022). Perceived risks and vulnerabilities of employing digitalization and digital data in agriculture–Socially robust orientations from a transdisciplinary process. *Journal of Cleaner Production*, 358, 132034.