

O PAPEL DA TECNOLOGIA NA OBTENÇÃO DA SEGURANÇA ALIMENTAR: COMO OS AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA AGRICULTURA E NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS PODEM AJUDAR A MELHORAR A SEGURANÇA ALIMENTAR

THE ROLE OF TECHNOLOGY IN ACHIEVING FOOD SECURITY: HOW CAN TECHNOLOGICAL ADVANCEMENTS IN AGRICULTURE AND FOOD PRODUCTION HELP TO IMPROVE FOOD SECURITY

Autores: Matheus Vieira Machado¹; Paulo Dabdab Waquil²; Lucas da Silva Ramos³

Filiação: Universidade Federal do Rio Grande do Sul¹²;

E-mail: matheusd.vieira@hotmail.com¹; waquil@ufrgs.br²;

Grupo de Trabalho (GT): 10 – Abastecimento. Segurança Alimentar e Nutricional e Dinâmicas de Consumo.

Resumo: O papel da tecnologia na obtenção da segurança alimentar é um tópico de importância crescente, à medida que a população mundial continua a crescer e as mudanças climáticas ameaçam a produção de alimentos. Este artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre o impacto dos avanços tecnológicos na agricultura e na produção de alimentos na segurança alimentar, com foco nos potenciais riscos e benefícios dessas tecnologias. As descobertas sugerem que avanços tecnológicos, como agricultura de precisão, engenharia genética e agricultura vertical têm o potencial de melhorar significativamente a segurança alimentar, aumentando os rendimentos, reduzindo o desperdício e aumentando a resiliência das culturas. No entanto, essas tecnologias também apresentam riscos potenciais, como consequências ambientais não intencionais, distribuição desigual de benefícios e perda de biodiversidade. O artigo conclui com uma discussão sobre a necessidade de consideração cuidadosa dos riscos e benefícios da tecnologia para alcançar a segurança alimentar e a importância do acesso equitativo a essas tecnologias para garantir que seus benefícios potenciais sejam realizados.

Palavras-chave: Agronegócio; Resiliência; Agricultura Sustentável

Abstract: The role of technology in achieving food security is a topic of increasing importance, as the world's population continues to grow and climate change threatens food production. This article presents a systematic review of the literature on the impact of technological advancements in agriculture and food production on food security, with a focus on the potential risks and benefits of these technologies. The findings suggest that technological advancements, such as precision agriculture, genetic engineering, and vertical farming, have the potential to significantly improve food security by increasing yields, reducing waste, and enhancing crop resilience. However, these technologies also present potential risks, such as unintended environmental consequences, unequal distribution of benefits, and loss of biodiversity. The article concludes with a discussion of the need for careful consideration of the risks and benefits of technology in achieving food security, and the importance of equitable access to these technologies to ensure their potential benefits are realized.

Key words: Agribusiness; Resilience; Sustainable Agriculture

1. Introdução

A segurança alimentar é uma questão crítica que o mundo enfrenta hoje. Segundo as Nações Unidas, quase 690 milhões de pessoas passam fome todos os dias, e esse número deve aumentar devido ao crescimento populacional, mudanças climáticas e outros fatores (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). Para enfrentar este desafio, é crucial explorar soluções inovadoras que possam ajudar a melhorar a produtividade agrícola e a produção de alimentos.

Os avanços tecnológicos na agricultura e na produção de alimentos têm o potencial de melhorar significativamente a segurança alimentar em todo o mundo. Essas tecnologias podem ajudar os agricultores a otimizar o uso de recursos, aumentar a produtividade, reduzir custos e

conservar os alimentos por mais tempo. Por exemplo, técnicas de agricultura de precisão, como sensores, drones e GPS, podem fornecer aos agricultores dados em tempo real sobre as condições do solo e da cultura, permitindo-lhes tomar decisões mais informadas sobre o gerenciamento de recursos (Godfray et al., 2010). A biotecnologia pode ser usada para desenvolver culturas resistentes a pragas, doenças e secas, melhorando o rendimento das culturas e reduzindo as perdas (Tilman et al., 2011). As técnicas de agricultura vertical permitem a produção de culturas durante todo o ano em um ambiente controlado, usando o mínimo de espaço, água e energia (FAO, 2021). As tecnologias de preservação de alimentos, como enlatamento, congelamento e desidratação, podem ajudar a prolongar a vida útil dos alimentos, reduzindo o desperdício de alimentos e aumentando a segurança alimentar (FAO, 2021). Plataformas digitais, como sites de comércio eletrônico e aplicativos móveis, podem conectar agricultores a mercados, fornecendo acesso a compradores e informações sobre preços de safras e condições climáticas (World Bank, 2021).

Esses avanços tecnológicos não são isentos de desafios. Por exemplo, alguns críticos argumentam que as culturas geneticamente modificadas podem ter consequências ambientais não intencionais e que a agricultura vertical pode ser cara e intensiva em energia. Além disso, há preocupações sobre a acessibilidade dessas tecnologias para pequenos agricultores em países em desenvolvimento, que podem não ter os recursos e a infraestrutura necessários para adotar essas técnicas (Pandey & Anderson, 2017).

No entanto, apesar desses desafios, os benefícios potenciais dos avanços tecnológicos na agricultura e na produção de alimentos para a segurança alimentar são significativos. É importante que governos, pesquisadores e atores do setor privado continuem investindo nessas tecnologias e explorem maneiras de torná-las acessíveis e acessíveis a todos os agricultores, especialmente aqueles em países em desenvolvimento (Godfray et al., 2010).

Dada a complexa interação de fatores que influenciam a segurança alimentar, é essencial adotar uma abordagem holística que considere as dimensões social, econômica e ambiental do sistema alimentar. Isso requer envolver partes interessadas de diversas origens, incluindo agricultores, formuladores de políticas, consumidores e organizações da sociedade civil, no diálogo sobre o papel da tecnologia na obtenção da segurança alimentar. Ao fazer isso, podemos maximizar os benefícios potenciais das novas tecnologias, minimizando os riscos e garantindo que o sistema alimentar seja sustentável, equitativo e resiliente (Hawkes et al., 2020).

Neste artigo, apresentamos uma revisão sistemática da literatura existente sobre o papel da tecnologia na obtenção da segurança alimentar. O artigo teve como objetivo identificar as intervenções tecnológicas mais eficazes, bem como as principais barreiras e desafios para sua implementação. Nossa revisão visa fornecer uma visão abrangente e atualizada do estado do conhecimento sobre este tópico e identificar áreas-chave para futuras pesquisas e investimentos. Além disso, visamos fornecer uma base de conhecimento para que formuladores de políticas, profissionais e pesquisadores tomem decisões mais informadas sobre como investir e priorizar diferentes intervenções tecnológicas para melhorar os resultados da segurança alimentar.

As revisões sistemáticas são um método amplamente utilizado para sintetizar e analisar os resultados da pesquisa sobre um determinado tópico. Eles envolvem um processo rigoroso e transparente de busca, seleção e avaliação de estudos e podem fornecer informações valiosas sobre o estado do conhecimento sobre um determinado assunto (Higgins & Green, 2011).

Numerosos estudos exploraram o potencial da tecnologia para melhorar a produtividade agrícola e a produção de alimentos e, assim, contribuir para a segurança alimentar. Por exemplo, técnicas de agricultura de precisão, como sensoriamento remoto, drones e GPS, demonstraram melhorar o rendimento das culturas, reduzir custos e otimizar o uso de recursos (Gogoi et al., 2020). A biotecnologia também tem sido utilizada para desenvolver culturas mais resistentes a pragas e doenças, melhorando a produtividade e reduzindo as perdas pós-colheita (Tilman et al., 2011). Da mesma forma, as tecnologias digitais, como aplicativos móveis e plataformas de

comércio eletrônico, têm o potencial de melhorar o acesso dos agricultores aos mercados e informações, reduzindo as ineficiências do mercado e melhorando os resultados da segurança alimentar (Banco Mundial, 2021).

No entanto, a eficácia dessas intervenções tecnológicas na obtenção de resultados de segurança alimentar nem sempre é clara e pode haver compensações entre diferentes intervenções, dependendo dos contextos e condições locais (Gogoi et al., 2020). Uma revisão sistemática pode ajudar a sintetizar e avaliar as evidências existentes sobre a eficácia de diferentes intervenções tecnológicas, fornecendo informações sobre as abordagens mais promissoras para melhorar os resultados da segurança alimentar.

2. Referencial Teórico

2.1. Tecnologia e Agricultura

A segurança alimentar, definida como a "disponibilidade e acesso a alimentos suficientes, seguros e nutritivos para atender às necessidades dietéticas e preferências alimentares para uma vida ativa e saudável" (FAO, 2021), continua sendo um desafio global crítico. As Nações Unidas estimam que cerca de 690 milhões de pessoas em todo o mundo sofrem de fome, e a pandemia de COVID-19 exacerbou ainda mais a situação, com interrupções nas cadeias de abastecimento de alimentos e crises econômicas levando ao aumento da insegurança alimentar (FAO, 2021). Os avanços tecnológicos na agricultura e na produção de alimentos têm o potencial de enfrentar alguns desses desafios e melhorar a segurança alimentar em todo o mundo. Este referencial teórico explora o papel da tecnologia na obtenção da segurança alimentar, destacando os diversos avanços tecnológicos e seus potenciais benefícios e desafios.

Os avanços tecnológicos levaram a melhorias significativas na agricultura e na produção de alimentos. A Revolução Verde das décadas de 1960 e 1970, que introduziu novas variedades de culturas e práticas agrícolas, é um excelente exemplo de como a tecnologia pode melhorar a produção de alimentos e aumentar a produtividade (Borlaug, 2000). Hoje, os avanços nas técnicas de melhoramento de plantas, como a modificação genética, podem melhorar a resistência a doenças, a tolerância à seca e o teor de nutrientes das culturas, resultando em rendimentos mais altos e plantas mais robustas. Técnicas de agricultura de precisão, como tratores guiados por GPS, drones e sensores, podem ajudar os agricultores a otimizar os insumos e maximizar os rendimentos, minimizando o desperdício e o impacto ambiental (Gebbers e Adamchuk, 2010).

Além dos avanços na produção agrícola, a tecnologia também está melhorando o processamento e a preservação dos alimentos. Por exemplo, o processamento de alta pressão, um método não térmico de processamento de alimentos que usa alta pressão para matar bactérias nocivas, preservando a qualidade e o sabor dos alimentos, demonstrou prolongar a vida útil dos alimentos e reduzir o desperdício de alimentos (Wouters et al., 2018). Outros avanços, como nanotecnologia e revestimentos comestíveis, têm o potencial de melhorar ainda mais a preservação e embalagem de alimentos (Chaudhry et al., 2018).

A tecnologia tem sido amplamente reconhecida como um dos principais impulsionadores da produtividade agrícola e da segurança alimentar (Godfray et al., 2010). Os avanços tecnológicos transformaram a agricultura de um setor tradicional de subsistência em um setor moderno e orientado para a tecnologia que usa equipamentos avançados, agricultura de precisão e tecnologias digitais para aumentar a produtividade e a eficiência (Liu et al., 2019). Alguns dos principais avanços tecnológicos que contribuíram para a produtividade agrícola incluem:

- Agricultura de precisão: A agricultura de precisão envolve o uso de tecnologias baseadas em dados, como sensoriamento remoto, sistemas de posicionamento global (GPS) e sistemas de informações geográficas (GIS), para otimizar o uso de

insumos, como fertilizantes e pesticidas, e aumentar a colheita rendimentos (Babar et al., 2020; Mulla, 2013).

- **Biotecnologia:** A biotecnologia levou ao desenvolvimento de culturas geneticamente modificadas que são resistentes a pragas e doenças, têm maior rendimento e podem crescer em condições adversas, como seca e calor (FAO, 2020). A biotecnologia também oferece o potencial para o desenvolvimento de novas variedades de culturas com maior conteúdo nutricional.
- **Mecanização Agrícola:** A mecanização agrícola envolve o uso de máquinas, como tratores e colheitadeiras, para aumentar a produtividade e a eficiência da fazenda (Hobbs et al., 2008).
- **Tecnologias Digitais:** As tecnologias digitais, como a Internet das Coisas (IoT), a computação em nuvem e a análise de big data, estão transformando a agricultura, permitindo a agricultura de precisão, sistemas de irrigação inteligentes e monitoramento em tempo real de colheitas e gado (Kamilaris et al., 2017; Qin et al., 2021).

O uso dessas tecnologias tem o potencial de aumentar a produtividade agrícola, reduzir os custos de produção e melhorar a qualidade e a segurança dos alimentos (Godfray et al., 2010; Liu et al., 2019). Por exemplo, a agricultura de precisão pode reduzir o uso de insumos, como fertilizantes e pesticidas, em até 50%, levando a economia de custos e benefícios ambientais (Babar et al., 2020). A biotecnologia demonstrou aumentar o rendimento das culturas em até 22% e reduzir as perdas de colheitas devido a pragas e doenças em até 90% (FAO, 2020). A mecanização agrícola levou a aumentos significativos na produtividade agrícola e reduziu os custos de mão-de-obra (Hobbs et al., 2008). As tecnologias digitais permitiram a agricultura de precisão, levando a maiores rendimentos de colheitas e monitoramento em tempo real de colheitas e gado, levando a uma melhor saúde e bem-estar animal (Kamilaris et al., 2017).

Os benefícios potenciais dos avanços tecnológicos na agricultura e na produção de alimentos para a segurança alimentar são significativos. Ao aumentar os rendimentos e melhorar a resiliência das culturas, a tecnologia pode ajudar a garantir a disponibilidade de alimentos suficientes para atender às necessidades de uma população global crescente. Isso é particularmente importante em regiões com altos níveis de insegurança alimentar, onde os pequenos agricultores muitas vezes não têm acesso aos recursos e conhecimentos necessários para melhorar seus rendimentos (Deininger e Byerlee, 2011).

Além disso, os avanços tecnológicos podem ajudar a abordar as questões de segurança alimentar, melhorando a detecção e prevenção de doenças transmitidas por alimentos. Por exemplo, o sequenciamento de DNA e outras técnicas moleculares podem identificar rapidamente a fonte de surtos de origem alimentar e permitir intervenções direcionadas para evitar uma maior disseminação (Allard et al., 2018). Além disso, os avanços no processamento e preservação de alimentos podem ajudar a reduzir o desperdício de alimentos e aumentar a disponibilidade de alimentos nutritivos (Kumar e Srivastava, 2019).

2.2. Tecnologia e Segurança Alimentar

A Abordagem das Capacitações, desenvolvida pelo economista e filósofo Amartya Sen, fornece uma estrutura teórica para entender a importância da tecnologia para alcançar a segurança alimentar. De acordo com essa abordagem, os indivíduos e as comunidades devem ser capazes de buscar as vidas que valorizam e têm a capacidade de alcançá-las. Isso inclui a capacidade de acesso a alimentos que sejam suficientes, seguros e nutritivos (Sen, 1985).

Os avanços tecnológicos na agricultura e na produção de alimentos têm o potencial de aumentar as capacidades dos indivíduos e das comunidades para alcançar a segurança

alimentar, aumentando a produção de alimentos, melhorando a segurança e a qualidade dos alimentos e melhorando o acesso aos alimentos. No entanto, a eficácia das intervenções tecnológicas para alcançar a segurança alimentar depende de vários fatores contextuais, incluindo fatores socioeconômicos, culturais e políticos.

De acordo com a Abordagem das Capacitações, as intervenções tecnológicas devem ser implementadas dentro de uma estrutura mais ampla que leve em consideração as diversas necessidades e capacidades dos indivíduos e comunidades e aborde as desigualdades estruturais subjacentes que contribuem para a insegurança alimentar (Sen, 1999). Isso significa que os avanços tecnológicos não devem ser vistos como uma panaceia para a insegurança alimentar, mas sim como uma ferramenta que pode ser usada para aumentar as capacidades de indivíduos e comunidades para alcançar a segurança alimentar.

Portanto, a Abordagem das Capacitações enfatiza a importância de uma abordagem multidimensional para a segurança alimentar que vai além da disponibilidade e produção de alimentos e inclui considerações de acesso, utilização e capacidade de indivíduos e comunidades de fazer escolhas e buscar a vida que valorizam. As intervenções tecnológicas devem ser implementadas dentro de uma estrutura mais ampla que leve em consideração as diversas necessidades e capacidades de indivíduos e comunidades e aborde as desigualdades estruturais subjacentes que contribuem para a insegurança alimentar (FAO, 2018).

3. Metodologia

Este estudo teve como objetivo explorar o papel da tecnologia na obtenção da segurança alimentar, realizando uma revisão sistemática da literatura existente sobre o tema. Esta revisão sistemática adotou a estrutura de revisão sistemática proposta por Tranfield et al. (2003), composta por oito fases distribuídas em três etapas, a fim de evitar a subjetividade e viés do pesquisador e garantir um processo rigoroso e cientificamente embasado. A Figura 1 ilustra as etapas e fases da estrutura de revisão.

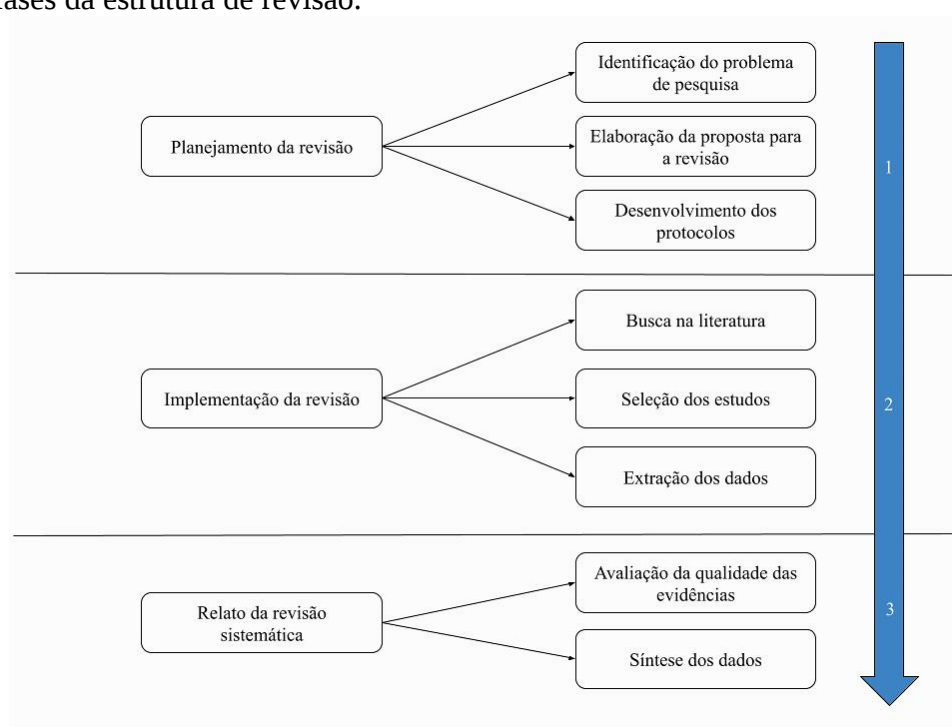


Figura 1 – Estrutura da Revisão Sistemática (Adaptado de Tranfield et al., 2003).

Inicialmente foi realizado o planejamento da revisão conforme o método proposto por Tranfiel et al. (2003), com a identificação do problema de pesquisa, seguido da elaboração da proposta e desenvolvimento dos protocolos de inclusão, exclusão e extração de dados.

Uma busca sistemática nos bancos de dados eletrônicos Scopus e Web of Science, foi realizada para identificar artigos relevantes publicados em inglês de janeiro de 2010 a abril de 2023. Os termos de pesquisa usados incluíram “food security + technology”. A busca foi limitada a artigos publicados em periódicos revisados por pares.

Depois de remover as duplicatas (n=47), dois revisores independentes examinaram os títulos e resumos dos artigos recuperados para determinar sua relevância para a questão da pesquisa. Os artigos de texto completo foram então avaliados para inclusão com base em critérios de elegibilidade predefinidos, que incluíram estudos que relataram dados sobre o papel da tecnologia na obtenção da segurança alimentar, bem como os riscos e benefícios potenciais dessas tecnologias. Como critério de exclusão foi estabelecido que tecnologias de manejo, armazenagem e processamento não entrariam na análise. Dessa forma, o artigo buscou analisar as tecnologias de informação e biotecnologia. Após a análise dos 78 trabalhos, 47 foram excluídos por não atenderem os critérios de inclusão estabelecidos e 7 rejeitados devido a impossibilidade de acessá-los. O processo pode ser verificado na Figura 2, de maneira que restaram 23 artigos para a realização deste trabalho.

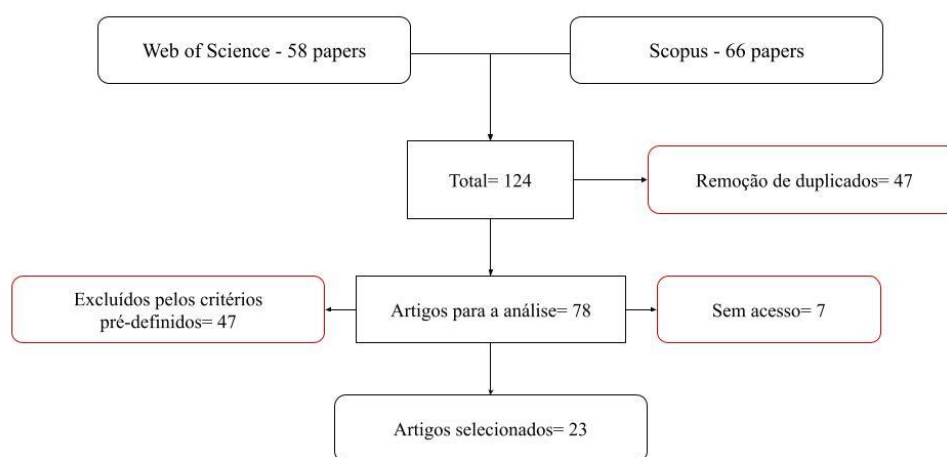


Figura 2 - Extração dos trabalhos selecionados para análise.

A extração de dados foi realizada usando um formulário de extração de dados padronizado que incluía as seguintes informações: características do estudo (por exemplo, autores, ano de publicação, desenho do estudo), população do estudo, local do estudo, tipo de tecnologia e os potenciais riscos e benefícios associados com a tecnologia, se existentes. As descobertas dos estudos incluídos foram sintetizadas e resumidas de forma narrativa, com foco no papel da tecnologia para alcançar a segurança alimentar e os riscos e benefícios potenciais associados a essas tecnologias. Os resultados foram divididos em 2 seções para uma melhor análise, sendo elas 1) Tecnologias da Informação e 2) Biotecnologia.

No geral, esta revisão sistemática fornece um resumo abrangente do papel da tecnologia para alcançar a segurança alimentar e os riscos e benefícios potenciais associados a essas tecnologias. Ao aderir a metodologia proposta, garantimos a transparência, reprodutibilidade e qualidade de nossa revisão.

4. Resultados e Discussão

4.1. Tecnologias da Informação

O autor Brown (2016) teve como objetivo em seu artigo analisar como a tecnologia de sensoriamento remoto pode ser utilizada para avaliar a segurança alimentar, através da maior disponibilidade de dados para os tomadores de decisão. Segundo o autor, a tecnologia de sensoriamento remoto é utilizada para coletar dados sobre as condições ambientais e agrícolas de uma determinada região e analisa-los para avaliar o potencial risco de insegurança alimentar através de satélites ou drones. Dessa forma, esses dados podem ajudar os tomadores de decisão a identificar áreas com maior risco e implementar intervenções preventivas para evitar problemas iminentes.

De acordo com o autor, alguns dos benefícios potenciais estão relacionados a identificação de áreas com maior risco de insegurança alimentar, melhor compreensão das mudanças ambientais que afetam a segurança alimentar, bem como maior eficiência no monitoramento da produção de alimentos. Os principais riscos potenciais destacados no artigo estão relacionados aos custos elevados associados à coleta e análise de dados que podem limitar o acesso a essa tecnologia em países em desenvolvimento ou regiões mais pobres (Brown, 2016).

Tendo como base o impacto das secas nas produções agrícolas, os autores Enekel et al. (2015) focaram o seu trabalho na melhoria do suporte à decisão para secas agrícolas, as quais ameaçam os meios de subsistência de pessoas que vivem em regiões vulneráveis ao problema. Desta forma, objetivaram discutir a melhoria do suporte à decisão para redução do risco e segurança alimentar por meio da integração de tecnologias avançadas, como dados derivados de satélites, previsões meteorológicas de longo prazo e aplicativos móveis.

O trabalho dos autores destaca que a seca pode ter um impacto significativo na segurança alimentar, especialmente em áreas onde a agricultura é a principal fonte de subsistência. A seca pode afetar a produção de alimentos, reduzir a qualidade dos alimentos e aumentar o preço dos mesmos, tornando-os inacessíveis para as comunidades mais pobres. Segundo os autores, as tecnologias discutidas no artigo podem ajudar a melhor preparação e resposta para eventos relacionados às secas, permitindo uma resposta mais rápida e eficaz (Enekel et al., 2015).

Desta forma, além de possibilitar uma melhor tomada de decisão, outros potenciais benefícios estão relacionados ao monitoramento em tempo real e coleta de dados abrangente, pois essas tecnologias podem permitir o monitoramento contínuo das condições ambientais. Já os possíveis riscos citados pelos autores são relacionados à privacidade e segurança de dados, dependência tecnológica e desigualdade digital. Segundo os mesmos, a dependência excessiva de tecnologias pode gerar vulnerabilidades se houver falhar no sistema, falta de acesso a internet ou problemas técnicos. O acesso limitado a smartphones e tecnologias avançadas também pode criar uma divisão digital, excluindo certas comunidades ou regiões de se beneficiarem dessas soluções (Enekel et al., 2015).

Os autores Haub et al. (2013) buscaram examinar os resultados da colaboração entre a Agência Espacial Europeia e o Ministério da Agricultura e Irrigação do Sudão no âmbito na iniciativa de Monitoramento Global para Segurança Alimentar (GMFS). Tal iniciativa visa aplicar serviços de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica para fins de segurança alimentar. Esse sistema de monitoramento da Agência Espacial Europeia tem como objetivo fornecer informações operacionais para monitoramento de culturas em apoio aos sistemas de monitoramento de segurança alimentar e servir de forma sustentável aos formuladores de política e usuários operacionais. Dessa forma, as tecnologias implementadas incluem satélites para monitoramento de áreas agrícolas, combinação de dados óticos e de radares para obter informações mais abrangentes sobre as condições agrícolas e coleta de amostras em campo.

Os resultados dos autores apontam que a colaboração entre os organismos foi bem sucedida no monitoramento agrícola, previsão de safras, detecção de riscos, gestão de recursos naturais e segurança alimentar no Sudão. Foi constatado uma melhor produtividade agrícola, pois os serviços do GMFS permitiram uma melhor compreensão das condições agrícolas no Sudão, o que acarretou em uma melhoria de produtividade em várias áreas. O fortalecimento das capacidades locais também foi apontado como um benefício, pois a colaboração envolveu a transferência de tecnologia e o fortalecimento institucional, o que capacitou os governos e as comunidades locais a utilizar essas ferramentas de forma autônoma e sustentável. Além disso, os serviços desenvolvidos forneceram informações valiosas para a tomada de decisão pelas autoridades governamentais, contribuindo para a formulação de políticas públicas mais eficazes para melhorar a segurança alimentar (Haub et al., 2013).

Como potencial risco também foi apontada a possibilidade de dependência tecnológica, pois a dependência excessiva das tecnólogas de sensoriamento remoto pode criar vulnerabilidades caso ocorram falhas técnicas, interrupção no fornecimento de dados ou problemas de acesso à infraestrutura necessária. A privacidade e segurança de dados foi outro fator destacado pelos autores, pois o uso dessas tecnologias envolve a coleta e o processamento de grandes quantidades de dados, dessa forma a proteção adequada desses dados é essencial para garantir a privacidade das pessoas e evitar o uso indevido ou não autorizado. Como último potencial fator de risco os autores apontam para as possibilidades de desigualdade e exclusão digital, pois a implementação dessas tecnologias pode criar desigualdades se certos grupos ou regiões que não tiveram acesso adequado aos recursos e conhecimentos necessários, portanto a exclusão digital pode agravar as disparidades existentes na segurança alimentar (Haub et al., 2013).

Forkuor et al. (2022) realizaram um estudo para abordar o problema da baixa adoção em larga escala da tecnologia de estufas em Gana, investigando as barreiras para sua adoção em grande escala, bem como as oportunidades associadas. Segundo os autores, essa tecnologia pode auxiliar significativamente na segurança alimentar, estas permitem a produção contínua de alimento ao longo do ano, independente das condições climáticas externas, garantindo um suprimento constante de alimentos frescos e saudáveis através de um ambiente controlado. O uso de tecnologias em estufas também pode aumentar a produtividade agrícola, permitindo o cultivo de culturas de alto valor e melhorando o rendimento por unidade de área. Portanto, segundo os autores a adoção desta tecnologia tem o potencial de melhorar significativamente a segurança alimentar, a sustentabilidade e o desenvolvimento econômico, fornecendo uma fonte confiável de alimentos frescos e nutritivos, especialmente em regiões onde a produção agrícola tradicional é desafiada por fatores climáticos e ambientais.

Os resultados dos autores identificaram várias barreiras à adoção em larga escala das tecnologias em estufas em Gana, incluindo a inadequação dos designs existentes às condições climáticas e biológicas de Gana, a falta de sementes adaptadas localmente, a baixa capacidade técnica para gerir o processo de produção, altos custos, falta de acesso a financiamento e colaboração limitada entre os governos e os produtores. A ausência de capacidade técnica e educacional adequada também foi identificada como um obstáculo significativo para a adoção das tecnologias em estufas (Furkuor et al., 2022).

Além dos benefícios destacados como o aumento da produtividade, uso eficiente de recursos, produção sustentável ao longo do ano, qualidade do alimento, criação de empregos e desenvolvimento econômico, os autores destacam alguns dos riscos existentes. O investimento inicial em infraestrutura e tecnologia para estufas pode ser alto, o que pode representar um desafio financeiro para pequenos agricultores e empreendedores. Além disso, os autores destacam que ambientes fechados em estufas podem favorecer o desenvolvimento de pragas e doenças específicas, exigindo medidas de controle adequadas (Furkuor et al., 2022).

Fuller & Zahnd (2012) também tiveram como objeto de estudo as tecnologias de estufas, estes contudo, se debruçaram sobre as estufas solares. Essa tecnologia foi projetada para armazenar parte do calor gerado dentro da estrutura, assim, reduzindo o uso de energia e otimizando o uso dos recursos naturais. Dito isto, o objetivo dos autores foi apresentar um estudo de caso sobre a implementação da tecnologia de estufa solar em Humla, Nepal, e discutir sua relevância para a segurança alimentar na região. O trabalho dos autores aborda os benefícios, desafios e lições aprendidas com a implementação da tecnologia de estufa solar, além de recomendações para contextos semelhantes.

Em seus resultados, os autores afirmam que o uso da tecnologia solar em estufas contribuiu significativamente para a segurança alimentar no Distrito de Humla, Nepal, fornecendo um ambiente controlado para o cultivo de alimentos. Segundo os mesmos, as estufas solares permitem o cultivo de plantas em condições climáticas adversas, como temperaturas extremas, ventos fortes e baixa umidade. Isso significa que os agricultores podem cultivar alimentos durante todo o ano, independente das condições externas. Além disso, as estufas solares capturam e utilizam energia solar para aquecer o ambiente interno, o que é especificamente benéfico em áreas frias como Humla. Isso permite que as plantas cresçam em temperaturas ideais, acelerando seu crescimento e aumentando a produtividade. Desta forma, a segurança alimentar da comunidade é fortalecida, reduzindo a dependência de importação de alimentos e garantindo o acesso a alimentos frescos e nutritivos (Fuller & Zahnd, 2012).

No que tange as limitações e potenciais desafios associados à implementação da tecnologia de estufa solar nesse o contexto, os autores mencionam que a qualidade das sementes e do solo são essenciais para o sucesso a longo prazo de uma estufa. Além disso, a fertilidade do solo deve ser monitorada e novos usuários devem ser educados sobre como manter boas condições do solo por meio da compostagem. O texto menciona que os fatores sociais também são importantes para o sucesso da tecnologia, sendo necessário envolver a comunidade local no processo de implementação e garantir que as estufas estejam adaptadas às necessidades e recursos locais. Fatores como os custos de implementação elevados, dependência de recursos externos e dependência da energia solar também são elencados pelos autores (Fuller & Zahnd, 2012).

Ali Lakhari et al. (2020) buscaram em seu estudo avaliar a eficiência do sistema aeropônico em relação à economia de água e espaço em comparação com outros sistemas sem solo, bem como fornecer informações sobre o desenvolvimento, manutenção e benefícios do sistema aeropônico para pesquisadores, agricultores e demais interessados. De acordo com o estudo apresentado, o sistema aeropônico é conhecido por reduzir o uso da água em comparação com outros sistemas sem solo através da circulação contínua da água. Isso significa que a água é reciclada e reutilizada no sistema, em vez de ser desperdiçada ou perdida. Além disso, segundo os autores, a aeroponia permite que as plantas recebam água e nutrientes diretamente nas raízes o que aumenta a eficiência do uso da água e reduz as perdas por evaporação ou escoamento.

Dito isso, os resultados dos autores mostraram que a implementação da agricultura aeropônica pode ser uma alternativa viável para aumentar a segurança alimentar, reduzindo a dependência de recursos naturais e produtos químicos. Também é necessário um conhecimento multidisciplinar para o desenvolvimento bem-sucedido de sistemas aeropônicos, incluindo aspectos de engenharia, biologia vegetal, bioquímica e tecnologia de controle. Os autores ainda destacam que os agricultores e pesquisadores interessados na agricultura aeropônica devem considerar a complexidade do design e manutenção do sistema, e também reconhecer os benefícios potenciais em termos de eficiência de recursos e produção de alimentos (Ali Lakhari et al., 2020).

Além dos custos iniciais citados nos trabalhos anteriores, os autores destacam outros potenciais riscos. A complexidade operacional é destacada pelos autores pois os sistemas

aeropônicos são mais complexos de operar e manter do que os métodos tradicionais de cultivo, exigindo conhecimento técnico especializado. Há também a grande dependência de energia, pois o sistema depende de eletricidade para operar sistemas de iluminação, ventilação e controle ambiental, o que pode aumentar os custos operacionais e a emissão de CO₂ (Ali Lakhier et al., 2020).

Gumisiriza et al. (2023) também abordaram a hidroponia, contudo se tratando de um sistema outdoor, ou seja, um sistema sem estufas. Posto isto, os autores objetivaram avaliar o desempenho de vegetais, especificamente alface, utilizando um sistema hidropônico sem estufas, em uma tecnologia de jardinagem urbana sem solo para aumentar a segurança alimentar pós COVID-19. O estudo focou na resposta fisionômica da alface à hidroponia em Uganda, analisando o crescimento e rendimento da alface sob esse sistema de cultivo em comparação a agricultura tradicional.

Os principais resultados dos autores apontaram que a produção de alface sob hidroponia consumiu menos água em comparação com a produção baseada em solo, indicando uma economia de água significativa. Segundo os autores a hidroponia mostrou potencial para aumentar a produção de alimentos de forma sustentável em ambientes urbanos, mesmo em sistemas não controlados, como as estufas. Os mesmos também apontam que não houve diferenças significativas na maioria dos parâmetros de crescimento e produção de alface cultivada em solo e em hidroponia, indicando que a hidroponia pode ser uma alternativa viável para o cultivo de vegetais em ambientes urbanos, contribuindo assim para a maior segurança alimentar (Gumisiriza et al., 2023).

Para enfrentar os possíveis desafios como custo elevado, dependência de tecnologia externa, necessidade de conhecimento especializado e possíveis impactos ambientais, os autores propõe algumas recomendações. Entre elas estão: a adoção de tecnologias como a hidroponia em áreas urbanas para aumentar a produção de alimentos; investimento em pesquisas adicionais para avaliar a viabilidade econômica e ambiental da tecnologia em diferentes contextos urbanos; desenvolvimento de políticas e programas de incentivo para apoiar a implementação de sistemas de cultivo inovadores em comunidades urbanas; capacitação dos agricultores urbanos com conhecimentos e habilidades necessárias para adotar práticas de cultivo sem solo de forma eficaz e sustentável e; incentivar a integração de tecnologias como a hidroponia em estratégias mais amplas de segurança alimentar e desenvolvimento sustentável em áreas urbanas (Gumisiriza et al., 2023).

David et al. (2022) exploraram em seu artigo a relação entre as tecnologias da Quarta Revolução Industrial (4RI) no nexus WEF (água, energia e alimentos), avaliando as aplicações das várias tecnologias e os efeitos no nexus WEF. O objetivo geral do trabalho foi avaliar como a integração dessas tecnologias ao WEF podem contribuir para a segurança alimentar e segurança sustentável dos recursos. Algumas das tecnologias da 4RI são a fusão de tecnologias inteligentes, computadores, sequenciamento de genes, nanotecnologia, energias renováveis, computação quântica e suas interações em domínios físicos, digitais e biológicos. Além disso, a Quarta Revolução Industrial envolve a fusão de tecnologias digitais e emergentes, como a Internet das Coisas, Internet de Serviços, sistemas de inteligência artificial, entre outros.

De acordo com os autores, a integração de tecnologias da quarta revolução industrial no nexus WEF pode ter várias implicações para a segurança alimentar. A aplicação de tecnologias no setor alimentar pode levar ao desenvolvimento de tecnologias limpas e otimizadores da produção. Além disso, a integração de tecnologias 4RI pode levar a uma melhor gestão de recursos, como a gestão de água e energia, que são essenciais para a produção de alimentos. Outro fator pode ser uma maior eficiência na produção de alimentos, reduzindo o desperdício e aumentando a produtividade. A integração das tecnologias da 4RI no setor alimentar também pode levar a uma melhor rastreabilidade dos alimentos, o que pode ajudar a garantir a segurança alimentar e prevenir surtos de doenças transmitidas por alimentos (David et al., 2022).

Tratando-se dos possíveis riscos associados a essas tecnologias, os autores apontam apenas que as mesmas podem levar a uma maior dependência de sistemas tecnológicos, o que pode aumentar a vulnerabilidade a falhas técnicas e ciberataques. Portanto, concluem que é importante avaliar cuidadosamente os riscos e benefícios associados à aplicação destas tecnologias no setor de alimentos (David et al., 2022).

Wei (2020) elaborou um trabalho para explorar o potencial da agroecologia, juntamente com a tecnologia da informação e comunicação (TIC) para melhorar a segurança alimentar e os meios de subsistência dos pequenos agricultores na África Subsaariana. O autor buscou destacar como a combinação da agroecologia e da TIC pode oferecer soluções adaptadas aos desafios enfrentados pelos agricultores na região, promovendo práticas agrícolas sustentáveis, acesso à mercados e resiliência às mudanças climáticas. O artigo discute várias tecnologias que podem auxiliar a segurança alimentar em conjunto com a agroecologia, tais como: Internet e redes sociais, telefones celulares, sistemas de informação geográfica, plataformas de comércio eletrônico e sistemas de alerta precoce.

O artigo destaca o potencial da agroecologia como um paradigma de desenvolvimento rural sustentável, particularmente promissor para pequenos agricultores na África Subsaariana. A agroecologia é vista como uma abordagem que pode contribuir para a segurança alimentar e o sustento dos pequenos agricultores, promovendo práticas agrícolas sustentáveis e a conservação dos recursos naturais (Wei, 2020).

De acordo com o autor, a tecnologia da informação e comunicação (TIC) pode desempenhar diversas funções cruciais no apoio à implementação da agroecologia em áreas rurais da África Subsaariana, contribuindo assim para a segurança alimentar. Estas incluem a disseminação de informações sobre práticas agroecológicas, como conservação do solo e diversificação de culturas, facilitando o acesso dos agricultores a mercados locais e regionais para melhorar seus preços e renda. Além disso, a TIC pode ser utilizada para monitorar e avaliar o impacto das práticas agroecológicas em termos de produtividade e sustentabilidade, bem como facilitar o acesso a crédito e financiamento para investimentos nessas práticas. Finalmente, a TIC promove a comunicação e colaboração entre agricultores, organizações de apoio e outros atores envolvidos na implementação da agroecologia, permitindo o compartilhamento de informações, experiências e recursos (Wei, 2020). Tais práticas se traduzem no fortalecimento da segurança alimentar local.

Os autores também destacaram uma série de riscos potenciais associados à adoção das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) na agricultura. Entre esses riscos estão a desigualdade de acesso, que pode exacerbar disparidades já existentes, a dependência tecnológica que pode tornar os agricultores vulneráveis a interrupções nos serviços de telecomunicações, a preocupação com a privacidade e segurança dos dados dos agricultores devido à coleta e compartilhamento de informações, além dos desafios relacionados aos custos e acessibilidade das TIC, especialmente em áreas rurais remotas. A síntese ressalta a importância de abordar esses riscos para garantir que a integração das TIC na agricultura seja inclusiva e sustentável, maximizando seus benefícios potenciais (Wei, 2020).

Sidibé et al. (2021) tiveram como objetivo em seu artigo avaliar iniciativas que utilizam tecnologias digitais no contexto agrícola do Mali para compreender como a digitalização pode contribuir para o desenvolvimento agrícola sustentável e para a segurança alimentar. As tecnologias estudadas e implementadas foram a utilização de smartphones, dados de observação da terra e expansão dos serviços de extensão agrícola. Os principais resultados dos autores apontam que tais tecnologias melhoram o acesso a informação e orientações, pois a expansão dos serviços de extensão agrícola, juntamente com o uso das tecnologias, permite que os agricultores tenham acesso a informações e orientações especializadas sobre práticas agrícolas sustentáveis, tecnologias inovadoras e gestão de cultivos, contribuindo para a melhoria das

técnicas de cultivo e da qualidade dos alimentos produzidos. Os principais riscos abordam a disparidades de acesso, dependência tecnológica, custos e infraestrutura

Joshi & Sharma (2021) tiveram como objetivo explorar os fatores críticos para adoção de tecnologias digitais para desenvolver uma cadeia de abastecimento agroalimentar sustentável durante a COVID-19, pois a adoção destas tecnologias pode trazer resiliência e minimizar as preocupações com segurança alimentar. Apesar de não especificar quais as tecnologias estudadas ou implementadas, o estudo identificou que a adoção de tecnologias digitais pode ajudar a melhorar a resiliência da cadeia de suprimentos agroalimentares em desenvolvimento durante a situação da COVID-19, através da redução de desperdício de alimentos, melhoria da rastreabilidade e transparência da cadeia de suprimentos.

Além disso, o artigo menciona que o fator crítico mais importante para a adoção das tecnologias é relacionado a treinamento e atualização para as partes interessadas relacionadas à inovação tecnológica das práticas agrícolas. Portanto é necessário educar os agricultores em áreas rurais e investir em treinamento com novas tecnologias. Para isso, os autores recomendam que os governos e outras partes interessadas trabalhem juntos para criar um ambiente favorável para adoção de tecnologias digitais na cadeia de suprimentos agroalimentar, incluindo a criação de políticas e regulamentações claras e a disponibilização de financiamentos e suporte técnico (Joshi & Sharma, 2021).

4.2. Biotecnologia

Jakhar et al. (2022) destacam que o uso excessivo de fertilizantes sintéticos gera custos econômicos e agrava a poluição ambiental. Eles exploram o potencial dos biofertilizantes, contendo microrganismos benéficos, e dos nanofertilizantes, compostos por nanopartículas, na agricultura sustentável. Enfatizam a biomassa de algas como uma fonte promissora de nutrientes e discutem como a nanotecnologia pode melhorar a eficiência dos nutrientes e reduzir a dependência de fertilizantes sintéticos. Os biofertilizantes utilizam microrganismos como bactérias, fungos ou algas para melhorar a qualidade do solo e o vigor das plantas, enquanto os nanofertilizantes são projetados para liberar nutrientes de forma controlada, facilitando a absorção pelas plantas e reduzindo a perda para o ambiente. Dessa forma, tiveram como objetivo discutir o uso da biomassa de algas como fonte de nutrientes para agricultura, bem como o potencial da nanotecnologia para melhorar a eficiência dos nutrientes e reduzir a dependência de fertilizantes sintéticos.

Os autores concluem que a biomassa de algas pode ser uma fonte de biofertilizante de baixo custo e que a nanotecnologia permite a criação de nanofertilizantes modernos e eficientes. Contudo, os autores apontam que o uso de biofertilizantes e nanofertilizantes pode ter implicações positivas e negativas para a segurança alimentar. Por um lado, o uso de biofertilizantes pode reduzir a dependência de fertilizantes sintéticos, que podem ser caros e prejudiciais ao meio ambiente. Por outro lado, o uso de nanofertilizantes pode ter implicações negativas para a segurança alimentar, se não forem bem avaliados quanto à segurança para a saúde humana e meio ambiente. As nanopartículas podem ter propriedades únicas que as tornam mais tóxicas do que as partículas maiores do mesmo material, e podem ser absorvidas pelas plantas e entrar na cadeia alimentar. Portanto, é importante avaliar cuidadosamente a segurança dos nanofertilizantes antes da sua utilização em larga escala na agricultura.

À medida que Novas Tecnologias de Melhoramento de Plantas (NTPM) oferecem grandes potenciais para o desenvolvimento agrícola e sustentável e segurança alimentar, Qaim (2020) focou o seu trabalho em revisar o potencial, os riscos e os impactos observados nas Novas Tecnologias de Melhoramento de Plantas, incluindo plantas geneticamente modificadas. As NTPM são um conjunto de técnicas que permitem a modificação genética e edição do genoma das plantas, com o objetivo de melhorar suas características, como resistência a

doenças, tolerância a estresses ambientais e aumento da produtividade. Segundo o autor, essa tecnologia pode auxiliar na segurança alimentar de tais formas: 1) Aumento da produtividade; 2) Redução do uso de pesticidas e herbicidas; 3) Melhoria da qualidade nutricional dos alimentos; 4) maior resistência às condições climáticas adversas e; 5) maior resistência a doenças e pragas.

Qaim (2020) pontua que os aspectos regulatórios têm um grande impacto no desenvolvimento e uso das novas tecnologias de melhoramento de plantas, os desafios associados a regulamentação incluem: 1) Aumento dos custos: a regulamentação excessiva põe aumentar os custos de desenvolvimento e comercialização das novas tecnologias; 2) Atraso no lançamento de novas tecnologias: a regulamentação excessiva pode levar a atrasos no lançamento de novas tecnologias, o que pode impedir que os agricultores se beneficiem dessas inovações; 3) Falta de acesso às tecnologias: a regulamentação excessiva pode impedir que os agricultores tenham acesso as Novas Tecnologias de Melhoramento de Plantas, especialmente nos países em desenvolvimento e; 4) Perda de competitividade: a regulamentação pode tornar as empresas menos competitivas em relação aos seus concorrentes internacionais.

O estudo do autor ainda indica que existem algumas percepções equivocadas do público em relação às Novas Tecnologias de Melhoramento de Plantas, incluindo: 1) Crença de que todas as NTMP's são geneticamente modificadas: muitas pessoas acreditam que todas as NTMP's envolvem modificação genética, o que não constitui a realidade. Algumas NTMP's apenas envolvem a edição de genes e não a introdução de genes exógenos; 2) Preocupações com a segurança alimentar: grande parte das pessoas tem preocupações relacionadas ao tema, mesmo que, segundo o autor, não haja evidência científicas para apoiar essas preocupações; 3) preocupações ambientais: existe a preocupação com os possíveis impactos ambientais que as plantas geneticamente modificadas se espalhem pelo meio ambiente. Segundo o autor esses são alguns dos desafios que envolvem a maior disseminação desta tecnologia (Qaim, 2020).

Pavleska & Kerr (2020) elaboraram um trabalho para destacar a importância da regulamentação nas decisões de investimento relacionadas a tecnologias baseadas em genética e seu impacto na segurança alimentar a longo prazo. Os autores argumentam que as novas tecnologias de melhoramento de plantas baseadas em genômica têm potencial de contribuir significativamente para a segurança alimentar, por exemplo: 1) Melhoria da qualidade e equilíbrio nutricional dos alimentos existentes; 2) Introdução de novas variedades de culturas em novos ambientes; 3) Aumento da resistência a doenças e pragas e; 4) Melhoria na eficiência no uso dos recursos.

Contudo, o resultado dos autores mostra que a incerteza regulatória em torno do processo de aprovação dos Organismos Geneticamente Modificados (OGMs) na União Europeia pode influenciar as decisões de investimento, tornando o valor da oportunidade mais significativo e adiando os investimentos no desenvolvimento de novas tecnologias até que o ambiente regulatório melhore. O artigo ressalta a necessidade de compreender as implicações das políticas regulatórias da União Europeia sobre os OGMs e investimentos em biotecnologia, considerando os desafios globais de segurança alimentar. Em suma, o artigo enfatiza a necessidade de uma abordagem equilibrada e informada na regulação de tecnologias genéticas, considerando os impactos econômicos, sociais e ambientais, além de destacar a importância da compreensão da relação entre regulação, investimento em biotecnologia e segurança alimentar global (Pavleska & Kerr, 2020).

Os autores Magrini & Viani (2016) tiveram como objetivo fornecer uma análise abrangente da segurança alimentar em relação a duas tecnologias de milho na Tanzânia: sementes melhoradas e fertilizantes inorgânicos. O estudo buscou analisar não apenas a disponibilidade e o acesso aos alimentos, mas também a utilização e a estabilidade dos mesmos, contemplando assim os 4 pilares da segurança alimentar (FAO, 2021).

Segundo o estudo dos autores, as principais implicações das tecnologias de sementes melhoradas e fertilizantes inorgânicos para a segurança alimentar são as seguintes: 1) Disponibilidade de alimentos: ambas as tecnologias tiveram um impacto positivo na disponibilidade de alimentos, aumentando a produtividade do milho e, consequentemente, permitindo uma maior produção disponível para o consumo doméstico local; 2) Acesso aos alimentos: as tecnologias tiveram um efeito positivo no gasto com alimentos, o que indica um aumento na capacidade dos agricultores de adquirir alimentos. No entanto, o impacto na ingestão calórica foi significativo apenas para os fertilizantes inorgânicos, sugerindo que a adoção dessas tecnologias pode lavar a uma substituição de alimentos de baixo custo por itens de alto custo por caloria; 3) Utilização dos alimentos: A disponibilidade de renda adicional devido à adoção das tecnologias permitiu que os agricultores consumissem uma variedade maior de alimentos, o que indica uma melhoria na diversificação da dieta e na utilização dos alimentos; 4) Estabilidade dos alimentos: o estudo não fornece informações específicas sobre a estabilidade dos alimentos em relação às tecnologias estudadas. (Magrini & Viani, 2016)

Para os autores esses resultados têm implicações importantes para os formuladores de políticas e partes interessadas que buscam melhorar a segurança alimentar na Tanzânia e em outros contextos semelhantes. O estudo, segundo os autores, destaca a importância de tecnologias, como sementes melhoradas e fertilizantes inorgânicos, na melhoria da disponibilidade de alimentos. Isso sugere que investimentos em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias podem ser estratégias eficazes para aumentar a produção de alimentos e melhorar a segurança alimentar. Os autores, no entanto, não apontam possíveis riscos relacionados a essas tecnologias (Magrini & Viani, 2016).

Kabunga et al. (2014) realizaram um estudo com o objetivo de analisar o impacto da adoção da tecnologia de cultura de tecidos de banana na renda e segurança alimentar das famílias do Quênia. O estudo buscou avaliar se a adoção dessa tecnologia resultou em um aumento na renda agrícola e familiar, bem como na disponibilidade de alimentos nas famílias de adotaram a tecnologia. Os autores ainda nos elucidam que a tecnologia de cultura de tecidos da banana envolve a manipulação de células, tecidos ou órgãos de plantas em laboratórios para produzir mudas geneticamente uniformes e livre de doenças. Isso pode ser feito por meio de técnicas como a micropropagação, onde os pequenos segmentos de tecido vegetal são cultivados em um meio de cultura para produzir múltiplas mudas (Kabunga et al., 2014).

Os resultados dos autores mostraram que a adoção dessa tecnologia teve um impacto positivo na segurança alimentar das famílias. A tecnologia de cultura de tecidos de banana aumentou a disponibilidade de alimentos nas famílias que a adotaram, o que contribuiu para a redução da insegurança alimentar. Além disso, a adoção da tecnologia também resultou em um aumento na renda agrícola familiar, o que pode melhorar o acesso aos alimentos. Portanto a tecnologia de cultura de tecidos de banana pode desempenhar um papel importante na melhoria da segurança alimentar das famílias agrícolas do Quênia. O único apontamento dos autores em relação a possíveis riscos, diz respeito a dependência de recursos externos, em vista que a tecnologia de cultura de tecidos pode exigir insumos externos e produtos químicos, o que pode aumentar os custos de produção e tornar os agricultores dependentes de fornecedores externos (Kabunga et al., 2014).

O autor Sinyolo (2020) avaliou o impacto da adoção de variedades melhoradas de milho na segurança alimentar entre os pequenos agricultores em KwaZulu-Natal, África do Sul e mostrar o papel da adoção de tecnologia na promoção da segurança alimentar em áreas rurais. Os resultados do autor indicaram que a adoção de variedades melhoradas geneticamente teve um impacto positivo significativo na segurança alimentar dessas famílias. A adoção de variedades geneticamente modificadas aumentou a produção de milho, o que levou a um aumento na quantidade de alimentos disponíveis para o consumo doméstico e, portanto, melhorou a segurança alimentar das famílias.

O estudo também descobriu que a adoção de variedades de milho melhoradas foi influenciada por fatores como acesso a crédito, acesso a informações sobre tecnologias agrícolas e participação em organizações de agricultores. As recomendações do estudo incluem a necessidade de políticas que promovam o acesso a crédito e informações sobre tecnologias agrícolas, bem como a necessidade de fortalecimento do cooperativismo para melhorar a adoção de tecnologias agrícolas. Não foram apontados quaisquer riscos pelos autores (Syniolo et al., 2020).

Tendo como base a implementação de técnicas biotecnológicas, como culturas híbridas e geneticamente modificadas, bem como outras tecnologias inovadoras que visam aumentar a produtividade agrícola e a segurança alimentar, Adenle & Azadi (2019) realizaram um estudo com o objetivo de examinar se e como essas tecnologias avançadas podem fazer parte do desenvolvimento agrícola sustentável da África. Os autores abordam a capacidade dessas tecnologias de atender às necessidades econômicas dos pequenos agricultores na região e contribuir para a intensificação agrícola e segurança alimentar.

Os resultados dos autores indicam que a adoção de tecnologias avançadas na agricultura da África pode ter implicações significativas para a segurança alimentar da região. Contudo, embora essas tecnologias possam aumentar a produtividade agrícola e, portanto, a disponibilidade de alimentos, a adoção de culturas híbridas e geneticamente modificadas pode levar a uma maior dependência de insumos externos, como fertilizantes, pesticidas e sementes, o que pode ser caro e inacessível para pequenos agricultores. Além disso, segundo os autores, a adoção de tecnologias avançadas pode levar a uma maior concentração de poder nas mãos de grandes empresas de biotecnologia, o que pode prejudicar os interesses dos pequenos agricultores (Adenle & Azadi, 2019).

Nesse sentido, os autores sugerem a consideração de abordagens agroecológicas, como a agricultura orgânica, pois podem ter implicações positivas para a segurança alimentar, promovendo práticas agrícolas sustentáveis e a preservação dos recursos naturais. Essas abordagens podem ajudar a aumentar a produtividade agrícola de forma sustentável, ao mesmo tempo em que promovem a equidade e justiça social. No entanto, os autores salientam que a adoção dessas abordagens pode ser limitada por fatores como a falta de acesso a recursos e tecnologias adequadas, bem como a falta de apoio político e financeiro (Adenle & Azadi, 2019).

Anders et al. (2020) buscaram investigar a incorporação de tecnologias de grãos e leguminosas co-desenvolvidas por pesquisadores e agricultores nas fazendas de pequenos agricultores em Malawi, após quatro anos de experimentação em campo. O foco principal dos autores centrou-se na compreensão das razões por trás dos baixos níveis de integração e adoção dessas tecnologias pelos agricultores, especialmente considerando a importância da segurança alimentar na região. Além disso, o estudo buscou identificar as barreiras e deságios enfrentados pelos agricultores ao tentar adotar e adaptar as tecnologias de grãos e leguminosas em seus sistemas agrícolas, visando contribuir para a promoção da agricultura sustentável e segurança alimentar no Malawi.

De acordo com Anders et al. (2020) as principais implicações das tecnologias de grãos e leguminosas para a segurança alimentar no Malawi incluem: 1) Diversificação da produção: A integração de tecnologias de grãos e leguminosas pode contribuir para a diversificação da produção agrícola, aumentando a variedade de alimentos disponíveis para os agricultores e suas famílias. Isso pode ajudar a melhorar a qualidade da dieta, fornecendo uma fonte adicional de nutrientes; 2) Melhoria da nutrição: as leguminosas são uma fonte rica de proteínas, fibras e outros nutrientes essenciais. Ao integrar essas culturas nos sistemas agrícolas, os agricultores podem melhorar a qualidade nutricional de suas dietas e reduzir a dependência de alimentos básicos, como o milho; 3) Resiliência a choques e estresses: A diversificação da produção agrícola por meio da integração de tecnologias de grãos e leguminosas pode aumentar a resiliência dos agricultores a choques e estresses, como secas ou pragas; 4) Aumento da renda:

Além de melhorar a segurança alimentar, a integração de tecnologias de grãos e leguminosas também pode gerar oportunidades de renda adicional para os agricultores.

Ainda de acordo com os resultados dos autores, as principais barreiras que os pequenos agricultores enfrentam ao tentar incorporar tecnologia de grãos e leguminosas em suas práticas agrícolas são: 1) Preferência pelas práticas tradicionais: os agricultores muitas vezes preferem seus sistemas tradicionais de cultivo de milho em vez de adotar novas tecnologias de grãos e leguminosas, devido à percepção de que seus sistemas tradicionais atendem melhor às suas necessidades de segurança alimentar e produtividade; 2) Demanda de trabalho intensiva: a integração de tecnologias de grãos e leguminosas pode exigir mais trabalho manual em determinadas etapas do cultivo, o que pode ser percebido como um desafio pelos agricultores; e 3) Restrições de tempo e percepções de risco: os agricultores podem considerar as demandas de trabalho intensivas e os potenciais riscos associados à adoção de novas tecnologias como obstáculos significativos, priorizando a segurança alimentar imediata sobre os benefícios potenciais a longo prazo das tecnologias de grãos e leguminosas (Nie et al., 2020).

Nie et al. (2020) elaboraram um estudo para examinar os efeitos das políticas de ciência e tecnologia de grãos da China na segurança alimentar. As descobertas sobre os efeitos das políticas de ciência e tecnologia de grãos na China incluem: 1) Desenvolvimento abrangente da Segurança alimentar: O estudo revelou que a segurança alimentar na China está em um estágio de desenvolvimento abrangente, indicando que as políticas de ciência e tecnologia de grãos desempenham um papel significativo nesse processo; 2) Impacto significativo: A frequência de lançamento de novas sementes e o efeito cumulativo das políticas de ciência e tecnologia de grãos foram identificados como tendo um impacto significativo na segurança alimentar do país; 3) Promoção da segurança alimentar: as políticas de ciência e tecnologia de grãos foram destacadas como um fator crucial para o garantir a segurança alimentar na China, demonstrando que essas políticas desempenham um papel fundamental na sustentabilidade e eficiência do setor de alimentos; e 4) Garantia efetiva da segurança alimentar: O estudo concluiu que as políticas robustas de ciência e tecnologia de grãos têm a capacidade de garantir efetivamente a segurança alimentar na China, destacando a importância contínua dessas políticas para o bem-estar alimentar da população.

Considerando o contexto da produção de mandioca na Nigéria, Obisesan (2015) realizou um estudo para examinar a participação em atividades fora da fazenda, a adoção de tecnologia e o impacto no status de segurança alimentar das famílias agrícolas do país. Além disso, o estudo buscou analisar como a participação em atividades fora da fazenda influencia a adoção de tecnologia agrícola e como essa adoção de tecnologia afeta a segurança alimentar das famílias rurais, com foco específico na produção de mandioca. As tecnologias implementadas e analisadas foram variedades geneticamente melhoradas de mandioca, técnicas de manejo, aplicação de fertilizantes e herbicidas.

De acordo com o autor, os benefícios associados à implementação dessas tecnologias agrícolas na Nigéria incluem o aumento da segurança alimentar, pois a adoção de tecnologias agrícolas, como melhorias na produção de mandioca, resultou em uma redução na incidência de insegurança alimentar entre os agricultores participantes, contribuindo para uma maior segurança alimentar. Além disso, houve melhoria na produtividade, a tecnologia de produção de mandioca melhorada teve um impacto positivo na segurança alimentar das famílias agrícolas, aumentando a produtividade e disponibilidade de alimentos. Já os potenciais riscos associados à adoção dessas tecnologias não foram mencionados (Obisesan, 2015).

Já em relação aos resultados em relação entre as atividades fora da fazenda, adoção de tecnologia e segurança alimentar, os autores concluem: 1) A participação em atividades fora da fazenda teve uma influência positiva e significativa no nível de adoção de tecnologia, com melhorias na produção de mandioca; 2) A adoção de tecnologias agrícolas teve um impacto positivo na incidência de insegurança alimentar, com uma redução significativa entre os

agricultores que adotaram as tecnologias estudadas; e 3) Sugere-se que a participação em atividades fora da fazenda e a adoção de tecnologia tem potencial de melhorar a segurança alimentar (Obisesan, 2015).

Os autores Osabohien et al. (2018) buscaram analisar em seu artigo o nível de tecnologia e como o investimento em agricultura e tecnologia pode melhorar o conhecimento técnico na Nigéria, com o objetivo de alcançar a segurança alimentar. Entre as tecnologias estudadas estão a produção de plantas e animais por meio de melhoramento genético, introdução de novas culturas, mecanização e desenvolvimento de infraestrutura. Dessa forma, segundo os autores, as principais implicações dessas tecnologias para a segurança alimentar são o aumento da produção de alimentos e a redução do desperdício. Com a produção de plantas e animais melhorados geneticamente, introdução de novas culturas e mecanização é possível aumentar a quantidade de alimentos produzidos. Além disso, o desenvolvimento de infraestrutura e o uso de insumos agrícolas adequados também contribuem para melhorar a produtividade agrícola. Essas medidas ajudam a garantir que haja alimentos suficientes disponíveis para atender às necessidades da população, especialmente em um contexto de aumento populacional.

O estudo ainda menciona que o investimento em tecnologia contribui para melhorar o conhecimento técnico no setor agrícola da Nigéria, pois aumenta a capacidade produtiva do setor. Isso é importante para melhorar a segurança alimentar, pois a produção agrícola é um dos principais fatores que influenciam a disponibilidade de alimentos. Além disso, o investimento em tecnologia pode ajudar a reduzir o desperdício de alimentos e tornar as operações agrícolas menos trabalhosas para os agricultores (Osabohien et al., 2018).

Willow et al. (2022) objetivaram em seu estudo promover a integração da tecnologia de RNA interferente (RNAi) com práticas de controle biológico de conservação para abordar desafios globais relacionados à agricultura, segurança alimentar e conservação da biodiversidade. O artigo destaca a importância de explorar a especificidade e eficácia do RNAi no controle de pragas, bem como seu potencial para reduzir o uso de pesticidas químicos e minimizar os impactos ambientais. Os autores ainda nos elucidam que tal tecnologia envolve a utilização de moléculas de RNA dupla fita para silenciar genes específicos em organismos-alvo, como pragas e plantas. Essa abordagem pode ser usada para controlar pragas de forma específica e eficaz, reduzindo assim a necessidade de pesticidas químicos.

Dessa forma, os autores afirmam que a combinação da tecnologia RNA interferente (RNAi) como prática de controle biológico de conservação pode ter várias implicações positivas para a segurança alimentar, tais como: 1) Redução do uso de pesticidas químicos: a utilização de RNAi para controlar pragas de forma específica e eficaz pode reduzir a dependência de pesticidas químicos prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente; 2) Aumento da produtividade agrícola: o controle eficaz de pragas por meio de RNAi e práticas de controle biológico pode resultar em maiores rendimentos das colheitas, protegendo-as contra danos causados por pragas; 3) Redução das perdas de culturas: ao controlar as populações de pragas de forma mais eficaz, as tecnologias RNAi e de controle biológico podem ajudar a reduzir as perdas de culturas, contribuindo para a segurança alimentar global; 4) Conservação da biodiversidade: a promoção de populações saudáveis de agentes de controle biológico naturais por meio de práticas de conservação pode contribuir para a preservação da biodiversidade agrícola e dos ecossistemas em geral; e 5) Menor impacto ambiental: a redução do uso de pesticidas químicos em favor de abordagens mais sustentáveis, como o RNAi e o controle biológico, pode resultar em menor contaminação ambiental e preservação dos recursos naturais (Willow et al., 2022).

5. Considerações Finais

A tecnologia desempenha, sem dúvida, um papel crucial na melhoria da segurança alimentar global, oferecendo soluções que possibilitam aumentar a produtividade agrícola, reduzir o

desperdício de alimentos e garantir o acesso a alimentos de qualidade. Esses avanços representam um passo significativo em direção a uma alimentação mais sustentável e equitativa para toda a população.

Contudo, é fundamental reconhecer e abordar os potenciais riscos associados aos avanços tecnológicos na produção de alimentos. Questões como a dependência de energia, a complexidade operacional e a disparidade no acesso a essas tecnologias podem criar desafios significativos, especialmente em comunidades rurais ou em países em desenvolvimento. Portanto, medidas devem ser implementadas para mitigar esses riscos e garantir que os benefícios da tecnologia sejam acessíveis a todos.

A recente pandemia da COVID-19 destacou ainda mais a importância da adoção de tecnologias digitais na cadeia de abastecimento agroalimentar. Essas tecnologias têm o potencial não apenas de aumentar a eficiência e a resiliência do sistema alimentar, mas também de minimizar os impactos das crises, garantindo o fornecimento contínuo de alimentos essenciais mesmo em tempos de dificuldade.

A revisão sistemática realizada neste estudo ressalta a importância de avaliar tanto os benefícios quanto os riscos das tecnologias na busca pela segurança alimentar. Essa análise crítica fornece insights valiosos para orientar futuras pesquisas e políticas no setor agrícola, promovendo abordagens mais informadas e eficazes para enfrentar os desafios alimentares globais. As principais limitações desse estudo estão relacionadas aos termos utilizados para as buscas nas bases de artigos, bem como o foco nas tecnologias da informação e biotecnologia.

Por fim, a implementação de técnicas biotecnológicas, a tecnologia da informação e outras inovações na agricultura emerge como uma oportunidade promissora para impulsionar o desenvolvimento agrícola sustentável. Ao promover a produtividade, a resiliência e a segurança alimentar em diferentes contextos, essas tecnologias têm o potencial de transformar positivamente a maneira como produzimos e consumimos alimentos, contribuindo para um futuro mais seguro e sustentável para todos.

Referências

Adenle, A. A., Wedig, K., & Azadi, H. (2019). Sustainable agriculture and food security in Africa: The role of innovative technologies and international organizations. Em *Technology in Society* (Vol. 58, p. 101143). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2019.05.007>

Ali Lakhiar, mran, Gao, J., Naz Syed, T., Ali Chandio, F., Hussain Tunio, M., Ahmad, F., & Ali Solangi, K. (2020). Overview of the aeroponic agriculture – An emerging technology for global food security. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering (IJABE)*. (Vol. 13, Issue 1, p. 1–10). <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201301.5156>

Anders, E. J., Zulu, L. C., & Jambo, E. R. (2020). Limits to grain-legume technology integration by smallholder farmers: The case of time-sensitive labor demands and food security primacy in Malawi. Em *Agricultural Systems* (Vol. 184, p. 102879). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102879>

Brown, M. E. (2016). Remote sensing technology and land use analysis in food security assessment. Em *Journal of Land Use Science* (Vol. 11, Issue 6, p. 623–641). Informa UK Limited. <https://doi.org/10.1080/1747423x.2016.1195455>

Borlaug, N. E. (2000). Ending World Hunger. The Promise of Biotechnology and the Threat of Antiscience Zealotry. In *Plant Physiology* (Vol. 124, Issue 2, pp. 487–490). Oxford University Press (OUP). <https://doi.org/10.1104/pp.124.2.487>

Enenkel, M., See, L., Bonifacio, R., Boken, V., Chaney, N., Vinck, P., You, L., Dutra, E., & Anderson, M. (2015). Drought and food security – Improving decision-support via new technologies and innovative collaboration. Em *Global Food Security* (Vol. 4, pp. 51–55). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.08.005>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). The state of food security and nutrition in the world 2021. Rome: FAO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2018). O Estado da Segurança Alimentar e Nutricional no Mundo 2018: Construindo resiliência climática para a segurança alimentar e nutricional. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

Forkuor, G., Amponsah, W., Oteng-Darko, P., & Osei, G. (2022). Safeguarding food security through large-scale adoption of agricultural production technologies: The case of greenhouse farming in Ghana. Em *Cleaner Engineering and Technology* (Vol. 6, p. 100384). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100384>

Fuller, R., & Zahnd, A. (2012). Solar Greenhouse Technology for Food Security: A Case Study From Humla District, NW Nepal. Em *Mountain Research and Development* (Vol. 32, Issue 4, p. 411–419). International Mountain Society (IMS) and United Nations University. <https://doi.org/10.1659/mrd-journal-d-12-00057.1>

Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision Agriculture and Food Security. In *Science* (Vol. 327, Issue 5967, pp. 828–831). American Association for the Advancement of Science (AAAS). <https://doi.org/10.1126/science.1183899>

Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818.

Gogoi, R., Kalia, R. K., & Singh, N. K. (2020). Precision agriculture: A perspective on its scope and application in crop management. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 90(7), 1-15

Gumisiriza, M. S., Ndakidemi, P. A., Nampijja, Z., & Mbega, E. R. (2023). Soilless urban gardening as a post covid-19 food security salvage technology: A study on the physiognomic response of lettuce to hydroponics in Uganda. Em *Scientific African* (Vol. 20, p. e01643). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01643>

Haub, C., Kleinewillinghöfer, L., Brockmann, J., Komp, K.-U., & Gilliams, S. (2013). Monitoring Services for Food Security – Successful Transfer of Technology to the Sudanese Government. Em *Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation* (Vol. 2013, Issue 5, p. 459–472). Schweizerbart. <https://doi.org/10.1127/1432-8364/2013/0192>

Hawkes, C., Ruel, M. T., Salm, L., Sinclair, B., & Branca, F. (2020). Double-duty actions for ending malnutrition within a decade. *The Lancet Global Health*, 8(1), e48-e50. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(19\)30402-1](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(19)30402-1)

Higgins, J. P., & Green, S. (Eds.). (2011). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*. John Wiley & Sons.

Jakhar, A. M., Aziz, I., Kaleri, A. R., Hasnain, M., Haider, G., Ma, J., & Abideen, Z. (2022). Nano-fertilizers: A sustainable technology for improving crop nutrition and food security. In *NanoImpact* (Vol. 27, p. 100411). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2022.100411>

Joshi, S., & Sharma, M. (2021). Digital technologies (DT) adoption in agri-food supply chains amidst COVID-19: an approach towards food security concerns in developing countries. Em *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing* (Vol. 15, Issue 2, p. 262–282). Emerald. <https://doi.org/10.1108/jgoss-02-2021-0014>

Kabunga, N. S., Dubois, T., & Qaim, M. (2014). Impact of tissue culture banana technology on farm household income and food security in Kenya. Em *Food Policy* (Vol. 45, p. 25–34). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.12.009>

Magrini, E., & Vigani, M. (2016). Technology adoption and the multiple dimensions of food security: the case of maize in Tanzania. Em *Food Security* (Vol. 8, Issue 4, p. 707–726). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s12571-016-0593-7>

Nie, C., Cui, M., & Li, X. (2020). Grain Science and Technology Policies and Food Security in China: An Empirical Study Based on a Provincial Dynamic Panel Model. Em *Journal of Systems Science and Information* (Vol. 8, Issue 6, p. 504–523). *Journal of Systems Science and Information* (JSSI). <https://doi.org/10.21078/jssi-2020-504-20>

Obisesan, A. A. (2015). Causal Effect of Off-Farm Activity and Technology Adoption on Food Security in Nigeria. Unknown. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.231852>

Osabohien, R., Osabuohien, E., & Urhie, E. (2018). Food Security, Institutional Framework and Technology: Examining the Nexus in Nigeria Using ARDL Approach. Em *Current Nutrition & Food Science* (Vol. 14, Issue 2, p. 154–163). Bentham Science Publishers Ltd. <https://doi.org/10.2174/1573401313666170525133853>

Pandey, P., & Anderson, K. (2017). Technology, productivity and sustainability in food production: A review. *Sustainable Production and Consumption*, 11, 26-38. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2017.03.005>

Pavleska, M., & Kerr, W. A. (2020). Linking investment decisions and future food security to the regulation of genetic-based technologies. Em *Technological Forecasting and Social Change* (Vol. 153, p. 119926). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119926>

Qaim, M. (2020). Role of New Plant Breeding Technologies for Food Security and Sustainable Agricultural Development. Em *Applied Economic Perspectives and Policy* (Vol. 42, Issue 2, pp. 129–150). Wiley. <https://doi.org/10.1002/aep.13044>

Sidibé, A., Olabisi, L. S., Doumbia, H., Touré, K., & Niamba, C. A. (2021). Barriers and enablers of the use of digital technologies for sustainable agricultural development and food security. In *Elementa: Science of the Anthropocene* (Vol. 9, Issue 1). University of California Press. <https://doi.org/10.1525/elementa.2020.00106>

Sen, A. (1985). *Commodities e capacidades*. Norte-Holanda.

Sen, A. (1999). *Desenvolvimento como liberdade*. Imprensa da Universidade de Oxford.

Sinyolo, S. (2020). Technology adoption and household food security among rural households in South Africa: The role of improved maize varieties. Em *Technology in Society* (Vol. 60, p. 101214). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2019.101214>

Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. Em *British Journal of Management* (Vol. 14, Issue 3, p. 207–222). Wiley. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20260-20264.

Wei, C. (2020). Agroecology, Information and Communications Technology, and Smallholders' Food Security in Sub-Saharan Africa. Em *Journal of Asian and African Studies* (Vol. 55, Issue 8, p. 1194–1208). SAGE Publications. <https://doi.org/10.1177/0021909620912784>

Willow, J., Cook, S. M., Veromann, E., & Smagghe, G. (2022). Uniting RNAi Technology and Conservation Biocontrol to Promote Global Food Security and Agrobiodiversity. Em *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* (Vol. 10). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.871651>

World Bank. (2021). Food security and agriculture. Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/brief/food-security-and-agriculture>