

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Franco da Silveira

**GERENCIAMENTO DAS BARREIRAS NO  
DESENVOLVIMENTO DA AGRICULTURA 4.0 NA  
CADEIA DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA DA  
REGIÃO SUL DO BRASIL**

Porto Alegre

2023

Franco da Silveira

**Gerenciamento das Barreiras no Desenvolvimento da Agricultura 4.0 na  
Cadeia de Produção Agrícola da Região Sul do Brasil**

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito final à obtenção do título de Doutor em Engenharia, na modalidade acadêmica, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientador: Fernando Gonçalves Amaral, Dr.

Porto Alegre

2023

Franco da Silveira

**Gerenciamento das Barreiras no Desenvolvimento da Agricultura 4.0 na  
Cadeia de Produção Agrícola da Região Sul do Brasil**

Esta tese de doutorado foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

**Prof. Fernando Gonçalves Amaral, Dr.**  
Orientador PPGEP/UFRGS

---

**Prof. Alejandro Germán Frank, Dr.**  
Coordenador PPGEP/UFRGS

**Banca Examinadora:**

Professor Alejandro Germán Frank, Dr. (PPGEP/UFRGS)

Pesquisador Jayme Garcia Arnal Barbedo, Dr. (EMBRAPA)

Professor Júlio Otávio Jardim Barcellos, Dr. (NESPro/UFRGS)

Professora Sabrina Letícia Couto da Silva, Dra. (IFRS)

*Dedico esta tese a Deus e aos meus pais. A Deus porque tem estado comigo em cada passo que dou, cuidando de mim e dando-me forças para continuar, aos meus pais Abrilino Francisco da Silveira (in memoriam) e Anamir Fátima de Bairros da Silveira, que ao longo da minha vida zelaram pelo meu bem-estar e educação, sendo meu apoio em todos os momentos – sejam eles de alegrias, tristezas, perdas e aprendizagem.*

*“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”*

*Josué 1:9*

## AGRADECIMENTOS

Mais uma vez, tenho a feliz oportunidade de agradecer formalmente à todos aqueles que de alguma forma me ajudaram a concluir mais uma etapa da minha vida profissional, e me sinto grato por esta chance.

Inicialmente agradeço à Deus pelo dom da vida, pelo seu amor infinito e por me amparar nos meus momentos mais difíceis, aumentando a cada dia minha fé e confiança. Obrigado por me permitir errar, aprender e crescer, por sua eterna compreensão e tolerância, por sua voz “invisível” que não me permitiu desistir desta e de tantas outras jornadas e, principalmente, por ter me dado uma família única e tão especial.

Ao meu pai Abrilino Franciso da Silveira (*in memoriam*) e à minha mãe Anamir Fátima de Bairros da Silveira deixo um agradecimento especial, por todas as orações e lições de amor, carinho, e dedicação ao longo destes anos de estudos – sem vocês este trabalho e muitos dos meus sonhos não se tornariam realidade. Obrigado por me compreender e me apoiar nessa importante decisão de deixá-los um pouco longe fisicamente, mas não no coração. Sei que foram tempos difíceis, principalmente durante às questões de saúde de vocês, mas isso só mostrou o quão grande é o nosso amor.

À minha querida irmã Fernanda da Silveira, que sempre esteve pronta para me apoiar em tudo nesta vida. Sou grato por caminhar comigo, compartilhando alegrias, desafios e conquistas. Obrigado por ser minha grande amiga, você foi e é fundamental para a realização deste e de tantos outros sonhos que eu tive e ainda tenho.

À minha namorada Rafaela Maria de Oliveira Gasparetto, por todo amor, carinho, compreensão e apoio em tantos momentos difíceis desta caminhada. Obrigado por permanecer ao meu lado, mesmo sem os carinhos rotineiros, sem a devida atenção e depois de tantos momentos de lazer perdidos. Sou muito feliz por ter você em minha vida.

Ao meu orientador Professor Fernando Gonçalves Amaral, pela confiança e paciência e por me ajudar prontamente sempre que o procurei. Suas críticas construtivas, discussões e reflexões foram muito importantes para o meu sucesso no desenvolvimento deste trabalho. Tenho certeza que não teria chegado até aqui sem o seu apoio. Obrigado também pelas conversas reconfortantes nos momentos difíceis que passei, sua amizade foi fundamental durante todo este processo.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pela estrutura oferecida e por oportunizar o desenvolvimento deste estudo. Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da UFRGS, pelos ensinamentos e por contribuírem para a conquista deste título e no meu crescimento profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo e suporte para condução desta pesquisa.

À todos os meus colegas do Laboratório de Otimização de Produtos e Processos (LOPP), em especial aos do Núcleo de Ergonomia e Capacitação em Segurança e Saúde Ocupacional (NECSSO), pelas trocas de conhecimento, companheirismo e apoio ao longo do período de doutorado.

Aos membros da banca examinadora: Alejandro Germán Frank, Júlio Otávio Jardim Barcellos, Sabrina Letícia Couto da Silva, e Jayme Garcia Arnal Barbedo. Obrigado por terem aceitado o convite para participar da minha defesa e, principalmente, pelas sugestões para enriquecer meu trabalho.

Aos agricultores da cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil que se disponibilizaram a participar desta pesquisa. Deixo também meu agradecimento ao amigo Salatiel Turra, o qual me ajudou na coleta de dados com os agricultores do Estado do Paraná.

Agradeço também ao meu amigo e professor Filipe Molinar Machado, um eterno incentivador e um dos responsáveis pelo meu ingresso na vida acadêmica. Obrigado pelas leituras, revisões, questionamentos e discussões sempre tão produtivas ao longo deste período.

Por fim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta tese de doutorado, meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

A agricultura 4.0 atualiza os métodos tradicionais de produção e as estratégias agrícolas mundiais para uma cadeia de valor otimizada usando uma variedade de tecnologias emergentes que aprimoram soluções disruptivas em todas as etapas da cadeia de produção agrícola. Devido à complexidade do ecossistema agrícola em mudança, os benefícios da nova revolução tecnológica não serão compartilhados uniformemente. É necessário compreender os problemas e desafios que precisam ser enfrentados para que mais países se beneficiem plenamente do potencial da agricultura 4.0. No Brasil, o cenário de desenvolvimento da agricultura 4.0 é complexo e pouco se sabe sobre as reais barreiras que causam impacto na sua adoção entre os atores da cadeia de produção agrícola. Faltam estudos sobre a percepção dos agricultores brasileiros com relação às barreiras que podem comprometer o caminho bem-sucedido da agricultura 4.0 neste setor. Esta tese investiga como pode ser realizado o gerenciamento das barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil. Para isso, esta tese foi organizada em três artigos, os quais objetivam: (i) realizar uma revisão sistemática da literatura com a finalidade de identificar as descrições, tecnologias, barreiras, vantagens e desvantagens da agricultura 4.0; (ii) validar as barreiras identificadas na literatura que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola; e (iii) explorar as inter-relações das barreiras no desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil, para sustentar a proposição de um *framework* abrangente que busque gerenciá-las. Como resultado esperado, está a proposição de um *framework* que vai ajudar na gestão de estratégias para a adoção e desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil. A abordagem de pesquisa desta tese inclui o uso de *mixed-method* (qualitativo - Revisão Sistemática da Literatura, *Interpretive Structural Modeling*, *Matrix Impact of Cross Multiplication Applied to Classification*, e quantitativo - Análise Fatorial Confirmatória, *Interpretive Structural Modeling*). Os principais resultados podem ser sumarizados como: (i) compilado das descrições da agricultura 4.0, proposição de uma definição abrangente do termo para a cadeia de produção agrícola, identificação e classificação de 25 barreiras em dimensões (tecnológica, econômica, política, social e ambiental), apresentação das tecnologias, vantagens, desvantagens, tendências, e agenda de pesquisa; (ii) validação de 25 barreiras, apresentação e discussão das barreiras mais frequentes e importantes apontadas pelos agricultores (falta de infraestrutura, falta de soluções acessíveis aos agricultores, necessidade de fomentar P&D e modelos de negócios inovadores, risco de faixa etária e falta de eficácia nos dados sobre o meio



rural); e iii) identificação das barreiras no desenvolvimento da agricultura 4.0 que possuem alto poder de condução e as que são dependentes, proposta de um *framework* para gerenciá-las. Como conclusão, do ponto de vista acadêmico, esses resultados ajudam os atores da cadeia de produção agrícola a abrir caminho para o desenvolvimento bem-sucedido da agricultura 4.0. A pesquisa também corrobora para ampliar o debate inclusivo que pode moldar socialmente a introdução da agricultura 4.0. Do ponto de vista prático, os resultados ajudam os formuladores de políticas a elaborar estratégias mais bem detalhadas que busquem ampliar e difundir a agricultura 4.0 neste setor.

**Palavras-chave:** Agricultura Digital. Agricultura 4.0. Cadeia de Produção Agrícola. Brasil.

## ABSTRACT

Agriculture 4.0 upgrades traditional production methods and world agriculture strategies to an optimized value chain using a range of emerging technologies that enhance disruptive solutions at all stages of the agricultural production chain. Due to the complexity of the changing farm ecosystem, the new technological revolution's benefits will not be shared evenly. It is necessary to understand the problems and challenges that need to be addressed so that more countries can fully benefit from the potential of agriculture 4.0. In Brazil, the development scenario of agriculture 4.0 is complex, and little is known about the real barriers that impact its adoption among actors in the agricultural production chain. Empirical studies are lacking on the perception of Brazilian farmers regarding the barriers that may compromise the success of agriculture 4.0 in this sector. This thesis investigates how the management of barriers that hinder the development of agriculture 4.0 in the agricultural production chain in the southern region of Brazil can be carried out. For this, this thesis was organized into three papers, which aim to: (i) carry out a systematic review of the literature to identify the descriptions, technologies, barriers, advantages, and disadvantages of agriculture 4.0; (ii) to validate the barriers identified in the literature that hinder the development of agriculture 4.0 in the agricultural production chain; and (iii) explore the interrelationships of barriers in the development of agriculture 4.0 in the agricultural production chain in southern Brazil, to support the proposition of a comprehensive framework that seeks to manage them. As an expected result, a framework was proposed that will help in the management of strategies for the adoption and development of agriculture 4.0 in the agricultural production chain in the southern region of Brazil. The research approach of this thesis includes the use of mixed-method (qualitative - Systematic Literature Review, Interpretive Structural Modeling, Matrix Impact of Cross Multiplication Applied to Classification, and quantitative - Confirmatory Factor Analysis, Interpretive Structural Modeling). The main results can be summarized as (i) compiled from descriptions of agriculture 4.0, a proposition of a comprehensive definition of the term for the agricultural production chain, identification, and classification of 25 barriers in dimensions (technological, economic, political, social and environmental), presentation of technologies, advantages, disadvantages, trends, and research agenda; (ii) validation of 25 barriers, presentation and discussion of the most frequent and important barriers identified by farmers (lack of infrastructure, lack of solutions accessible to farmers, need to encourage R&D and innovative business models, age group risk and lack of effectiveness in data on rural areas); and (iii) identification of barriers in the development of agriculture 4.0 that have a high driving

power and those that are dependent, the proposal of a framework to manage them, proposal of a framework to manage them. In conclusion, from a theoretical point of view, these results help actors in the agricultural production chain to pave the way for the successful development of agriculture 4.0. The research also corroborates to broaden the inclusive debate that can socially shape the introduction of agriculture 4.0. From a practical point of view, the results help policymakers develop more detailed strategies to expand and spread agriculture 4.0 in this sector.

**Key words:** Digital Agriculture. Agriculture 4.0. Agricultural Production Chain. Brazil.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da tese.....	26
Figura 2 – Fluxo metodológico adotado na RSL de acordo com o protocolo PRISMA.....	40
Figura 3 – Distribuição do ano de publicação e dos temas pesquisados nos artigos da RSL....	42
Figura 4 – Gráfico sobre publicações científicas da agricultura 4.0 no mundo .....	44
Figura 5 – Visualização conceitual desenvolvida pelo software <i>Mandala Browser</i> das interações entre os termos pré-estabelecidos nos artigos da RSL .....	46
Figura 6 – Distribuição dos respondentes da pesquisa na região Sul do Brasil ( $n = 347$ ).....	96
Figura 7 – Barreiras tecnológicas .....	102
Figura 8 – Barreiras econômicas .....	103
Figura 9 – Barreiras políticas.....	104
Figura 10 – Barreiras sociais .....	104
Figura 11 – Barreiras ambientais.....	105
Figura 12 – Diagrama de trajeto da análise fatorial confirmatória.....	112
Figura 13 – Fluxograma da metodologia de pesquisa .....	152
Figura 14 – <i>Framework</i> das barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola .....	163
Figura 15 – Análise MICMAC das barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola.....	167

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Delineamento da tese.....	22
Tabela 2 – Protocolo da RSL.....	39
Tabela 3 – Método de pesquisa adotado nos artigos da RSL.....	43
Tabela 4 – Atores no desenvolvimento da agricultura 4.0 conforme a RSL.....	47
Tabela 5 – Síntese das descrições da agricultura 4.0.....	50
Tabela 6 – Visão ampla das tecnologias da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola...53	
Tabela 7 – Barreiras identificadas na RSL que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 e limitam o seu progresso.....	58
Tabela 8 – Agenda de pesquisa sobre o desenvolvimento da agricultura 4.0 com sugestões metodológicas.....	72
Tabela 9 – Barreiras no desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola*.....	92
Tabela 10 – Características sociodemográficas dos agricultores da amostra do estudo.....	101
Tabela 11 – Características da produção agrícola dos agricultores da amostra do estudo.....	102
Tabela 12 – Barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil.....	107
Tabela 13 – Coeficientes <i>Alfa de Cronbach</i> (por construto e geral) do instrumento de coleta de dados.....	108
Tabela 14 – Matriz estrutural dos coeficientes e fatores (componentes) do instrumento de pesquisa (questionário) resultante da análise fatorial confirmatória*.....	109
Tabela 15 – Matriz comparativa entre ordenamento das questões.....	110
Tabela 16 – Barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola.....	147
Tabela 17 – Informações básicas dos especialistas que participaram deste estudo.....	154
Tabela 18 – <i>Structural Self-Interaction Matrix</i> (SSIM) das barreiras da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola.....	156
Tabela 19 – <i>Initial Reachability Matrix</i> (IRM) das barreiras da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola.....	158
Tabela 20 – <i>Final Reachability Matrix</i> (FRM) das barreiras da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola.....	159
Tabela 21 – Resultados das interações de <i>Level partitioning</i> .....	161
Tabela 22 – Resultados do <i>Level partitioning</i> .....	162
Tabela 23 – Priorização das barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola.....	170

## LISTA DE ABREVIACES

AFC: Análise Fatorial Confirmatória

AHP: *Analytic Hierarchy Process*

AIoT: *Agricultural Internet of Things*

ANP: *Analytic Network Process*

CFI: *Comparative-Fit Index*

CSIRO: *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*

DEMATEL: *Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory*

DPP: *Dependence Power*

DVP: *Driving Power*

FRM: *Final Reachability Matrix*

GEE: Gases de Efeito Estufa

IA: Inteligência Artificial

IoT: *Internet of Things*

IRM: *Initial Reachability Matrix*

ISM: *Interpretive Structural Modeling*

JIF: *Journal Impact Factor*

KMO: *Kaiser-Meyer-Olkin*

MICMAC: *Matrix Impact of Cross Multiplication Applied to Classification*

P&D: Pesquisa & Desenvolvimento

PADAA: Programa Abrangente de Desenvolvimento Agrícola Africano

PIB: Produto Interno Bruto

PRISMA: *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*

RM: *Reachability Matrix*

RMSEA: *Root Mean Square Error Approximation*

RSL: Revisão Sistemática da Literatura

SEM: *Structural Equation Modeling*

SPSS: *Statistical Package for Social Sciences*

SSIM: *Structural Self-Interaction Matrix*

TLI: *Tucker-Lewis Index*

VBP: Valor Bruto da Produção

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	17
1.1. TEMA.....	19
1.2. QUESTÃO DE PESQUISA.....	19
<b>1.2.1. Questões secundárias de pesquisa</b> .....	19
1.3. OBJETIVOS.....	19
1.4. JUSTIFICATIVA.....	20
1.5. DELINEAMENTO DA TESE.....	21
1.6. DELIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	23
1.7. ESTRUTURA DA TESE.....	24
REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 1.....	27
2. ARTIGO 1: UMA VISÃO GERAL DO DESENVOLVIMENTO DA AGRICULTURA 4.0: REVISÃO SISTEMÁTICA DE DESCRIÇÕES, TECNOLOGIAS, BARREIRAS, VANTAGENS E DESVANTAGENS .....	33
Resumo.....	33
2.1. INTRODUÇÃO .....	34
2.2. METODOLOGIA DA PESQUISA .....	36
<b>2.2.1. Revisão sistemática da literatura</b> .....	36
<b>2.2.2. Questões de pesquisa, banco de dados e palavras-chave</b> .....	37
<b>2.2.3. Análise e seleção da amostra</b> .....	38
<b>2.2.4. Considerações sobre a qualidade dos artigos</b> .....	40
2.3. RESULTADOS .....	41
<b>2.3.1. Análise bibliométrica</b> .....	41
<b>2.3.2. QP1 – Descrições da agricultura 4.0</b> .....	48
<b>2.3.3. QP2 – Tecnologias da agricultura 4.0</b> .....	52
<b>2.3.4. QP3 – Barreiras no desenvolvimento da agricultura 4.0</b> .....	56
2.3.4.1. <i>Tecnológica</i> .....	60
2.3.4.2. <i>Econômica</i> .....	61
2.3.4.3. <i>Política</i> .....	62
2.3.4.4. <i>Social</i> .....	63
2.3.4.5. <i>Ambiental</i> .....	64
<b>2.3.5. QP4 – Vantagens e desvantagens</b> .....	65
2.4. DISCUSSÃO.....	68
<b>2.4.1. QP1</b> .....	68
<b>2.4.2. QP2</b> .....	68
<b>2.4.3. QP3</b> .....	69
<b>2.4.4. QP4</b> .....	70
<b>2.4.5. Tendências</b> .....	70
<b>2.4.6. Agenda de pesquisa</b> .....	72
2.5. CONCLUSÃO .....	74
REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 2.....	75
APÊNDICE A - Fator de impacto do periódico, publicações e citações da amostra .....	86
3. ARTIGO 2: PERCEPÇÃO DOS AGRICULTORES SOBRE AS BARREIRAS QUE DIFICULTAM A IMPLEMENTAÇÃO DA AGRICULTURA 4.0.....	87
Resumo.....	87
RESUMO GRÁFICO.....	88
3.1. INTRODUÇÃO .....	88
3.2. CENÁRIO DA PESQUISA .....	95
<b>3.2.1. Área de estudo</b> .....	95
<b>3.2.2. Importância dos agricultores no desenvolvimento da agricultura 4.0</b> .....	96

3.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	97
<b>3.3.1. Desenho do estudo</b> .....	97
<b>3.3.2. Estratégia de amostragem</b> .....	98
<b>3.3.3. Tamanho da amostra</b> .....	99
<b>3.3.4. Análise estatística</b> .....	99
3.4. RESULTADOS .....	100
<b>3.4.1. Análise descritiva</b> .....	100
3.4.1.1. <i>Características sociodemográficas dos participantes do estudo</i> .....	100
3.4.1.2. <i>Informações relacionadas à produção agrícola</i> .....	101
<b>3.4.2. Barreiras no desenvolvimento da agricultura 4.0</b> .....	102
<b>3.4.3. Análise fatorial confirmatória</b> .....	108
3.5. DISCUSSÃO .....	113
<b>3.5.1. Tecnológica</b> .....	114
<b>3.5.2. Econômica</b> .....	114
<b>3.5.3. Política</b> .....	115
<b>3.5.4. Social</b> .....	116
<b>3.5.5. Ambiental</b> .....	117
<b>3.5.6. Validação do construto deste estudo</b> .....	118
3.6. CONCLUSÃO .....	119
REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 3.....	120
APÊNDICE B - Questionário aplicado para coleta de dados da pesquisa .....	138
4. ARTIGO 3: PROPOSTA DE UM FRAMEWORK PARA GERENCIAR AS BARREIRAS QUE DIFICULTAM O DESENVOLVIMENTO DA AGRICULTURA 4.0 NA CADEIA DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA .....	142
Resumo.....	142
4.1. INTRODUÇÃO .....	143
4.2. REVISÃO DA LITERATURA.....	145
<b>4.2.1. Visão geral das barreiras da agricultura 4.0</b> .....	145
<b>4.2.2. Lacuna de pesquisa</b> .....	150
4.3. METODOLOGIA DE PESQUISA .....	151
<b>4.3.1. Identificação das barreiras da agricultura 4.0</b> .....	151
<b>4.3.2. Validação das barreiras da agricultura 4.0</b> .....	152
<b>4.3.3. Desenvolvimento das inter-relações das barreiras da agricultura 4.0</b> .....	153
<b>4.3.4. Interpretive Structural Modelling (ISM)</b> .....	154
4.3.4.1. <i>Structural Self-Interaction Matrix (SSIM)</i> .....	155
4.3.4.2. <i>Reachability Matrix (RM)</i> .....	157
4.3.4.3. <i>Level partitioning</i> .....	160
4.4. RESULTADOS .....	162
<b>4.4.1. Modelo ISM - Framework</b> .....	162
<b>4.4.2. Análise MICMAC</b> .....	165
4.5. DISCUSSÃO SOBRE AS DESCOBERTAS .....	170
4.6. CONCLUSÃO .....	173
<b>4.6.1. Implicações para o conhecimento teórico</b> .....	174
<b>4.6.2. Implicações para o conhecimento prático</b> .....	175
<b>4.6.3. Limitações e estudos futuros</b> .....	176
REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 4.....	176
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	191
OPORTUNIDADES PARA PESQUISAS FUTURAS .....	193
REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 5.....	194



## 1. INTRODUÇÃO

A demanda por alimentos que atenda a uma população global estimada em 9 bilhões em 2050 impõe uma série de desafios ao atual modelo agrícola (Sijpestijn et al. 2022). Desse modo, novas medidas que visam aumentar a produtividade, reduzir custos e conservar os recursos naturais estão sendo tomadas (Hamrick e Chen, 2021). Na cadeia de produção agrícola, esforços já estão sendo feitos em direção à sustentabilidade e resiliência (Liu et al., 2020). Mas ainda é desafiador garantir a segurança alimentar, dados os altos índices de perdas no pós-colheita, fenômenos associados às mudanças climáticas e ao deslocamento de pessoas do campo para as cidades nesse setor (Miljkovic e Nelson, 2021; Neme et al., 2021). Espera-se que a agricultura 4.0 (Klerkx e Rose, 2020) – também conhecida como a quarta revolução agrícola (Rose et al., 2021) – resolva esses desafios por meio do uso de uma variedade de tecnologias emergentes (Wolfert et al., 2017; Lioutas et al., 2019; Scuderi et al., 2022), que mudará os métodos agrícolas tradicionais para práticas agrícolas inteligentes (Abbasi et al., 2022).

Ao longo dos anos, a cadeia de produção agrícola vem se apropriando dos avanços proporcionados pelas tecnologias industriais. Portanto, a agricultura 4.0 é o resultado da evolução de várias fases da revolução agrícola (agricultura 1.0, agricultura 2.0 e agricultura 3.0) – que gradualmente seguiu os passos das revoluções industriais (indústria 4.0) (Liu et al., 2021). Alguns dos benefícios alegados a agricultura 4.0 estão relacionados com a obtenção de maiores rendimentos com menos recursos, tomada de decisões em tempo real (Goel et al., 2021), informações sobre como melhorar a produtividade das plantações sem aumentar a área de cultivo, otimização dos processos de irrigação com menor consumo de água e maior eficiência no controle de pragas (Zanella et al., 2020). Algumas das tecnologias responsáveis por alcançar esses resultados são robôs agrícolas (Wang et al., 2022), Internet das Coisas (IoT) (Liu et al., 2020), *big data analysis* (Wolfert et al., 2017), inteligência artificial (Partel et al., 2021), entre outras (Klerkx e Rose, 2020). Essas tecnologias caracterizam o modelo de agricultura 4.0 e abrangem todas as etapas e processos da cadeia de produção agrícola (Ting et al., 2011), desde o desenvolvimento genético de sementes (Sivasankar et al., 2020), até pequenos aplicativos móveis para suporte à tomada de decisão (Yahya, 2018). Apesar da promessa da agricultura 4.0 (Wolfert et al., 2017; Klerkx e Rose, 2020), uma série de pesquisas aponta que essas novas tecnologias e inovações aplicadas na cadeia de produção agrícola podem gerar questionamentos entre os agricultores (Bronson, 2019; Barrett e Rose, 2020). Os autores Spanaki et al. (2021) complementam que ainda há uma discussão aberta e múltiplos desafios podem ser encontrados no desenvolvimento da agricultura 4.0 neste setor.

O comportamento da agricultura 4.0 não depende apenas das características da propriedade rural (fazenda) e do agricultor, mas também é influenciado pelas condições estruturais, políticas e econômicas do sistema agrícola (Shang et al., 2021). Este sistema evolui ao longo do tempo, com base no comportamento dos atores, como por exemplo dos agricultores (Maria et al., 2021), e suas interações com o ambiente entre si (Shang et al., 2021). Neste caso, isso permite que os agricultores tenham percepções sobre o desenvolvimento da agricultura 4.0 (Fleming et al., 2018; Erdoğan, 2022).

Estudos sobre as aplicações tecnológicas da agricultura 4.0 começaram a crescer nos últimos anos (por exemplo: pulverizador inteligente para vegetações florestais, Partel et al., 2021; colheita robótica em pomares de maçã, Wang et al., 2022; e sistemas de visão para robôs de colheita, Montoya-Cavero et al., 2022). Adicionalmente, pesquisadores apresentam uma visão holística das tecnologias da agricultura 4.0 implementadas na segunda etapa da cadeia de produção agrícola (no campo) para diferentes tipos de fazendas (Abbasi et al., 2022). No entanto, ainda são poucos os estudos que revelam informações sobre sua teoria (Hackfort, 2021; Scuderi et al., 2022; Arora et al., 2022). Faltam pesquisas que contemplem exclusivamente as barreiras que podem ser geradas na cadeia de produção agrícola pela introdução da agricultura 4.0 (Rose e Chilvers, 2018). Também não há relatos empíricos da percepção dos agricultores sobre o desenvolvimento da agricultura 4.0 em países em desenvolvimento.

Por tanto, como lacuna explorada nesta tese, encontra-se a necessidade de realiza uma análise plausível do desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola brasileira. São examinadas as potenciais barreiras da agricultura 4.0 no cenário agrícola da região Sul do Brasil através da percepção de agricultores e de especialistas da área. É necessário estabelecer essa conexão para explorar mais tarde como o comportamento dos agricultores influencia no desenvolvimento da agricultura 4.0, assim como as condições alteradas na cadeia de produção agrícola, por sua vez, afetam o que está acontecendo nas fazendas. Esse processo dinâmico acaba determinando a taxa de desenvolvimento da agricultura 4.0 (ou de adoção), e ajuda a entender quais as barreiras que precisam de um maior planejamento para facilitar sua implementação. Este, por sua vez, é o ponto de partida para identificar caminhos viáveis que precisam ser seguidos para que ocorra um aumento da participação da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola.

## 1.1. TEMA

Diante do exposto, esta tese considera a intersecção entre os seguintes temas de pesquisa: cadeia de produção agrícola, agricultura 4.0 e tecnologias emergentes. Considerando a importância de aumentar a escala de agricultores que buscam migrar para a agricultura 4.0, esta pesquisa se concentra em identificar as barreiras que dificultam o seu desenvolvimento na cadeia de produção agrícola. Pelo tema ser atual (Rijswijk et al., 2021; da Silveira e Amaral, 2023) e estar em expansão nos debates científicos (Ingram et al., 2022), será necessário desenvolver estudos teóricos e empíricos, com base na percepção de agricultores e especialistas, para propor um *framework* que vai direcionar o gerenciamento dessas barreiras. Para Shang et al. (2021), a literatura sobre o desenvolvimento da agricultura 4.0 ainda não está bem conectada. Por isso, o aspecto sistêmico da quarta revolução agrícola e sua direcionalidade ainda precisam ser mais explorados (Klerkx et al., 2019; Schnebelin et al., 2021).

## 1.2. QUESTÃO DE PESQUISA

Com base no contexto apresentado, a principal questão de pesquisa a ser investigada nesta tese é enunciada da seguinte forma: como gerenciar as barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil?

### 1.2.1. Questões secundárias de pesquisa

A partir da questão de pesquisa principal, foram delineadas três questões norteadoras de pesquisa que ajudam a respondê-la:

(1) Quais são as descrições, tecnologias, barreiras, vantagens e desvantagens da agricultura 4.0 consideradas na literatura científica?

(2) Existe uma validação empírica das barreiras identificadas na literatura que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola?

(3) Quais são as inter-relações das barreiras no desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil entre os agricultores que já adotam e os que não adotam alguma de suas tecnologias? De que forma essas barreiras podem ser gerenciadas?

## 1.3. OBJETIVOS

Considerando as questões de pesquisa elencadas anteriormente, o objetivo geral desta tese é propor o gerenciamento das barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil, através de um *framework*. Esta tese

também tem como objetivo prático servir de referência para países em desenvolvimento como o Brasil, que possam identificar e classificar as barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0. Para atingir o objetivo geral, são apresentados três objetivos específicos, sendo que cada um deles refere-se a um dos artigos que compõe esta tese:

(1) Realizar uma revisão sistemática da literatura com a finalidade de identificar as descrições, tecnologias, barreiras, vantagens e desvantagens da agricultura 4.0 (**Artigo 1**);

(2) Validar as barreiras identificadas na literatura que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola (**Artigo 2**); e,

(3) Explorar e classificar as barreiras no desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil, para sustentar a proposição de um *framework* abrangente que busque gerenciá-las (**Artigo 3**).

#### 1.4. JUSTIFICATIVA

O setor do agronegócio caracteriza-se por ter um longo histórico de inovação e adoção de novas tecnologias que buscam melhorar a sua produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade ambiental, social e econômica (OECD, 2021). Atualmente, o uso de tecnologias digitais e inovações tecnológicas emergentes – por agricultores (Shang et al., 2021) e também por formuladores de políticas agrícolas (Ehlers et al., 2022) – é mais um avanço na história da agricultura (Liu et al., 2020). Estas tecnologias oferecem novas oportunidades, mas também trazem novos desafios para o setor (Klerkx e Rose, 2020). A agricultura brasileira está sendo suportada cada vez mais pelas tecnologias emergentes oriundas do modelo da agricultura 4.0 (Boursianis et al., 2020), as quais são fundamentais para o País seguir ampliando sua capacidade de produção e, em paralelo, atender as expectativas quanto ao seu papel na demanda global por segurança alimentar (Embrapa Agricultura Digital, 2021).

Em 2021, o agronegócio brasileiro apresentou bons resultados na economia do País. Apesar dos problemas que foram desenvolvidos durante a pandemia do Coronavírus (COVID - 19) (Rizou et al., 2020), o Valor Bruto da Produção (VBP) foi de R\$ 1,076 trilhão (12,1% acima em valores reais ao obtido em 2020) (MAPA, 2021). No entanto, a aplicação das tecnologias da agricultura 4.0 têm potencial de trazer ainda mais ganhos nas diferentes etapas da cadeia de produção agrícola, em termos de volumes, qualidade e eficiência (Buainain et al., 2021). A ascensão dessas tecnologias e o impacto disruptivo da agricultura 4.0 neste setor, tornam, particularmente, importante e necessário o entendimento de seus mecanismos de

adoção e difusão (Shang et al., 2021). Além disso, a medida que a agricultura avança em direção a quarta revolução agrícola (Barrett e Rose, 2020), investigações sobre os impactos nos agricultores também são necessários (Fleming et al., 2021).

Esta tese é original, ao realizar o primeiro estudo que busca identificar em profundidade uma série de barreiras que causam impacto na abertura da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola no mundo. Pesquisas que exploram as barreiras (Rose e Chilvers, 2018; Liu et al., 2020), desafios (Klerkx e Rose, 2020), e limitações (Hinson et al., 2019) que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 não tratam com profundidade estas questões. Deste modo, a análise abrangente realizada nesta pesquisa contribui para a identificação de fatores até então inexplorados. Além disso, por se tratar de uma pesquisa pioneira, a proposta do *framework* desenvolvido para gerenciar as barreiras no desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil ajudará a consolidar um campo novo de estudo e que está em construção.

Ao analisar empiricamente a percepção dos agricultores, este estudo pode contribuir para a continuidade do desenvolvimento da agricultura 4.0 no Brasil, através de evidências sobre as diferenças existentes entre as barreiras de quem adota ou não suas tecnologias. Paralelamente, esta tese traz como contribuição teórica o levantamento das principais barreiras que devem ser estudadas, analisadas e superadas para aumentar a escala de agricultores que buscam migrar para a agricultura 4.0. Também, a estrutura conceitual desenvolvida nesta tese, pode servir de referência para aqueles que estudam o desenvolvimento da agricultura 4.0. Por outro lado, quanto às contribuições práticas, ressalta-se que a pesquisa buscou contemplar todas as vertentes da agricultura 4.0 aplicadas as etapas da cadeia de produção agrícola (pré-campo, em-campo, e pós-campo). Além disso, as informações levantadas nesta tese apontam para o futuro e têm papel central na evolução do agronegócio brasileiro.

## 1.5. DELINEAMENTO DA TESE

A finalidade desta tese é investigar e encontrar soluções para um determinado problema, que têm por base artifícios racionais e sistemáticos, mediante a utilização de procedimentos científicos (Lakatos e Marconi, 2010). A Tabela 1 apresenta as classificações, as tipologias e o método científico que foram adotados no desenvolvimento desta tese.

Tabela 1 – Delineamento da tese.

Classificação	Tipologia da Pesquisa
Natureza	Aplicada
Abordagem	Qualitativa Quantitativa
Objetivos	Exploratória Descritiva Analítica
Procedimento	<i>Survey</i> Revisão Sistemática da Literatura <i>Interpretive Structural Modeling</i>
Método Científico	Análise Indutiva

Conforme apresentando na [Tabela 1](#), do ponto de vista da sua natureza, a pesquisa classifica-se por ser aplicada. Para [Wieringa \(2014\)](#), esse tipo de pesquisa objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e digeridos à solução de problemas específicos. Segundo [Gil \(2019\)](#), pesquisas aplicadas também podem contribuir para o avanço do conhecimento científico e são responsáveis por sugerir novas questões a serem investigadas. No caso, são identificadas às barreiras que dificultam o caminho bem-sucedido da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola. Além disso, a [seção 2.4.6](#) apresenta um compilado de informações sobre questões de pesquisas futuras que precisam ser investigadas para ampliar as lentes teóricas da agricultura 4.0.

A abordagem da tese empregou um método misto (do inglês, *mixed-method*) — qualitativo e quantitativo ([Venkatesh et al., 2013](#)). Ela é qualitativa, pois preocupa-se com o aprofundamento da compreensão acerca das barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0, as quais podem ser geradas na cadeia de produção agrícola, tendo em vista compreender, descrever e explicar esse contexto. Ela é quantitativa, pois emprega dados para representar a situação dos agricultores da região Sul do Brasil. Com relação aos seus objetivos, a pesquisa pode ser classificada como exploratória e descritiva. Conforme [Gil \(2019\)](#), a pesquisa exploratória proporciona maior familiaridade com o problema, possibilitando assim, novas vistas para torná-lo explícito. A pesquisa enquadra-se como descritiva, pois visa descrever as características dos agricultores da cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil, perfazendo o uso de um questionário para a coleta de dados.

Do ponto de vista dos procedimentos adotados, a pesquisa condiz com a *survey* e a Revisão Sistemática da Literatura (RSL). A *survey* foi utilizada para obter informações e conhecimentos acerca da problemática da pesquisa, para a qual se procura uma resposta para os novos fenômenos e relações ([Lakatos e Marconi, 2010](#)). A RSL foi desenvolvida para obter

informações sobre a situação atual do tema da tese. A pesquisa emprega o método científico indutivo, visto que são desenvolvidos novos conhecimentos sobre a agricultura 4.0.

## 1.6. DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

As principais delimitações desta tese envolvem: i) *cadeia de produção agrícola* – os resultados desta pesquisa podem não representar a diversidade da cadeia de produção agrícola brasileira. A projeção de safras futuras do agronegócio brasileiro considera em sua métrica 30 produtos (Brasil, 2021). Além disso, a agricultura no Brasil têm por base mais de 300 espécies de cultivos e envia para o mundo 350 tipos de produtos que alcançam a 200 mercados globais (Massruhá et al., 2020). Por isso, mais investigações empíricas com métodos estatísticos em um escopo mais amplo na cadeia de produção agrícola são necessárias para obter uma conclusão complementar aos nossos *insights*. ii) *área de estudo* - a percepção dos agricultores de outras regiões do Brasil podem conduzir a resultados diferentes dos encontrados nesta tese. Isso está relacionado com a heterogeneidade estrutural e produtiva da agricultura brasileira, as quais afetam o nível de desenvolvimento do setor em suas diferentes regiões, cultivos ou classes sociais (Santos e Vieira Filho, 2012). Isso indica que as dificuldades encontradas pelos agricultores também se diferem de acordo com sua região (Buainain et al., 2021). iii) *Perfil dos respondentes*: a amostra dos respondentes da pesquisa pode estar representada, em parte, por indivíduos socioeconômicos privilegiados. A falta de conectividade no meio rural pode dificultar o acesso a pesquisa online por pequenos e médios produtores rurais (Bolfe et al., 2020). Por outro lado, agricultores mais velhos também podem ter sido excluídos da amostra devido à falta de conectividade com a internet (Soma e Nuckchady, 2021). Os grupos de agricultores mais jovens vêm assumindo a gestão dos estabelecimentos familiares. Esse perfil de agricultor caracteriza-se por ter um nível mais elevado de escolaridade, apresentar maior familiaridade com as tecnologias digitais e por estar mais abertos às inovações em geral (Buainain et al., 2021). iv) *Proposta do framework*: a proposta de um *framework* têm como foco nortear as diretrizes desenvolvidas pelos formuladores de políticas que buscam mitigar as barreiras identificadas na cadeia de produção agrícola. Não é objetivo deste estudo propor estratégias de desdobramento que busquem superá-las. Todavia, isso será recomendado para pesquisas futuras no Capítulo 5.

## 1.7. ESTRUTURA DA TESE

Esta tese de doutorado está organizada em formato de artigos científicos, conforme o regimento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGEP/UFRGS). A estrutura da tese é formada por dois capítulos de apoio e três capítulos principais. O primeiro capítulo de apoio apresenta esta introdução inicial composta por tema, objetivos, questões de pesquisa, justificativa, delineamento e delimitações do estudo. Os capítulos principais referem-se, respectivamente, aos três artigos propostos. O segundo capítulo de apoio trata do fechamento da tese, onde estão as suas principais considerações e oportunidades de trabalhos futuros. A seguir, é apresentada uma breve contextualização dos capítulos principais, para melhor compreensão da estrutura deste trabalho.

**Artigo 1:** O primeiro artigo, intitulado “*Uma visão geral do desenvolvimento da agricultura 4.0: revisão sistemática de descrições, tecnologias, barreiras, vantagens e desvantagens*”, propôs a realização de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), de natureza aplicada e caráter exploratório. O objetivo do artigo foi identificar as descrições, tecnologias, barreiras, vantagens e desvantagens da agricultura 4.0. O desenvolvimento deste artigo teve como base o protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA). Como resultado, foi possível identificar as descrições da agricultura 4.0, propor uma definição e apresentar uma compilação de abordagens relacionadas ao termo. Também foram pesquisadas as tecnologias da agricultura 4.0, responsáveis por revolucionar e impactar a forma como as *commodities* são produzidas, processadas, comercializadas e consumidas. Além disso, são elencadas as barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 e que limitam seu progresso. As barreiras identificadas na literatura foram classificadas em cinco dimensões: tecnológica, econômica, política, social e ambiental.

**Artigo 2:** O segundo artigo, intitulado “*Percepção dos agricultores sobre as barreiras que dificultam a implementação da agricultura 4.0*”, objetivou validar as barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região sul do Brasil. Foi realizado uma Análise Fatorial Confirmatória (AFC), considerando os testes estatísticos de *Kaiser-Meyer-Olkin* e de *Bartlett* no seu desenvolvimento. Foram selecionadas para serem validadas 25 barreiras, as quais foram levantadas no [Artigo 1](#). A validação ocorreu através da percepção de agricultores ( $n = 347$ ) que estão distribuídos entre os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Os dados foram coletados a partir de um questionário



online ([Apêndice B](#)) que identificou o grau de importância das barreiras para os agricultores da amostra. As barreiras mais frequentes e importantes apontadas pelos agricultores são discutidas.

**Artigo 3:** O terceiro artigo, intitulado “*Proposta de um framework para gerenciar as barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola*”, visou propor um gerenciamento das barreiras no desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região sul do Brasil, através de um *framework*. Isso foi desenvolvido após a identificação ([Artigo 1](#)) e validação ([Artigo 2](#)) das barreiras da agricultura 4.0. Foi aplicado o método *Interpretive Structural Modeling (ISM)*, bem como realizada a análise *Matrix Impact of Cross Multiplication Applied to Classification (MICMAC)*, que permitiu identificar as barreiras da agricultura 4.0 que possuem alto poder de condução e as que são dependentes. Este estudo é o primeiro do gênero a explorar as relações entre as barreiras da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola. O resultado deste estudo ajudará os formuladores de política a elaborar estratégias mais bem detalhadas que busquem ampliar e difundir a agricultura 4.0 neste setor.

A [Figura 1](#) apresenta o mapa da tese, de modo que desdobra as questões de pesquisa, objetivos, procedimentos metodológicos e resultados através de uma sequência lógica que facilita o entendimento de sua estruturação.

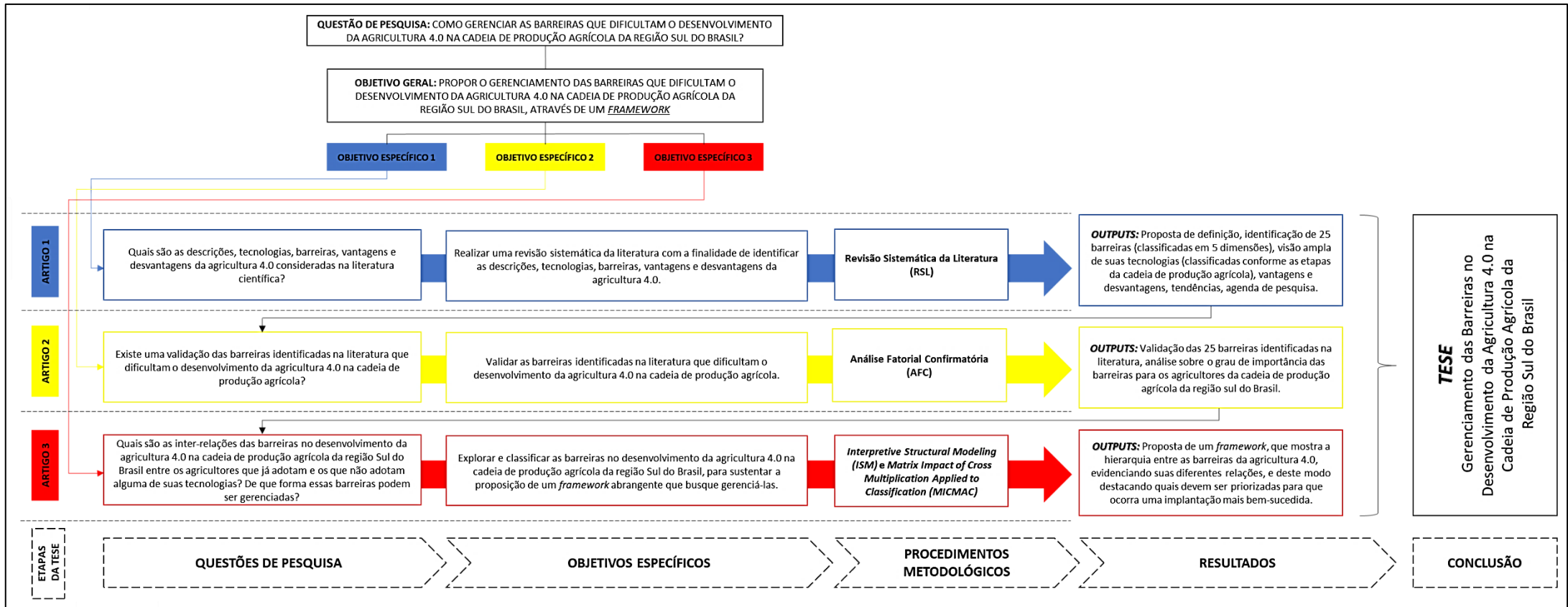


Figura 1 – Mapa da tese.

## REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 1

- Abbasi, R., Martínez, P., Ahmad, R., 2022. The digitization of agricultural industry – a systematic literature review on agriculture 4.0. **Smart Agricultural Technology**. 2. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100042>
- Arora, C., Kamat, A., Shanker, S., Barve, A., 2022. Integrating agriculture and industry 4.0 under “agri-food 4.0” to analyze suitable technologies to overcome agronomical barriers. **British Food Journal**. <https://doi.org/10.1108/BFJ-08-2021-0934>
- Barrett, H., Rose, D.C., 2020. Perceptions of the Fourth Agricultural Revolution: What’s In, What’s Out, and What Consequences are Anticipated? **Sociologia Ruralis**. <https://doi.org/10.1111/soru.12324>
- Bolfe, E.L., Barbedo, J.G.A., Massruhá, S.M.F.S., Souza, K.X.S., Assad, E.D., 2020. Desafios, tendências e oportunidades em agricultura digital no Brasil. In: Massruhá, S.M.F.S., Leite, M.A.A., Oliveira, S.R.M., Meira, C.A.A., Luchiari Junior, A., Bolfe, E.L. (Ed.). **Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas**. Brasília, DF: Embrapa. cap. 1, p. 20-45. Recuperado em 25 de janeiro de 2022 em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126213/agricultura-digital-pesquisa-desenvolvimento-e-inovacao-nas-cadeias-produtivas>
- Boursianis, A.D., Papadopoulou, M.S., Diamantoulakis, P., Liopa-Tsakalidi, A., Barouchas, P., Salahas, G., Karagiannidis, G., Wan, S., Goudos, S.K., 2020. Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review. **Internet of Things**. 12. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100187>
- Brasil. 2021. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Potencialidades e desafios do agro 4.0: GT III “Cadeias Produtivas e Desenvolvimento de Fornecedores” Câmara do Agro 4.0 (MAPA/MCTI) / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Sustentável e Irrigação**. – Brasília: Mapa/ACES. 66 p. Recuperado em 10 de Janeiro de 2022 em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/agricultura-digital/GT3VERSAOABNT.pdf>
- Bronson, K., 2019. Looking through a responsible innovation lens at uneven engagements with digital farming. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. 90-91. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.03.001>

Buainain, A.M., Cavalcante, P., Consoline, L., 2021. **Estado atual da agricultura digital no Brasil: inclusão dos agricultores familiares e pequenos produtores rurais**. Documentos de Projetos (LC/TS.2021/61). Santiago. Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL). Recuperado em 13 de Fevereiro de 2022 em: [https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/RN/Anexos/Estado\\_atual\\_da\\_agricultura\\_digital\\_no\\_Brasil.pdf](https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/RN/Anexos/Estado_atual_da_agricultura_digital_no_Brasil.pdf)

Da Silveira, F., Amaral, F.G., 2023. Agriculture 4.0. In: Zhang, Q. (eds) **Encyclopedia of Smart Agriculture Technologies**. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-89123-7\\_207-2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-89123-7_207-2)

Ehlers, M-H., Finger, R., Benni, N.E., Gocht, A., Sorensen, C.A.G., Gusset, M., Pfeifer, C., Poppe, K., Regan, Á., Rose, D.C., Wolfert, S., Huber, R., 2022. Scenarios for European agricultural policymaking in the era of digitalisation. **Agricultural Systems**. 196. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103318>

Embrapa Agricultura Digital. 2021. **Relatório de gestão 2019/2021: pesquisa e inovação em agricultura digital**. SP - Campinas. 71 p. Recuperado em 20 de Fevereiro de 2022 em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/229296/1/LV-Relatorio-Gestao-2019-2021.pdf>

Erdoğan, M., 2022. Assessing farmers' perception to Agriculture 4.0 technologies: A new interval-valued spherical fuzzy sets-based approach. **International Journal of Intelligent Systems**. 37. <https://doi.org/10.1002/int.22756>

Fleming, A., Jakku, E., Lim-Camacho, L., Taylor, B., Thorburn, P., 2018. Is big data for big farming or for everyone? Perceptions in the Australian grains industry. **Agronomy for Sustainable Development**. 38. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0501-y>

Fleming, A., Jakku, E., Fielke, S., Taylor, B.M., Lacey, J., Terhorst, A., Stitzlein, C., 2021. Foresighting Australian digital agricultural futures: Applying responsible innovation thinking to anticipate research and development impact under different scenarios. **Agricultural Systems**. 190. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103120>

Gil, A.C., 2019. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6 ed. São Paulo: Atlas.

Goel, R.K., Yadav, C.S., Vishnoi, S., Rastogi, R., 2021. Smart agriculture – Urgent need of the day in developing countries. **Sustainable Computing: Informatics and Systems**. 30. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2021.100512>

- Hackfort, S., 2021. Patterns of Inequalities in Digital Agriculture: A Systematic Literature Review. **Sustainability**. 13. <https://doi.org/10.3390/su132212345>
- Hamrick, C., Chen, G., 2021. The challenges of future foods from prevention of nutrient deficiencies to the management of diabetes. **Journal of Future Foods**. 1. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.08.001>
- Hinson, R., Lensink, R., Mueller, A., 2019. Transforming agribusiness in developing countries: SDGs and the role of FinTech. **Current Opinion in Environmental Sustainability**. 41, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.07.002>
- Ingram, J., Maye, D., Bailye, C., Barnes, A., Bear, C., Bell, M., Cutress, D., Davies, L., De Boon, A., Dinnie, L., Gairdner, J., Hafferty, C., Holloway, L., Kindred, D., Kirby, D., Leake, B., Manning, L., Marchant, B., Wilson, L., 2022. What are the priority research questions for digital agriculture? **Land Use Policy**. 114. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105962>
- Klerkx, L., Jakku, E., Labarthe, P., 2019. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. 90. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>
- Klerkx, L., Rose, D., 2020. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?. **Global Food Security**. 24. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>
- Lakatos, E.M., Marconi, M. A., 2010. **Fundamentos de metodologia científica**. 7 ed. São Paulo: Atlas.
- Lioutas, E. D., Charatsari, C., La Rocca, G., De Rosa, M., 2019. Key questions on the use of big data in farming: An activity theory approach. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. 90. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.003>
- Liu, Y., Ma, X., Shu, L., Hancke, G.P., Abu-Mahfouz, A.M., 2020. From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3003910>
- Liu, Y., Ma, X., Shu, L., Hancke, G.P., Abu-Mahfouz, A.M., 2020. From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3003910>

- Maria, K., Maria, B., Andrea, K., 2021. Exploring actors, their constellations, and roles in digital agricultural innovations. **Agricultural Systems**. 186. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102952>
- Massruhá, S.M.F.S., Leite, M.D.A., Luchiari Junior, A., Evangelista, S.R.M. 2020. A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente. **Embrapa Agricultura Digital**. Capítulo em livro científico (ALICE). Recuperado em 10 de Fevereiro de 2022 em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217698/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap1.pdf>
- Miljkovic, D., Nelson, A.W., 2021. Measuring postharvest loss inequality: Method and applications. **Agricultural Systems**. 186. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102984>
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. MAPA. 2021. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2020/21 a 2030/31 - Projeções de Longo Prazo**. Recuperado em 25 de Outubro de 2021 em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2020-2021-a-2030-2031.pdf/view>
- Montoya-Cavero, L.E., Torres, R.D.L., Espinosa, A.G., Cabello, J.A.E., 2022. Vision systems for harvesting robots: Produce detection and localization. **Computers and Electronics in Agriculture**. 192. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106562>
- Neme, K., Nafady, A., Uddin, S., Tola, Y.B., 2021. Application of nanotechnology in agriculture, postharvest loss reduction and food processing: food security implication and challenges. **Heliyon**. 7. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08539>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. 2019. **Digital Opportunities for Better Agricultural Policies**. 234 p. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/571a0812-en>
- Partel, V., Costa, L., Ampatzidis, Y., 2021. Smart tree crop sprayer utilizing sensor fusion and artificial intelligence. **Computers and Electronics in Agriculture**. 191. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106556>
- Rijswijk, K., Klerkx, L., Bacco, M., Bartolini, F., Bulten, E., Debruyne, L., Dessen, J., Scotti, I., Brunori, G., 2021. Digital transformation of agriculture and rural areas: A socio-cyber-physical system framework to support responsabilisation. **Journal of Rural Studies**. 85, 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.05.003>

- Rizou, M., Galanakis, I.M., Aldawoud, T.M.S., Galanakis, C.M., 2020. Safety of foods, food supply chain and environment within the COVID-19 pandemic. **Trends in Food Science & Technology**. 102, 293-299. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.008>
- Rose, D.C., Chilvers, J., 2018. Agriculture 4.0: Broadening Responsible Innovation in an Era of Smart Farming. **Frontiers in Sustainable Food Systems**. 2. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087>
- Rose, D.C., Wheeler, R., Winter, M., Lobley, M., Chivers, C.A., 2021. Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet. **Land Use Policy**. 100, 104933. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104933>
- Santos, G., Vieira Filho, J.E., 2012. **Heterogeneidade produtiva na agricultura brasileira: elementos estruturais e dinâmicos da trajetória produtiva recente**. p. 32, Texto para Discussão, 1740. Brasília, DF: Ipea. Recuperado em 10 de Fevereiro de 2022 em: [https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=15035](https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=15035)
- Schnebelin, É., Labarthe, P., Touzard, J-M., 2021. How digitalisation interacts with ecologisation? Perspectives from actors of the French Agricultural Innovation System. **Journal of Rural Studies**. 86, 599-610. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.07.023>
- Scuderi, A., La Via, G., Timpanaro, G., Sturiale, L., 2022. The Digital Applications of “Agriculture 4.0”: Strategic Opportunity for the Development of the Italian Citrus Chain. **Agriculture**. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030400>
- Shang, L., Heckelei, T., Gerullis, M.K., Borner, J., Rasch, S., 2021. Adoption and diffusion of digital farming technologies - integrating farm-level evidence and system interaction. **Agricultural Systems**. 190. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103074>
- Sijpestijn, G.F., Wezel, A., Chriki, S., 2022. Can agroecology help in meeting our 2050 protein requirements?. **Livestock Science**. 256. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104822>
- Sivasankar, S., Heng, L.K., Kang, S.Y., 2020. Agriculture: Improving Crop Production. **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12323-1>
- Soma, T., Nuckchady, B., 2021. Communicating the Benefits and Risks of Digital Agriculture Technologies: Perspectives on the Future of Digital Agricultural Education and Training. **Frontiers in Communication**. <https://doi.org/10.3389/fcomm.2021.762201>

- Spanaki, K., Karafili, E., Despoudi, S., 2021. AI applications of data sharing in agriculture 4.0: A framework for role-based data access control. **International Journal of Information Management**. 59. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102350>
- Ting, K.C., Abdelzaher, T., Alleyne, A., Rodriguez, L., 2011. **Information technology and agriculture: global challenges and opportunities**. The Bridge, Washington, D.C. 41 (3), 6-13.
- Venkatesh, V., Brown, S.A., Bala, H., 2013. Bridging the Qualitative-Quantitative Divide: Guidelines for Conducting Mixed Methods Research in Information Systems. **Mis Quarterly**. 37 (1), 21-54. <https://doi.org/10.25300/misq/2013/37.1.02>
- Wang, X., Kang, H., Zhou, H., Au, W., Chen, C., 2022. Geometry-aware fruit grasping estimation for robotic harvesting in apple orchards. **Computers and Electronics in Agriculture**. 193. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106716>
- Wieringa, R., 2014. Empirical research methods for technology validation: Scaling up to practice. **The Journal of Systems and Software**. 95. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2013.11.1097>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., Bogaardt, M.J., 2017. Big Data in Smart Farming – A review. **Agricultural Systems**. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- Yahya, N., 2018. Agricultural 4.0: Its Implementation Toward Future Sustainability. In: **Green Urea**. Green Energy and Technology. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-7578-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7578-0_5)
- Zanella, A.R.A., Silva, E., Albin, L.C.P., 2020. Security challenges to smart agriculture: Current state, key issues, and future directions. **Array**. 8. <https://doi.org/10.1016/j.array.2020.100048>



## **2. ARTIGO 1: UMA VISÃO GERAL DO DESENVOLVIMENTO DA AGRICULTURA 4.0: REVISÃO SISTEMÁTICA DE DESCRIÇÕES, TECNOLOGIAS, BARREIRAS, VANTAGENS E DESVANTAGENS**

Uma versão em inglês similar a este artigo foi publicada na *Computers and Electronics in Agriculture* (Qualis A1; Fator de Impacto 2020: 6.757; <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106405>). Este artigo está entre os mais baixados do periódico (Link de acesso: <https://www.journals.elsevier.com/computers-and-electronics-in-agriculture/most-downloaded-articles>; Março/2023).

**Resumo:** A agricultura 4.0 atualiza os métodos tradicionais de produção e as estratégias agrícolas mundiais para uma cadeia de valor otimizada usando uma variedade de tecnologias emergentes que aprimoram soluções disruptivas em todas as etapas da cadeia de produção agrícola. Devido à complexidade do ecossistema agrícola em mudança, os benefícios da nova revolução tecnológica não serão compartilhados uniformemente. É necessário compreender os problemas e desafios que precisam ser enfrentados para que todos os países se beneficiem plenamente do potencial da agricultura 4.0. Este estudo visa contribuir para o desenvolvimento da agricultura 4.0 identificando suas descrições, tecnologias, barreiras, vantagens e desvantagens. Três pesquisadores independentes realizaram uma Revisão Sistemática da Literatura com base no protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão pré-estabelecidos nas bases de dados *Scopus*, *Science Direct* e *Web of Science*, 50 artigos foram selecionados para análise. Como resultado, foi possível identificar as descrições da agricultura 4.0, propor uma definição e apresentar uma compilação de abordagens relacionadas ao termo. Também foram pesquisadas as tecnologias da agricultura 4.0, responsáveis por revolucionar e impactar a forma como as *commodities* são produzidas, processadas, comercializadas e consumidas. Além disso, são elencadas as barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 e que limitam seu progresso. As barreiras foram classificadas em cinco dimensões: tecnológica, econômica, política, social e ambiental. Tratam-se de questões que precisam ser resolvidas em diferentes áreas para alcançar maior escala nos países que buscam implementar a agricultura 4.0. Por fim, os resultados deste estudo apoiam os atores da cadeia de produção agrícola e abrem caminho para o desenvolvimento bem-sucedido da agricultura 4.0. Além disso, a pesquisa ajuda a ampliar o debate inclusivo que pode moldar a introdução da agricultura 4.0.

**Palavras-chave:** Agricultura 4.0; Tecnologias; Barreiras; Revisão sistemática da literatura.

## 2.1. INTRODUÇÃO

À medida que a população mundial cresce (Lidicker, 2020; Tamburino et al., 2020), um dos principais desafios da agricultura é aumentar a produção de alimentos (Fu et al., 2020; Singh e Singh, 2020) com reduções significativas nos impactos ambientais (Pittelkow et al., 2014) e nas implicações socioeconômicas (Ofosu et al., 2020). A agricultura é um fator-chave no setor econômico para o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) na maioria dos países (Abioye et al., 2020). Quanto à participação na produtividade econômica mundial, a agricultura representa uma taxa de 6,4% e, em nove países, é o setor dominante (Pathan et al., 2020). Na Rússia, a agricultura cresceu mais do que o PIB desde 2012 (Uzunet al., 2020). Nos países emergentes, a agricultura pode ser a força motriz para melhorar o desempenho de suas economias nos próximos 50 anos (Mueller e Mueller, 2016; Gusarova, 2019). Para países com economias avançadas, a agricultura pode ser utilizada como uma ferramenta para alavancar sua participação no mercado internacional de *commodities* agrícolas (Veeck et al., 2020), transformando-os em importantes *players* do setor (Scown et al., 2020).

Porém, há uma redução de 3,3% na produção de grãos em toda a cadeia de valor (Minten et al., 2020). Uma parcela dos desperdícios na agricultura está relacionada à incidência de intempéries (Haile et al., 2019), maior tolerância de pragas, patógenos e ervas daninhas a pesticidas agrícolas (Leeuwen et al., 2020) e uso indevido de tecnologias (Baributsa e Njoroge, 2020; Bendinelli et al., 2020) na cadeia de produção agrícola (Ting et al., 2011). De acordo com Vågsholm et al. (2020), para atingir a máxima produtividade agrícola, é necessário desenvolver estratégias disruptivas nos sistemas de produção, que busquem mitigar perdas e desperdícios em toda a cadeia de produção agrícola (Leia et al., 2020). Os sistemas agrícolas convencionais guiados por processos devem ser transformados em sistemas mais inteligentes com base em dados disponibilizados por meio de uma gama de tecnologias emergentes (Lioutas et al., 2019).

Uma alternativa comumente adotada para maximizar a produtividade na agricultura são as tecnologias emergentes (Boursianis et al., 2020), como Inteligência Artificial (IA), *Big Data*, Internet das Coisas (IoT), drones e edição de genes (Rose et al., 2021). As tecnologias inteligentes na agricultura aumentam as receitas e reduzem os insumos necessários nos processos agrícolas (Rose et al., 2021). No entanto, as vantagens de desenvolver a nova revolução tecnológica na agricultura não serão compartilhadas uniformemente e precisam ser discutidas com cautela (Rose e Chilvers, 2018; Whitfield et al., 2018; Rose et al., 2021).

Para facilitar o desenvolvimento agrícola na transformação dos sistemas alimentares tradicionais a partir de conceitos e visões transformadoras como a agricultura 4.0 (Klerkx e Begemann, 2020; Liu et al., 2020), é importante entender as limitações e riscos que devem ser enfrentados para que todos os países se beneficiem do potencial da nova agricultura (Hinson et al., 2019). A quarta revolução agrícola, atualmente em construção (Rose et al., 2021), engloba um conjunto de problemas do ponto de vista tecnológico, socioeconômico e de gestão que exigem precauções (Jakku et al., 2019; Zambon et al., 2019; Klerkx e Rose, 2020).

Alguns estudos indicam tendências no desenvolvimento da agricultura 4.0 (Klerkx et al., 2019; Liu et al., 2020), reflexões sobre seu papel na transformação do desenvolvimento agrícola (Klerkx e Begemann, 2020), e informações sucintas sobre seus benefícios para as pessoas, a produção e o planeta (Rose et al., 2021). Porém, a pesquisa envolvendo a agricultura 4.0 geralmente se limita aos aspectos tecnológicos (Klerkx et al., 2019). Fornece uma infinidade de tecnologias sem apresentar métricas que definam como essas tecnologias impactam a cadeia de produção agrícola (Klerkx e Rose, 2020). Também há falta de uma definição clara de quais tecnologias estão incluídas no conceito de agricultura 4.0 na literatura, pois isso têm ocorrido em grande parte tacitamente (Klerkx e Rose, 2020). Além disso, faltam estudos que busquem explorar o desenvolvimento da teoria da agricultura 4.0. É necessário analisar os diferentes termos que estão sendo relacionados à agricultura 4.0 na literatura como *farming 4.0*, *smart farm*, *digital agriculture*, *industry 4.0 in the agriculture*, *fourth agricultural revolution*, e a evolução da agricultura de precisão, para estimular a discussão na área (Braun et al., 2018; Rose e Chilvers, 2018; Klerkx et al., 2019; Zambon et al., 2019). Este estudo visa contribuir para o desenvolvimento da agricultura 4.0 identificando suas descrições, tecnologias, barreiras, vantagens e desvantagens. A pesquisa amplia as discussões sobre as características da agricultura 4.0 e seus fatores inibidores. Além disso, o estudo apoia acadêmicos e profissionais da área que buscam desenvolver uma nova agricultura para o mundo. A principal questão de pesquisa deve ser respondida para nortear o objetivo do artigo: *quais aspectos contribuem para o desenvolvimento da agricultura 4.0?*

A principal contribuição teórica do artigo é identificar descrições, tecnologias, barreiras, vantagens e desvantagens em nível qualitativo e exploratório para análise e disseminação de informações sobre o desenvolvimento da agricultura 4.0 no contexto internacional. As proposições e reflexões levantadas no artigo também contribuem como subsídios para futuras pesquisas acadêmicas sobre a agricultura 4.0, as quais poderão dar continuidade ao presente estudo. Este artigo está estruturado em cinco seções distintas, além desta introdução inicial. A

seção 2.2. apresenta a abordagem metodológica adotada na pesquisa. A Seção 2.3. oferece uma análise bibliométrica e responde a questões de pesquisa relacionadas ao desenvolvimento da agricultura 4.0. A seção 2.4. esboça uma discussão sobre as questões de pesquisa e apresenta tendências e uma agenda de pesquisa para a agricultura 4.0. Por fim, a Seção 2.5. contém as conclusões do artigo, as limitações e propostas para estudos futuros.

## 2.2. METODOLOGIA DA PESQUISA

### 2.2.1. Revisão sistemática da literatura

Para contribuir com o desenvolvimento da agricultura 4.0 na literatura sobre descrições, tecnologias, barreiras, vantagens e desvantagens, falta selecionar, extrair, qualificar e quantificar dados de uma amostra de estudos publicados em revistas científicas. A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) é uma ferramenta utilizada para gerenciar a diversidade de conhecimento disponível para consulta, permitindo que os pesquisadores avaliem o estado da arte e especifiquem questões de pesquisa (Koutsos et al., 2019). Neste estudo, a metodologia da RSL foi escolhida devido à complexidade dos dados disponíveis na literatura, os quais não seriam possíveis de serem analisados por métodos qualitativos (como entrevistas semiestruturadas) ou quantitativos (como *survey*) referentes a estudos em locais específicos. O desenvolvimento de uma RSL aumenta a legitimidade e a confiabilidade dos resultados (Tranfield et al., 2003), fornecendo aos pesquisadores uma base confiável para formular opiniões e considerações futuras de pesquisa. A RSL deve ser transparente e responsável por promover diretrizes que ajudem a identificar contribuições essenciais para uma área de pesquisa específica (Denyer e Tranfield, 2009).

Mediante uma revisão por pares, a RSL ajuda a identificar lacunas que ainda não foram pesquisadas. Portanto, desempenha um papel crítico no avanço do conhecimento, destacando marcas de progresso ao longo das linhas de investigação (Hallinger, 2013). Houve um aumento no número de RSL publicados nos últimos anos com temáticas relacionadas ao setor agrícola. Atualmente é utilizada em larga escala em pesquisas na área da agricultura (Koutsos et al., 2019). A presente pesquisa de RSL desenvolvida no contexto da agricultura 4.0 sustentou-se no protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). O protocolo PRISMA foi utilizado para garantir uma revisão completa e transparente de documentos previamente publicados (Sargeant et al., 2006; Moher et al., 2010), que contribuem para ampliar o debate sobre a agricultura 4.0.

### 2.2.2. Questões de pesquisa, bancos de dados e palavras-chave

Para identificar os aspectos que envolvem a adoção da agricultura 4.0, foram formuladas quatro Questões de Pesquisa (QP), que buscam auxiliar na seleção dos artigos mais importantes para compor a pesquisa: QP1. Qual é a definição de agricultura 4.0?; QP2. Quais são as tecnologias atualmente utilizadas na agricultura 4.0?; QP3. Que barreiras dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0?; e QP4. Quais são as principais vantagens e desvantagens do desenvolvimento da agricultura 4.0?.

As buscas foram realizadas nas bases de dados *Science Direct*, *Web of Science* e *Scopus*. Essas bases de dados cobrem periódicos com impacto em diferentes áreas. Como o foco desta pesquisa é identificar estudos no contexto da agricultura 4.0, optou-se por seguir os passos de [Denyer e Tranfield \(2009\)](#). A estratégia de pesquisa utilizou um conjunto de palavras-chave com aspas (“”), para uma palavra composta, e aplicou os operadores booleanos *AND* e *OR*. Como estratégia de pesquisa, foi adotada uma única *string*: ((*Agriculture OR Agricultural*) *AND* (“*agriculture 4.0*” *OR* “*smart farm\**” *OR* “*industry 4.0*” *OR* “*farming 4.0*” *OR* “*digital agriculture*” *OR* “*fourth agricultural revolution*” *OR* “*precision agriculture*”)). A *string* foi aplicada nos campos de título, resumo e palavras-chave durante o processo de busca na base de dados. A *string* buscou contemplar todos os termos que estão presentes na origem da agricultura 4.0, com o objetivo de garantir uma abrangência e representatividade dos artigos científicos. Os termos da estratégia de busca foram selecionados após análise de cinco artigos que possuem relações com o tema da pesquisa por dois leitores independentes ([Wolfert et al., 2017](#); [Colezea et al., 2018](#); [Elijah et al., 2018](#); [Rose e Chilvers, 2018](#); [Muangprathub et al., 2019](#)), pois são estudos que realizaram revisões sobre o tema da agricultura 4.0. Optou-se por excluir os termos (“*barriers*” *OR* “*implementation difficulty*” *OR* “*limitation*”) da estratégia de busca por reduzirem o número de artigos e proporcionarem ausência de estudos importantes para compor a amostra final da RSL.

Quatro critérios foram considerados para excluir artigos resultantes de buscas em bases de dados: (i) artigos publicados depois de 21 de dezembro de 2020; (ii) livros e capítulos de livros, artigos de congressos e/ou conferências, pois são independentes e não incluem uma revisão por pares às cegas ([Paez, 2017](#)); (iii) artigos duplicados que aparecem em mais de uma base de dados; e (iv) artigos escritos em outros idiomas que não o inglês por ser o idioma utilizado na maioria das revistas científicas com alto fator de impacto ([Morrison et al., 2012](#)). Estes últimos estão indexados em grandes bases de dados ([Henshall, 2018](#)). Além disso, vale ressaltar que o termo *Internet of Things* neste estudo foi denominado *Agricultural Internet of*

*Things (AIoT)* devido à complexidade do termo utilizado em diversos estudos na Indústria 4.0 (Liu et al., 2020; Mukherjee et al., 2020; Symeonaki et al., 2020; Almadani e Mostafa, 2021).

### **2.2.3. Análise e seleção da amostra**

Os artigos foram baixados e posteriormente inseridos no software gerenciador de referências *Mendeley*<sup>®</sup>. As buscas nas bases de dados resultaram em uma plethora de 351 documentos, mediante o somatório da *Science Direct* (240), *Scopus* (74) e *Web of Science* (37). Com o uso do software, 52 artigos foram removidos por serem duplicados. Na etapa de triagem, a avaliação foi realizada por pares e de forma independente. No caso de dúvidas quanto à inclusão ou não de um determinado artigo, um terceiro leitor analisava as discordâncias para a tomada de decisão final. Assim, foram excluídos 100 artigos que se enquadravam segundo o critério (ii), sendo os arquivos identificados como capítulos de livros (28), congressos e/ou conferências (58), magazines (2) e apêndice e/ou lista de abreviações (12). Após a leitura dos títulos, resumos e palavras-chave, foram descartados outros 151 artigos que não apresentavam os termos definidos no protocolo de pesquisa (Denyer e Tranfield, 2009) e não tinham relações com o objetivo proposto. Quarenta e oito (48) artigos foram elegíveis. Mediante o uso do método *Snowball* (Biernacki e Waldorf, 1981), foram analisadas as referências dos 48 artigos triados anteriormente. Assim, outros 10 artigos foram identificados para compor a amostra final, sendo que estes pertenciam igualmente às bases de dados adotadas inicialmente. Os 58 artigos eleitos na pesquisa seguiram os critérios (i, ii, iii e iv) estabelecidos na [Seção 2.2.2](#). A [Tabela 2](#) exemplifica o protocolo de análise dos artigos da RSL.

Tabela 2 - Protocolo da RSL.

<b>Etapas da SLR</b>	<b>Informações Coletadas</b>	
Pesquisa no Banco de Dados e Seleção Preliminar	Ano	
	Autores	
	Título	
	Resumo	
Análise do Conteúdo	Palavras-chave	
	Título	<b>Grupo 1 (todas as respostas sim):</b>
	Palavras-chave	- Os objetivos do artigo são claros?
	Resumo	- Os objetivos do artigo envolvem agricultura 4.0 ou descrições correlatas?
	Objetivo	- O estudo é empírico ou de revisão?
	Metodologia	- O estudo mostra sua contribuição?
	País	- As principais conclusões do estudo são claras?
	Conclusão	
	Periódico Publicado	
	Questões de Pesquisa (QP)	<b>Grupo 2 (pelo menos uma resposta sim):</b> QP1 - O estudo apresenta a descrição da agricultura 4.0? QP2 - O estudo indica quais tecnologias são adotadas na agricultura 4.0? QP3 - O presente estudo apresenta barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0? QP4 - Quais são as vantagens e desvantagens de desenvolver a agricultura 4.0?
Extração de Dados	Descrições	
	Tecnologias	
	Barreiras	
	Vantagens	
	Desvantagens	
	Agenda de Pesquisa	

Para a etapa de elegibilidade do protocolo, foram utilizados dois grupos de perguntas para analisar o conteúdo dos 58 artigos. Primeiramente, foi realizada uma leitura parcial dos artigos, buscando responder positivamente a todas as questões do Grupo 1. Neste grupo, incentivou-se que os artigos da amostra fossem empíricos, que buscam avaliar o funcionamento de um fenômeno específico de forma aplicada (Powell e Butterfield, 1994; Del Val e Clara, 2003). Em segundo lugar, para selecionar o artigo e compor a amostra final da pesquisa, pelo menos uma das respostas do Grupo 2 deveria ser afirmativa. Após a utilização dos dois grupos de perguntas, 50 artigos foram incluídos nesta RSL, tendo seus resultados descritos na Seção 2.3. A Figura 2 apresenta o fluxo metodológico adotado na RSL a partir do uso do protocolo PRISMA (Moher et al., 2010) e facilita o entendimento dos passos adotados na pesquisa.

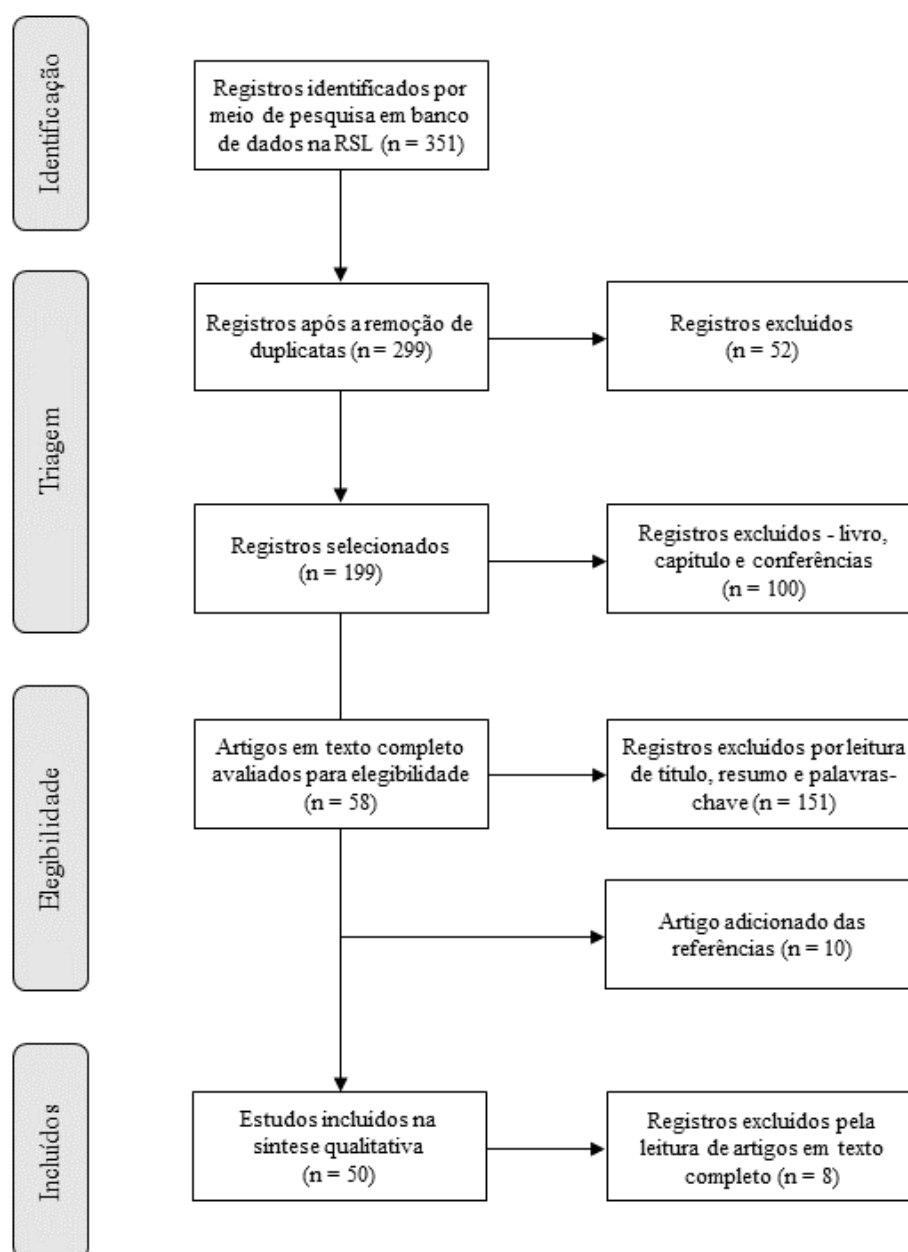


Figura 2 - Fluxo metodológico adotado na RSL de acordo com o protocolo PRISMA.

#### 2.2.4. Considerações sobre a qualidade dos artigos

Para avaliar a qualidade das revistas científicas dos 50 artigos selecionados na RSL, foi adotado o *Journal Impact Factor* (JIF) disponibilizado pela *In Cites Journal Citations Reports* (Ranjan, 2017). Suas métricas consideraram os dados coletados em 21 de dezembro de 2020. A base de dados completa da *Scopus* (compilada em 21 de dezembro de 2020) foi utilizada para mensurar as citações da produção científica selecionada. Foi utilizado o banco de dados da *Scopus* por ser multidisciplinar e possuir um poder normativo e significativo em pesquisas



científicas (Franceschini et al., 2016). As informações do JIF e das citações dos artigos da pesquisa estão expostas em sua amplitude no Apêndice A. Com base nesses dados, uma rede de relações entre termos e documentos da RSL foi construída pelo software de interface circular *Mandala Browser* (Gainor et al., 2009; Ruecker et al., 2015). O *Mandala Browser* (Brown et al., 2010) é uma ferramenta que permite analisar pesquisas científicas de forma interativa por meio da visualização do texto, disponibilizando questões diferenciadas de outros dispositivos de análise de conteúdo. O texto dos manuscritos da amostra estudada na RSL foi extraído para um arquivo *XML*, e a consulta booleana adotada no software foi: i) *Agriculture OR Agricultural*, ii) *Agriculture 4.0*, iii) *Smart Farm*, iv) *Industry 4.0* e v) *Internet of Things OR IoT*. Cada termo de pesquisa extrai documentos em sua direção conforme sua definição. Com base na frequência relativa da palavra, tornou-se possível desenvolver uma visualização conceitual de toda a RSL.

### 2.3. RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados da análise de conteúdo dos artigos selecionados na RSL. A seção 2.3.1. corresponde aos dados bibliométricos do estudo. Na sequência, estão as subseções que têm como objetivo responder às QP1, QP2, QP3 e QP4 da RSL.

#### 2.3.1. Análise bibliométrica

A Figura 3 apresenta o ano de publicação e a distribuição dos temas que são abordados nos 50 artigos selecionados na RSL. O primeiro artigo apresentando as relações entre os campos de pesquisa da *IoT* e *agriculture 4.0/smart farm* foi identificado em 2016. Houve um aumento total das publicações em 2019 (24) em relação ao ano de 2018 (12), assim como uma crescente interação entre os temas dos artigos.

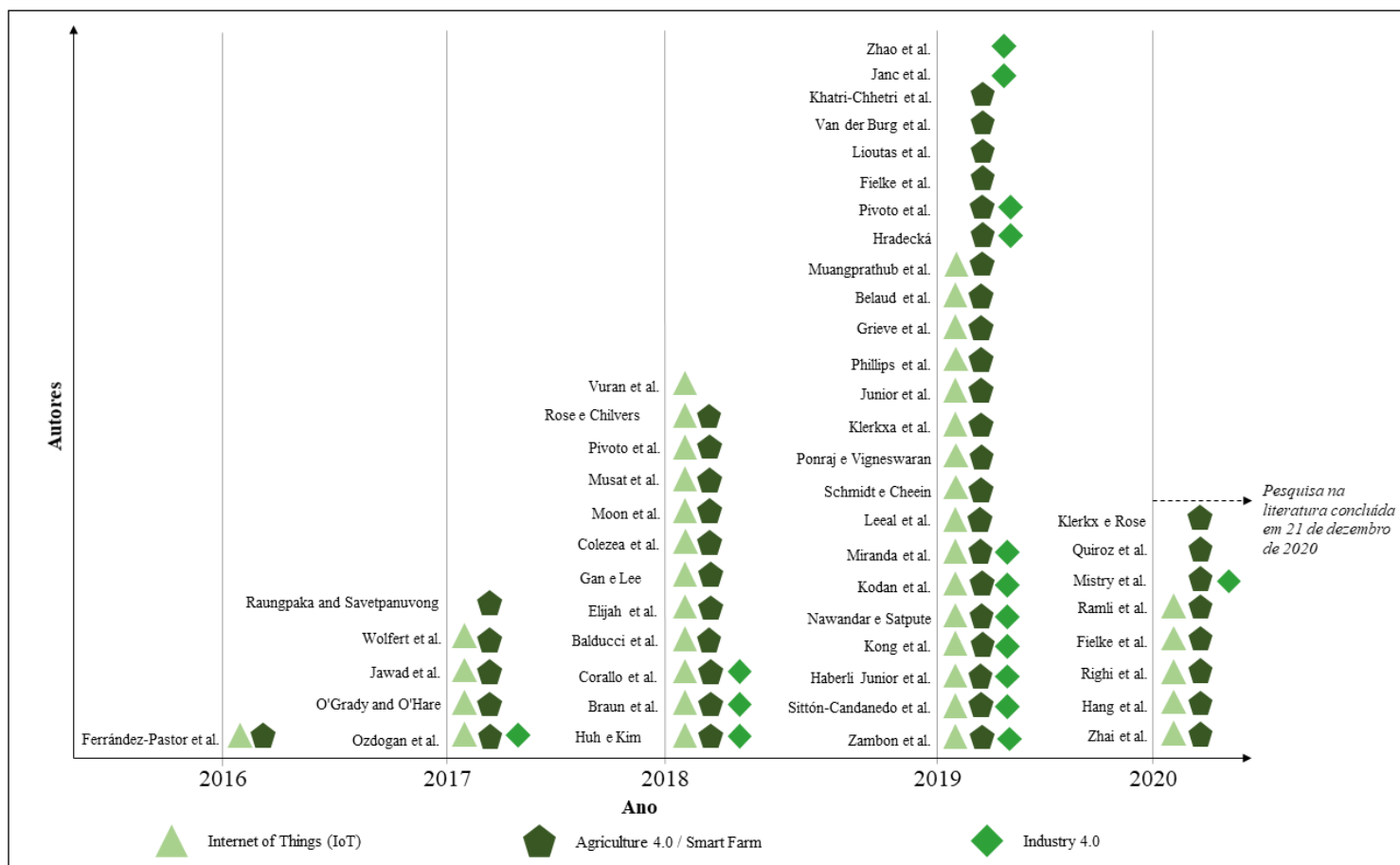


Figura 3 – Distribuição do ano de publicação e dos temas pesquisados nos artigos da RSL.

Os temas *agriculture 4.0/smart farm* foram identificados em 47 artigos da RSL. Os artigos do conjunto *agriculture 4.0/smart farm*, que não possuem interação com outros temas, totalizaram 7 casos. Nos outros 40 artigos do conjunto *agriculture 4.0/smart farm*, foram identificadas as seguintes interações de tema mistos: *agriculture 4.0/smart farm* e *IoT* (26), *agriculture 4.0/smart farm*, *IoT* e *industry 4.0* (11) e *agriculture 4.0/smart farm* e *industry 4.0* (3). A *industry 4.0* foi objeto de estudo em 2 artigos e a *IoT* em 1 pesquisa no contexto da agricultura.

A Tabela 3 exhibe o método de pesquisa adotado nos artigos da amostra. Foram definidas três categorias: 40% (revisão), 40% (qualitativo) e 20% (quantitativo). Cada categoria foi dividida em subcategorias para examinar suas abordagens quanto às metodologias empregadas. Cada estudo poderia aplicar mais de um método descrito, caracterizando-se como um método misto (*mixed-method*), o que ocorreu em mais de 35 artigos. Uma abordagem de método misto é considerada uma junção sequencial ou agrupamento de abordagens de revisão, qualitativas ou quantitativas (Venkatesh et al., 2013). Entre os artigos classificados como revisão, 100%

desenvolveram uma *Systematic Literature Review* ou *Literature Review* (por exemplo: O'Grady e O'Hare, 2017; Lee et al., 2019; Ponraj e Vigneswaran, 2019) como A, que foi o único método utilizado nas pesquisas ou em aplicações de métodos mistos (Venkatesh et al., 2013). Houve um avanço no uso de métodos mistos nos artigos em 2018 e 2019. Os indicadores dos métodos das subcategoria nos casos qualitativos foram 58,82% *Case Studies* (Braun et al., 2018; Gan e Lee, 2018; Nawandar e Satpute, 2019) como B; 14,71% *Frameworks* (por exemplo: Ferrández-Pastor et al., 2016; Corallo et al., 2018; Colezea et al., 2018) como C; 8,82% *Interviews* (por exemplo: Raungpaka e Savetpanuvong, 2017; Pivoto et al., 2018; Khatri-Chhetri et al., 2019) como D; e 17,65% *Descriptive Statistics* (por exemplo: Pivoto et al., 2018; Janc et al., 2019; Ponraj e Vigneswaran, 2019) como E. Dentre os estudos empíricos, o Brasil foi o país que mais se destacou por desenvolver pesquisas com diferentes metodologias (ou seja, Pivoto et al., 2018; Haberli Junior et al., 2019; Junior et al., 2019; Pivoto et al., 2019; Righi et al., 2020). Conforme os autores Souza et al. (2020), o Brasil pode ser o principal fornecedor de alimentos mundial, especialmente com relação à demanda que a Ásia necessita. Por isso, a importância de avaliar e compreender a evolução da agricultura brasileira (Souza et al., 2020). Para os artigos que se caracterizam como quantitativos, 47,07% *Machine Learning* (ou seja, Balducci et al., 2018; Quiroz e Alférez, 2020; Ramli et al., 2020) como F; 17,65% *Survey* (ou seja, Janc et al., 2019; Junior et al., 2019; Pivoto et al., 2019) como G; e 35,29% *Structural Equation Modelling* (Haberli Junior et al., 2019), *Life Cycle Assessment* (Beaud et al., 2019), *Forecasting* (Huh e Kim, 2018), *Regression* (Moon et al., 2018) e *Decision Tree* (Balducci et al., 2018; Moon et al., 2018) como H foram identificados.

Tabela 3 – Método de pesquisa adotado nos artigos da RSL.

Ano	n*	Método								
		Revisão	Qualitativo					Quantitativo		
		A	B	C	D	E	F	G	H	
2016	1	1	1	1						
2017	5	3	2		1					
2018	12	6	4	2	1	1	2		1	
2019	24	16	8	1	1	4	4	3	5	
2020	8	8	5	1		1	2			
<b>Total</b>	50	34	20	5	3	6	8	3	6	
	<b>100%</b>	<b>40%</b>	<b>40%</b>					<b>20%</b>		

**Nota:** \*n= Amostra de estudos. A = *Systematic Literature Review* ou *Literature Review*; B = *Case Study*; C = *Framework*; D = *Interviews*; E = *Descriptive Statistics*; F = *Machine Learning*; G = *Survey*; H = *Structural Equation Modelling*, *Life Cycle Assessment*, *Forecasting*, *Artificial Neural Networks*, *Regression* ou *Decision Tree*.

A saturação de cores na [Tabela 3](#) destaca o método de revisão, pois foi utilizado em 16 artigos em 2019. Em 2020 o método de revisão foi adotado nos oito artigos selecionados na RSL. A ferramenta de pesquisa de revisão utilizada em 40% dos artigos da amostra, é uma alternativa de mecanismo que busca reduzir as lacunas e restrições na agricultura 4.0 por meio de evidências identificadas em estudos científicos que proporcionam uma visão geral e confiável do tema em discussão. Os resultados apresentados na [Tabela 3](#) podem indicar a necessidade de uma abordagem mista em pesquisas, que considerem os aspectos quantitativos e qualitativos nas investigações relacionadas à agricultura 4.0.

A [Figura 4](#) apresenta um gráfico das publicações da agricultura 4.0 no mundo. O desenvolvimento do mapa considerou o país de todos os autores e/ou coautores que desenvolveram os artigos da amostra da RSL. Esses dados ajudam a entender as relações de colaboração entre os pesquisadores dos diferentes países que estão promovendo o desenvolvimento da pesquisa científica em agricultura 4.0 ([Fan et al., 2020](#)). A distribuição geográfica das publicações foi concentrada principalmente nos países dos continentes Europeu (30) e Asiático (22).



**Figura 4** – Gráfico sobre publicações científicas da agricultura 4.0 no mundo.

Não foram identificadas publicações científicas sobre agricultura 4.0 em países da África. A ausência de pesquisas no continente africano que considerem em seu escopo a agricultura 4.0 é um achado importante, pois os governos devem destinar de pelo menos 1% de seu PIB à pesquisa agrícola, de acordo com os requisitos estabelecidos na meta de acompanhamento da Nova Parceria da União Africana para o Desenvolvimento da África (Gaffney et al., 2019). O país que apresentou o maior número de publicações da amostra foi a Coreia do Sul (6), que disponibiliza grandes recursos financeiros para melhorar o desenvolvimento do setor agrícola e implementar tecnologias mais avançadas (Jha et al., 2019). Embora a Coreia do Sul tenha uma pequena quantidade de terras agriculturáveis, o país se destaca por possuir importantes centros de pesquisa e desenvolvimento tecnológico e grandes *players* da indústria eletrônica e de informática que favorecem um ambiente inovador (Pivoto et al., 2018) para desenvolver tecnologias da agricultura 4.0.

A Figura 5 apresenta uma visualização conceitual das relações entre os termos e documentos que foram selecionados na RSL. A exibição resultante do uso da ferramenta *Mandala Browser*, mostra diferentes conjuntos e subconjuntos de pontos sobre os termos que foram pré-estabelecidos anteriormente (seção 2.2.4.). O conjunto que foi responsável pelo maior número de correspondências únicas foi o *Agriculture “OR” Agricultural* (243). As maiores relações desenvolvidas nos subconjuntos foram entre *Agriculture “OR” Agricultural* e *Agriculture 4.0* (248); *Agriculture “OR” Agricultural*, *Agriculture 4.0* e *Smart Farm* (149); e *Agriculture “OR” Agricultural* e *Smart Farm* (102). Isso pode ser analisado nos rótulos dos ímãs. A abrangência nas correspondências únicas dos artigos da amostra foi menor no termo *Agriculture 4.0* (27) se comparado com o *Smart Farm* (150). Porém, as correspondências totais são maiores na *Agriculture 4.0* (545) se confrontado com o *Smart Farm* (519). Além disso, as linhas de conexão que indicam as relações entre os ímãs, por meio dos subconjuntos, estão segmentadas em 13 casos na *Agriculture 4.0* e em 11 casos no *Smart Farm*. Por isso, o termo *Smart Farm* aparece em uma amplitude maior se forem desconsideradas as relações com os demais subconjuntos. Ao contrário da *Agriculture 4.0* que possui um impacto maior caso sejam considerados os subconjuntos.

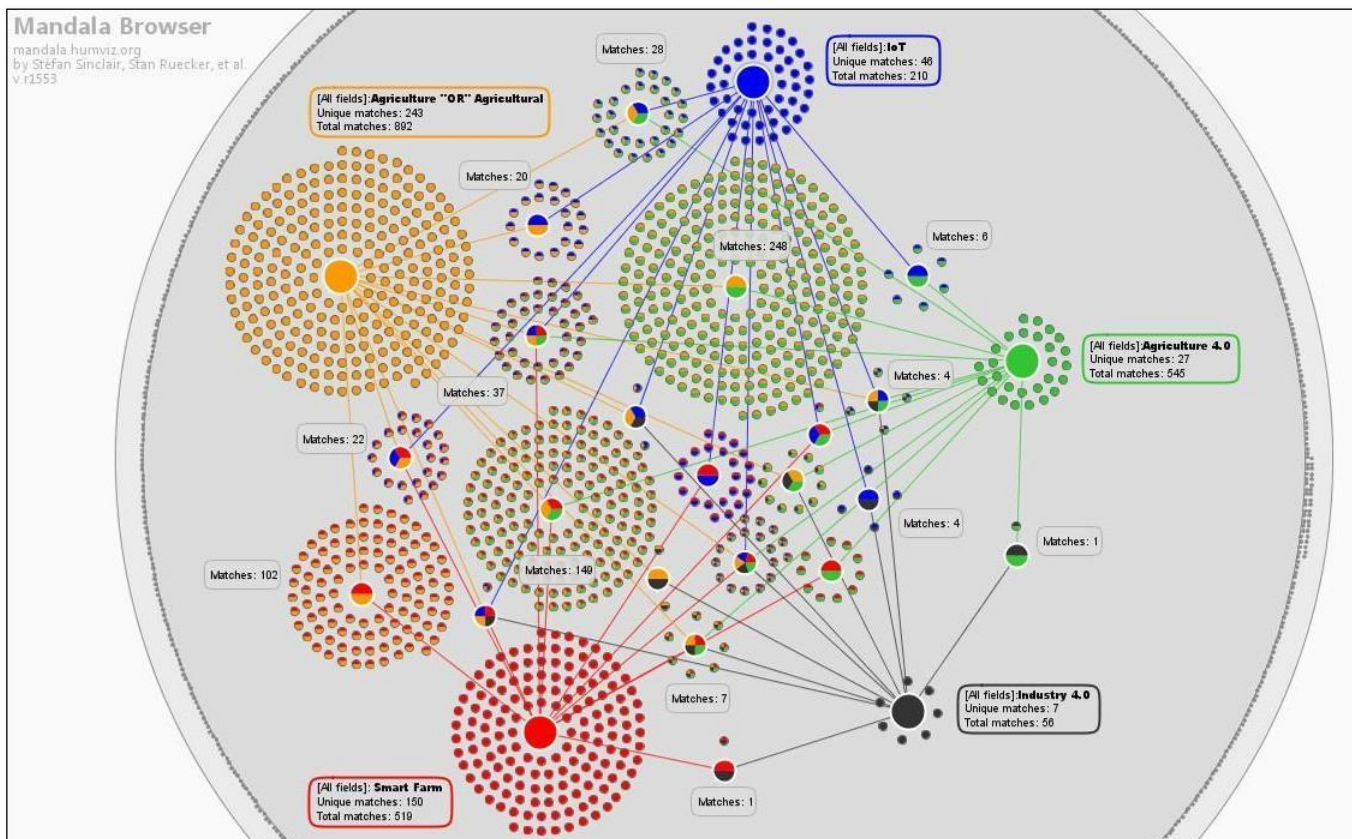


Figura 5 – Visualização conceitual desenvolvida pelo software *Mandala Browser* das interações entre os termos pré-estabelecidos nos artigos da RSL.

As interações entre os termos pré-estabelecidos proporcionaram o desenvolvimento de 18 subconjuntos que possuem suas particularidades. O subconjunto formado pelos termos (*Agriculture “OR” Agricultural*, *Agriculture 4.0*, *Industry 4.0*, *Smart Farm* e *IoT*) apresentou um número de correspondência total (17). Porém, foi menor que a correspondência total (37) em termos como (*IoT*, *Smart Farm*, *Agriculture 4.0* e *Agriculture “OR” Agricultural*). No caso do subconjunto (*IoT*, *Agriculture 4.0* e *Agriculture “OR” Agricultural*) o número de correspondência total (28) foi mais significativo do que o subconjunto (*IoT*, *Smart Farm* e *Agriculture “OR” Agricultural*) com número de correspondência total (22). Os menores subconjuntos são aqueles relacionados com o termo *Industry 4.0*: (*Industry 4.0* e *Agriculture “OR” Agricultural*) com número de correspondência total (2), (*Industry 4.0* e *Agriculture 4.0*) com número de correspondência total (1) e (*Industry 4.0* e *Smart Farm*) com número de correspondência total (1).

Os atores envolvidos no desenvolvimento da agricultura 4.0 foram identificados, pois influenciam na disseminação do novo sistema tecnológico (Maria et al., 2021) da cadeia de produção agrícola. A Tabela 4 apresenta os atores da amostra estudada. Nove tipos diferentes

de atores foram identificados, classificados de acordo com sua frequência nos estudos primários. Os nomes das categorias dos atores foram desenvolvidos a partir da análise de conteúdo seguindo os passos sugeridos por [Elo e Kyngäs \(2008\)](#), como codificação aberta, categorização e abstração nos artigos selecionados na RSL.

**Tabela 4** - Atores no desenvolvimento da agricultura 4.0 conforme a RSL.

ID	Autores (s)	Ano	Categorias dos Atores											
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9			
1	<a href="#">Ferrández-Pastor et al.</a>	2016	X											
2	<a href="#">Jawad et al.</a>	2017	X		X									
3	<a href="#">O'Grady e O'Hare</a>	2017	X											
4	<a href="#">Ozdogan et al.</a>	2017	X		X									
5	<a href="#">Raungpaka e Savetpanuvong</a>	2017	X		X									
6	<a href="#">Wolfert et al.</a>	2017	X		X			X						X
7	<a href="#">Balducci et al.</a>	2018	X	X										
8	<a href="#">Braun et al.</a>	2018				X		X						
9	<a href="#">Colezea et al.</a>	2018	X		X									
10	<a href="#">Corallo et al.</a>	2018	X	X				X		X				
11	<a href="#">Elijah et al.</a>	2018	X	X										
12	<a href="#">Gan e Lee</a>	2018	X											
13	<a href="#">Huh e Kim</a>	2018	X											
14	<a href="#">Moon et al.</a>	2018	X											
15	<a href="#">Musat et al.</a>	2018	X											
16	<a href="#">Pivoto et al.</a>	2018	X											
17	<a href="#">Rose e Chilvers</a>	2018	X						X	X				
18	<a href="#">Vuran et al.</a>	2018	X	X								X	X	
19	<a href="#">Belaud et al.</a>	2019	X			X	X							
20	<a href="#">Fielke et al.</a>	2019	X											
21	<a href="#">Grieve et al.</a>	2019	X											
22	<a href="#">Haberli Junior et al.</a>	2019	X			X								
23	<a href="#">Hradecká</a>	2019	X			X	X							
24	<a href="#">Janc et al.</a>	2019	X											
25	<a href="#">Junior et al.</a>	2019	X											
26	<a href="#">Khatri-Chhetri et al.</a>	2019		X	X									X
27	<a href="#">Klerkx, et al.</a>	2019	X	X	X									
28	<a href="#">Kodan et al.</a>	2019	X	X					X					
29	<a href="#">Kong et al.</a>	2019	X											
30	<a href="#">Lee et al.</a>	2019	X											
31	<a href="#">Lioutas et al.</a>	2019	X	X	X	X			X	X				
32	<a href="#">Miranda et al.</a>	2019	X									X		
33	<a href="#">Muangprathub et al.</a>	2019	X											
34	<a href="#">Nawandar e Satpute</a>	2019	X											
35	<a href="#">Phillips et al.</a>	2019	X					X						
36	<a href="#">Pivoto et al.</a>	2019	X											
37	<a href="#">Ponraj e Vigneswaran</a>	2019	X											
38	<a href="#">Schmidt e Cheein</a>	2019	X											
39	<a href="#">Sittón-Candanedo et al.</a>	2019	X		X									
40	<a href="#">Van der Burg et al.</a>	2019	X	X					X					
41	<a href="#">Zambon et al.</a>	2019	X							X				
42	<a href="#">Zhao et al.</a>	2019										X		
43	<a href="#">Fielke et al.</a>	2020	X	X										
44	<a href="#">Hang et al.</a>	2020	X											
45	<a href="#">Klerkx e Rose</a>	2020	X	X	X									

46	Mistry et al.	2020	X			X				
47	Quiroz et al.	2020	X							
48	Ramli et al.	2020	X							
49	Righi et al.	2020	X							
50	Zhai et al.	2020	X							
Total		<i>n</i> *	45	11	10	6	5	5	4	3
		%	90	22	20	12	10	10	8	6

**Nota:** \**n* = Amostra de estudos. A1 - Agricultor; A2 - Governo; A3 - Universidades e Serviços de Extensão; A4 - Gestão da Cadeia de Suprimentos na Agricultura; A5 - Fabricantes de Máquinas e Equipamentos Agrícolas; A6 - Cliente; A7 - Atacadistas e Varejistas; A8 - Fabricantes de Produtos Alimentícios; A9 - Crédito Agrícola.

A maior incidência foi encontrada na amostra da pesquisa por atores preocupados com o *agricultor* (45). Em seguida estão os seguintes atores: *governo* (11), *universidades e serviços de extensão* (10) e *gestão da cadeia de suprimentos na agricultura* (6). Um estudo se destacou por contemplar seis tipos de atores (A1, A2, A3, A4, A6 e A7). O objetivo do estudo foi analisar as questões-chave dos sistemas agrícolas inteligentes (Lioutas et al., 2019). Outros três artigos envolveram quatro tipos diferentes de atores. Uma das pesquisas procurou identificar os desafios socioeconômicos a serem enfrentados por aplicativos de *big data* e *smart farming* (A1, A3, A5 e A9) (Wolfert et al., 2017). Outro estudo concebeu um *framework* para gerenciar dados com base na análise do modelo de negócios e procedimentos relacionados aos negócios na cadeia de abastecimento agrícola e alimentar (A1, A2, A5 e A7) (Corallo et al., 2018). O terceiro estudo revisou arquiteturas de comunicação, tecnologias de detecção subjacentes e mecanismos de comunicação para a IoT em fazendas (A1, A2, A8 e A9) (Vuran et al., 2018). Os demais artigos da Tabela 4 possuem no máximo três atores, o que indica que há espaço para o desenvolvimento da agricultura 4.0 (Maria et al., 2021) na cadeia de produção agrícola.

### 2.3.2. QP1 – Descrições da agricultura 4.0

Após análise do conteúdo dos artigos selecionados na RSL, foram identificados 29 estudos que apresentam abordagens correlatas com o conceito de agricultura 4.0 e sete artigos que tratam exclusivamente de sua descrição. Os autores Klerkx et al. (2019) sustentam que as abordagens do tipo *smart farm*, *precision agriculture* e *agriculture 4.0* têm o mesmo significado. Alguns autores definiram *smart farm* como a adoção de tecnologias digitais e/ou de informação e comunicação na gestão de fazendas (por exemplo: O'Grady e O'Hare, 2017; Pivoto et al., 2019; Fielke et al., 2020) para monitoramento de diferentes parâmetros (Balducci et al., 2018; Balducci et al., 2018) a partir da coleta de um conjunto de dados (Colezea et al., 2018; Lioutas et al., 2019; Van der Burg et al., 2019). Com o uso dos dados, é possível viabilizar uma maximização no cultivo de safras (Lee et al., 2019; Nawandar e Satpute, 2019) com



potenciais nos rendimentos das colheitas – eficiência operacional (Elijah et al., 2018), redução de custos de produção, eliminação no uso de pesticidas e de fertilizantes não essenciais (Wolfert et al., 2017; Moon et al., 2018; Quiroz e Alférez, 2020).

Outros termos são usados na literatura da agricultura 4.0: *precision agriculture*, *digital agriculture*, *smart agriculture*, *autonomous agricultural robots*, *smart factories*, *agri artificial intelligence*, e *agri-food 4.0*. Alguns autores definiram a *precision agriculture* como uma estratégia de gestão agrícola que utiliza sensores, dados e redes de comunicação nos sistemas de cultivo (Ferrández-Pastor et al., 2016; Jawad et al., 2017; Hang et al., 2020) para aumentar o seu rendimento e reduzir as suas perdas (Ponraj e Vigneswaran, 2019). A abordagem da *digital agriculture* foi definida pelos autores Phillips et al. (2019) como a implementação de uma gama de novos hardwares, softwares, aplicativos móveis, tecnologias que envolvem sensores e aplicativos de *big data* na fazenda. Fielke et al. (2019) acrescentam ao termo a importância do desenvolvimento, adoção e iteração entre as tecnologias digitais na busca do gerenciamento ideal para as fazendas. Os autores Ozdogan et al. (2017) adicionam que é necessário adotar novas tecnologias digitais para ser rentável na *digital agriculture* e, assim, fomentar uma cadeia de produção agrícola sustentável.

*Smart agriculture* é um termo definido como a implementação de tecnologias modernas de informação e comunicação (IoT, GPS, *big data*) em fazendas por agricultores que buscam melhorar a qualidade e aumentar a produtividade dos produtos agrícolas (Janc et al., 2019; Mistry et al., 2020). De acordo com Mistry et al. (2020), a descrição do termo inclui dados de temperatura, luz e umidade do solo em um sistema de controle central da fazenda, que aplica algoritmos de Inteligência Artificial (IA), para auxiliar os agricultores a gerenciar os sistemas produtivos. Outra abordagem definida pelos autores da RSL foi o *smart factories*, que trata da interação entre produtos e serviços conectados à internet (Corallo et al., 2018).

Os autores Gan e Lee (2018) definiram *autonomous agricultural robots* como uma navegação autônoma por robôs sem intervenção humana, que proporciona informações precisas para o auxílio no desenvolvimento das operações agriculturáveis. Incrementar robôs autônomos na agricultura é um passo importante para o desenvolvimento de futuras *smart farms* (Gan e Lee, 2018). Por outro lado, a *agricultural robotization* foi definida como a introdução de robôs na agricultura e na indústria alimentícia por ser totalmente automatizada, eficiente e economicamente vantajosa (Hradecká, 2019). Além disso, a descrição da *agricultural robotization* está relacionada a análises dos resultados do sistema produtivo por robôs que

podem realizar auditorias internas do fluxo de caixa operacional, visando eliminar furtos e corrupção nas vendas e compras pelos departamentos da indústria (Hradecká, 2019).

A abordagem de *Agri Artificial Intelligence* foi definida como o uso de sistemas agrícolas inteligentes que incorporam IA para processar dados de fontes com variabilidade, como pragas naturais, patógenos e ervas daninhas devido às mudanças climáticas (Grieve et al., 2019). A *climate-smart agriculture* é definida como o uso de tecnologias digitais que buscam reduzir os Gases de Efeito Estufa (GEE) nas atividades agrícolas (Khatri-Chhetri et al., 2019). Para Miranda et al. (2019), o termo *agri-food 4.0* pode ser definido como a nova era da produção agroalimentar que utiliza automação, conectividade, digitalização, energias renováveis e o uso adequado de recursos. Apesar das descrições supracitadas, um termo recente que está sendo pesquisado é a agricultura 4.0, em que uma descrição do termo foi anteriormente negligenciada por outros autores (Kodan et al., 2019; Phillips et al., 2019; Zhao et al., 2019) e sugerido por Sponchioni et al. (2019) o desenvolvimento de novas descrições do termo. A Tabela 5 apresenta uma síntese das descrições da agricultura 4.0 que foram identificadas na RSL.

Tabela 5 – Síntese das descrições da agricultura 4.0.

ID (Table 4)	Autores	Ano	Descrições da agricultura 4.0	Termos adotados nas descrições
13	Huh e Kim	(2018, p.5)	“Supported by future technologies and environmental concerns, agriculture 4.0 pursues eco-friendly but more efficient farming methods, which satisfy the requirements of the value chain as well as the demands of society, and especially those of consumers.”	Environmental concerns, agriculture 4.0, efficient, value chain
17	Rose e Chilvers	(2018, p.2)	“Agriculture 4.0 is the adoption of emerging technologies, such as IoT, based on cloud, robotics, and artificial intelligence.”	Agriculture 4.0, emerging technologies
27	Klerkx et al.	(2019, p.2)	“Agriculture 4.0 implies that management tasks on-farm and off-farm (in the broader value chain and food system) focus on different sorts of data (on location, weather, behavior, phytosanitary status, consumption, energy use, prices, and economic information, etc.), using sensors, machines, drones, and satellites to monitor animals, soil, water, plants, and humans.”	Agriculture 4.0, management tasks on-farm and off-farm
29	Kong et al.	(2019, p.2)	“Based on digital technologies and data advances (IoT, sensor data, and remote sensing technologies), agriculture 4.0 has the potential to enhance precision agriculture. Besides, it can also improve the agricultural system's responsive performance with accurate decision making in response to operational uncertainties and real-time data updates.”	Agriculture 4.0, accurate decision making, operational uncertainties, real-time data updates
41	Zambon et al.	(2019, p.5)	“Agriculture 4.0, like industry 4.0, stands for the combined internal and external interacting of farming operations, offering digital information at all farm sectors and processes.”	Agriculture 4.0, digital information
45	Klerkx e Rose	(2020, p.1)	“Agriculture 4.0 comprises different already operational or developing technologies such as robotics, nanotechnology, synthetic protein, cellular agriculture, gene-editing technology, artificial intelligence, blockchain, and machine learning.”	Agriculture 4.0, emerging technologies

*“Nowadays, the evolution of agriculture steps into Agriculture 4.0, thanks to the employment of current technologies like the Internet of Things, Big Data, Artificial Intelligence, Cloud Computing, Remote Sensing, etc. The applications of these technologies can improve the efficiency of agricultural activities significantly.”*

*Agriculture 4.0, employment of current technologies, efficiency*

Kong et al. (2019) afirmam que a agricultura 4.0 tem o potencial de aprimorar o conceito de *precision agriculture* em resposta às incertezas operacionais e atualizações de dados em tempo real. Por outro lado, Huh e Kim (2018) mostram que a agricultura 4.0 não é apenas o uso de tecnologias emergentes para a operação e gestão dos cultivos agrícolas, mas uma nova cultura que está se desenvolvendo para encorajar os agricultores a atualizar seus métodos de produção e suas estratégias para uma cadeia de valor otimizada. Além disso, a definição de agricultura 4.0 também está relacionada a quatro requisitos essenciais: crescimento da produtividade, alocação correta de recursos, redução do desperdício de alimentos e adaptação às mudanças climáticas (Zhai et al., 2020). Os autores Rose e Chilvers (2018) reforçam que a agricultura 4.0 também pode proporcionar potenciais custos ambientais, éticos e sociais na cadeia agrícola.

Além das mudanças na agricultura tradicional (Huh e Kim, 2018), alguns artigos descrevem a agricultura 4.0 por meio da adoção e interação de tecnologias digitais no setor agrícola (Fielke et al., 2019; Phillips et al., 2019). A definição da quarta revolução agrícola também está de acordo com os princípios da indústria 4.0, que visam aumentar a quantidade de dados coletados e usados, melhorar a conexão entre dispositivos e a desenvolver ambientes adequados para o processamento de dados nas fazendas (Braun et al., 2018; Belaud et al., 2019). A relação entre os termos agricultura 4.0 e indústria 4.0 foi levantada por Liu et al. (2020), que revisou a situação atual da agricultura e as lições aprendidas com as revoluções industriais. Os autores Zambon et al. (2019) complementam que a agricultura 4.0 é um conceito que representa uma grande oportunidade para considerar a variabilidade e incertezas que estão presentes na cadeia produtiva agroalimentar. Outra característica conceitual da agricultura 4.0 é a capacidade de identificar e mitigar os efeitos imprevisíveis das variações climáticas no curto prazo, a partir de um pacote integrado de intervenções que deve considerar os cenários agrícolas anteriormente elencados. Com base nas diferentes situações climáticas documentadas, os agricultores se beneficiam da sabedoria acumulada para monitorar e otimizar a gestão da fazenda (Grieve et al., 2019).

A definição de agricultura 4.0 tem sido referida como *agriculture numérique* na França (Klerkx et al., 2019), *digital agriculture* na Austrália e na Nova Zelândia ou como *smart farming* em muitos países da União Europeia (Fielke et al., 2019). Porém, para Zambon et al. (2019) o conceito de agricultura 4.0 deve seguir os exemplos da evolução nas indústrias da Europa e o próximo passo deve ser a agricultura 5.0. A agricultura 5.0 pode ser compreendida como o atendimento de sistemas autônomos em ambientes rurais através da robótica e da IA (Zambon et al., 2019). No entanto, o termo agricultura 4.0 ainda é vago e mal definido (Klerkx et al., 2019; Klerkx e Rose, 2020; Zhai et al., 2020), pois tem aplicação prática limitada e suas lentes teóricas estão em desenvolvimento (Zambon et al., 2019).

### **2.3.3. QP2 – Tecnologias da agricultura 4.0**

Para que a agricultura alcance o impacto desejado na quantidade e qualidade da produção de alimentos, é necessário ter conhecimento do uso das tecnologias emergentes (Boursianis et al., 2020; Singh e Singh, 2020; Rose et al., 2021) para cada momento da cadeia de produção agrícola. A RSL permitiu identificar as principais tecnologias que estão sendo incorporadas atualmente na agricultura 4.0 para detectar problemas no plantio, identificar áreas afetadas por pragas, indicar tratamentos adequados, entre outros benefícios. A Tabela 6 apresenta as tecnologias da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola. As etapas e processos propostos por Ting et al. (2011) foram adotados, os quais dividem o sistema agrícola em subprocessos interconectados. A Tabela 6 expõe uma visão ampla das tecnologias que sustentam a disseminação da agricultura 4.0 e que podem revolucionar e impactar a forma como as *commodities* são produzidas, processadas, comercializadas e consumidas (Klerkx e Rose, 2020). Os autores Klerkx et al. (2019) mantêm a importância de investigar as direções das tecnologias emergentes na cadeia de produção agrícola. Rose e Chilvers (2018) acrescentam que falta desenvolver uma estrutura mais abrangente para as tecnologias emergentes proporcionarem benefícios na agricultura, pois há um risco de não corresponderem às expectativas da sociedade quanto à produção sustentável de alimentos.

Tabela 6 - Visão ampla das tecnologias da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola.

Estado do Campo	Processos da Cadeia	Technologies of Agriculture 4.0		ID (Tabela 3)
		Tecnologias Consolidadas	Tecnologias Emergentes	
Pré-Campo	Desenvolvimento Genético	<i>ERP, chemistry, genetics, nanotechnology</i>	<i>AIoT, next-generation genomics, responsive effector systems, and novel materials, AI, synthetic protein, cellular agriculture, gene-editing technology, biometric sensing, genotype information</i>	[6, 13, 17, 21, 25, 35, 45]
	Desenvolvimento de Sementes	<i>ERP</i>	<i>AIoT, FMIS, ISV, sensing technologies, 3D food printing, IoUT, digital twins, USN, CNN</i>	[1, 13, 18, 21, 25-28, 41, 45, 47]
Em-Campo	Plantio	<i>geoinformatics, new hardware, software, ERP, HDFS, LoRa</i>	<i>AIoT, cloud computing, mobile and autonomous robot, UAV, 5G, electrical agricultural machinery, RTK, AI, big data, blockchain, mobile apps, sensor technologies, sensing technologies, models for the individual farm, WoT, data mining, virtual reality, augmented reality, cybersecurity, intruder detection system, smart irrigation, smartphone in field crops, short message service, real-time monitoring, machine learning, cloud robotics, neural network, intelligent greenhouse, sun tracker trajectory, energy generation, decision ontologies, WSNs, IoUT, mobile sinks, USN, WCT</i>	[1-4, 6-9, 11-14, 16-18, 20, 21, 24, 28, 30-32, 34-38, 41, 43, 45, 46, 48, 50]
	Colheita	<i>geoinformatics, ERP, HDFS, new hardware and software, WSNs</i>	<i>AIoT, cloud computing, mobile and autonomous robot, UAV, 5G, electrical agricultural machinery, big data, RTK, AI, cybersecurity, mobile apps, sensor technologies, sensing technologies, models for the individual farm, intelligent software algorithms and robots, WoT, data mining, machine learning</i>	[2-4, 6-9, 11, 12, 14, 15, 17, 21, 22, 24, 29, 31, 35-38, 40, 41, 43, 46, 50]
Pós-Campo	Distribuição	<i>ICT, RFID, NFC, geoinformatics, WSNs</i>	<i>AIoT, blockchain, cloud computing, big data, AI, IS, DLT, robotization of internal audit, traceability</i>	[10, 11, 19, 22, 23, 28, 33, 41, 42, 46]
	Processamento	<i>ICT, RFID, modeling, edge computing, NFC, WSNs</i>	<i>AIoT, blockchain, cloud computing, big data, AI, IS, DLT, mobile and autonomous robot, cybersecurity, feed intake, data analytics algorithms, machine learning, intelligent software algorithms, and robots, mooCare, forecasting engine, hyper ledger fabric</i>	[3, 8, 10, 11, 19, 39-42, 44, 46, 47, 49, 50]
	Consumidor	<i>ICT, RFID, NFC</i>	<i>AIoT, blockchain, cloud computing, big data, AI, IS, cybersecurity, 3D food printing</i>	[6, 10, 13, 19, 27, 28, 40-42, 45, 50]

**Nota:** AIoT- Agricultural Internet of Things. AI - Artificial Intelligence. CNN - Convolutional Neural Network. DLT - Distributed Ledger Technologies. ERP - Enterprise Resource Planning. FMIS - Farm Management Information System. Geoinformatics - RS, GIS, and GPS. HDFS - Hadoop Distributed File System. ICT - Information and Communication Technology. IoUT - Internet of Underground Things. IS - Internet of Services. ISV - Improved Seed Varieties. LoRa - Long Range radio. NFC - Near Field Communication. RFID - Radio Frequency Identification. RTK - Real Time Kinematics. UAV - Unmanned Aerial Vehicle (drone). USN - Ubiquitous Sensor Networks. WCT - Wireless Communication Technology. WoT - Web of Things. WSNs - Wireless Sensor Networks.

Para auxiliar no entendimento da estrutura proposta na [Tabela 6](#), que busca adequar as tecnologias emergentes aos contextos específicos da agricultura, serão discutidos os Estados do Campo. As informações sobre cada etapa da cadeia de produção agrícola ajudam a ampliar o debate inclusivo e que podem moldar a introdução da agricultura 4.0 ([Rose e Chilvers, 2018](#)).

*Pré-Campo:* É a etapa que corresponde aos processos realizados antes do plantio no campo, ou seja, antes da porteira ([Ting et al., 2011](#)). O primeiro processo da cadeia refere-se ao desenvolvimento genético, que utiliza um conjunto de tecnologias para melhorar características específicas da semente, como por exemplo a edição de genes ([Klerkx e Rose, 2020](#)), que pode aumentar a resistência a determinadas ervas daninhas e tolerância a herbicidas ([Leeuwen et al., 2020](#)). Na sequência está o processo de desenvolvimento de sementes, que é a performance do potencial genético de uma cultura agrícola para o agricultor ([Sivasankar et al., 2020](#)). Uma das tecnologias da agricultura 4.0 ([Tabela 6](#)) que está sendo adotada para gerenciar dados do solo para o desenvolvimento de sementes é a *IoUT*, pois fornece recursos de monitoramento (umidade do solo, salinidade e temperatura) e informações fora do campo para os agricultores e mecanismos de decisão ([Vuran et al., 2018](#)). A nanotecnologia é outra solução com potencial para promover o crescimento e proteção das plantas na agricultura 4.0. Baseado em um conjunto de tecnologias disruptivas incluindo nanotransportadores inteligentes para fertilizantes, engenharia genética de plantas (com maior capacidade fotossintética) e sensores em tempo real para monitoramento fitossanitário ([Hofmann et al., 2020](#)).

*Em-Campo:* Esta é a segunda etapa da cadeia de produção agrícola, a qual é realizada dentro da porteira—no campo, e concentra uma gama de tecnologias da agricultura 4.0 para desenvolver as atividades de plantio e colheita ([Ting et al., 2011](#)). Para os autores [Grieve et al. \(2019\)](#), a agricultura arável adota as tecnologias emergentes em maior escala em culturas especializadas, como horticultura ou fruticultura, devido à falta de recursos humanos para desempenhar as funções do ciclo vegetativo das plantas e das colheitas das culturas. [Schmidt e Cheein \(2019\)](#) incluem as máquinas agrícolas elétricas como soluções para coletar e utilizar dados para o processo de decisão. [Lu e Young \(2020\)](#) mencionam que uma das tecnologias utilizadas atualmente para realizar as tarefas do plantio à colheita de forma automática e eficiente é a visão computacional, uma integração da robótica com a IA. [Colezea et al. \(2018\)](#) relatam que as fazendas na agricultura 4.0 podem ser gerenciadas, monitoradas e controladas à distância, além de fornecer as informações coletadas para comunidades online de agricultores que podem ajudar a tomar as melhores decisões sobre os processos agrícolas. [Ferrández-Pastor et al. \(2016\)](#) adicionam que aplicativos para *smartphones* ou dispositivos embarcados baseados

na *IoT* devem ajudar os agricultores a gerenciar as colheitas. [Wolfert et al. \(2017\)](#) acrescentam que com a implantação de máquinas e sensores inteligentes nas fazendas, a tomada de decisão nos processos agrícolas deve ser guiada por dados. Essa ideia é apoiada por [Lioutas et al. \(2019\)](#), em que os dados fornecerão *insights* para reestruturar a agricultura convencional baseada em processos, delineando o curso para uma agricultura mais inteligente. Portanto, o papel do ser humano na agricultura 4.0 exigirá um nível intelectual superior, deixando uma parte significativa das atividades operacionais para as máquinas ([Wolfert et al., 2017](#)). Para [Klerkx e Rose \(2020\)](#), embora as tecnologias da agricultura 4.0 radicalizem a forma como as cadeias produtivas agrícolas são projetados e operadas, as transições devem ocorrer aos poucos.

*Pós-Campo*: Refere-se à etapa da cadeia de processos para culturas desenvolvidas fora da porteira—após a colheita. É constituído pelas fases de distribuição, processamento e consumo da safra ([Ting et al., 2011](#)). Esta etapa da cadeia agrícola é caracterizada pela parcela mais considerável do número de grãos desperdiçados, além de ser pouco explorada em pesquisas que visam desenvolver soluções inovadoras para a agricultura ([Lermen et al., 2020](#); [Miljkovic e Nelson, 2021](#)). Um conjunto de tecnologias deve ser adotado para identificar falhas nos processos agrícolas pós-campo e antecipar possíveis problemas e possibilitar ações proativas ([Tabela 6](#)). A adoção das tecnologias da agricultura 4.0 nas fases do pós-campo podem proporcionar um aumento competitivo e um maior nível de conformidade no mercado, como a transparência na rastreabilidade dos produtos para os consumidores ([Corallo et al., 2018](#)). Os autores [Zhai et al. \(2020\)](#) adicionam que a otimização da cadeia de suprimentos é amplamente reconhecida como uma das abordagens mais eficazes para evitar o desperdício de alimentos em cada etapa da cadeia de produção agrícola, incluindo produção, entrega e comercialização. [Zhao et al. \(2019\)](#) apresentam a tecnologia *blockchain* como uma das ferramentas da agricultura 4.0 para melhorar quatro aspectos da cadeia de valor agrícola e alimentar: rastreabilidade, segurança da informação, fabricação e gestão sustentável da água. Para [Hang et al. \(2020\)](#), isso pode garantir a conformidade da produção de alimentos segundo as exigências atuais dos padrões de segurança alimentares, ambientais e sociais. [Wolfert et al. \(2017\)](#) corroboram que a rastreabilidade é uma das alternativas tecnológicas ([Tabela 6](#)) que pode ser adotada nos processos de produção de *commodities* agrícolas para possibilitar uma maior promoção da segurança alimentar e aceitabilidade da sociedade.

Sobre as tecnologias apresentadas na [Tabela 6](#), destaca-se que este estudo apresenta uma visão ampla do que existe na literatura. No entanto, sugere-se a realização de estudos de RSL e estudos empíricos que avaliem o real funcionamento das tecnologias específicas. Além disso,

muitas barreiras podem ser identificadas durante o desenvolvimento da agricultura 4.0 (por exemplo: falta de confiança e transparência em torno da propriedade dos dados) (Rose e Chilvers, 2018; Jakku et al., 2019; Zambon et al., 2019), o que dificulta o desenvolvimento de uma nova agricultura (Klerkx e Rose, 2020) e limita seu progresso (Braun et al., 2018).

#### **2.3.4. QP3 – Barreiras no desenvolvimento da agricultura 4.0**

O desenvolvimento da agricultura 4.0 é um processo com certo grau de heterogeneidade pela complexidade do ecossistema em transformação (Klerkx e Rose, 2020; Maria et al., 2021) e a fatores externos como a influência do clima e ambiente (Braun et al., 2018). Por isso, a agricultura 4.0 apresenta uma série de barreiras interconectadas que influenciam a adoção de quaisquer novos conceitos de tecnologias emergentes (Rose e Chilvers, 2018; Grieve et al., 2019). Poucas pesquisas abordam e discutem as barreiras na difusão e adoção de tecnologias da agricultura 4.0 (Rose e Chilvers, 2018; Liu et al., 2020), os desafios relacionados à sua inclusão e exclusão (Klerkx e Rose, 2020), e os problemas que o novo sistema agrícola pode desencadear (Pivoto et al., 2019; Zambon et al., 2019; Zhai et al., 2020). Além disso, o debate científico sobre as barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 ainda está em andamento (Klerkx et al., 2019; Rose et al., 2021), sendo necessário desenvolver novos estudos para alcançar um consenso geral sobre o tema.

A Tabela 7 apresenta as barreiras identificadas na literatura que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 entre os atores (Tabela 4) da cadeia de produção agrícola. Após a análise dos artigos, foram identificadas 25 barreiras relacionadas direta e indiretamente ao contexto da agricultura 4.0. As barreiras foram classificadas em cinco dimensões devido à diversidade do tema estudado: tecnológica, econômica, política, social e ambiental. As barreiras foram codificadas como: B1 - Complexidade Tecnológica; B2 - Incompatibilidade entre Componentes; B3 - Problemas de Gestão de Energia; B4 - Falta de Infraestrutura; B5 - Preocupações sobre a Confiabilidade de Dados; B6 - Alto Custo de Manutenção de Instalações; B7 - Alto Custo da Mão de Obra Qualificada; B8 - Alto Custo de Componentes Operacionais; B9 - Falta de Soluções Acessíveis aos Agricultores; B10 - Preocupações com Custos Ambientais, Éticos e Sociais; B11 - Problemas no Aumento da Disponibilidade e Acessibilidade; B12 - Falta de Abordagens Centradas na Fazenda e Centradas no Agricultor; B13 - Necessidade de desenvolver um Plano de Ação para Implementação; B14 - Desafios Políticos e/ou falta de Procedimentos e Acordos sobre o uso de Dados; B15 - Necessidade de fomentar P&D e modelos de negócios inovadores; B16 - Problemas na Educação (formação,



qualificação, formação em análise de dados agrícolas, transferência de dados para conhecimentos práticos); B17 - Risco de Faixa Etária; B18 - Falta de Habilidades Digitais e/ou mão de obra qualificada; B19 - Assimetria de Informação; B20 - Interrupção dos Trabalhos Existentes; B21 - Desafios da Influência do Clima e dos Comportamentos do Sistema; B22 - Falta de eficácia nos Dados do Meio Rural; B23 - Restrições Sustentáveis; B24 - Técnicas Limitadas para Coleta de Dados em Fazendas; e B25 - Tecnologias com Características Sustentáveis.

Tabela 7 – Barreiras identificadas na RSL que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 e limitam o seu progresso.

ID (Tabela 4)	Dimensão																								
	Tecnológica					Econômica					Política					Social					Ambiental				
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25
1	X	X				X	X								X										
2	X		X	X	X			X			X														
3	X	X	X	X								X													
4												X					X								
5							X								X		X	X							
6	X	X		X	X		X	X	X		X		X	X	X	X			X						
7	X	X																							
8	X	X		X	X		X				X	X	X		X	X		X			X				
9	X			X	X						X														
10				X				X	X						X										
11		X			X	X	X	X					X	X	X				X						
12		X																							
13																						X		X	
14		X			X																	X			
15	X	X																		X					
16		X		X			X					X			X	X			X						
17					X					X					X				X	X					
18		X	X	X	X			X															X	X	
19	X																					X		X	
20					X								X		X				X				X		
21	X			X				X	X	X	X				X				X		X				
22	X				X							X							X		X				
23		X						X																	
24									X							X	X	X	X						
25		X																		X					
26							X		X	X	X				X			X							
27	X				X											X	X	X	X				X		
28	X	X																X							
29	X																								

30		X																							
31				X	X									X			X			X					
32									X	X															
33	X				X																X				
34	X																			X			X		
35		X			X					X				X											
36	X	X		X	X				X			X		X	X		X	X				X			
37		X															X								
38		X	X																						
39		X			X	X		X																	
40					X							X		X					X						
41	X			X										X	X			X							
42		X			X	X		X						X				X							
43				X	X						X	X		X					X						
44	X	X	X		X																			X	
45		X							X		X	X			X			X		X			X		
46		X	X		X									X											
47		X																			X				
48		X	X			X																			
49		X							X				X		X							X			
50	X											X							X					X	
TB (%)	40	54	14	26	42	10	14	18	18	8	18	18	12	14	26	22	6	26	26	8	12	10	8	12	2
TD (%)	38					15					19					19					9				

Nota: \*n = Amostra de estudos. TB = Total Barreira. TD = Total Dimensão.

Existem questões que precisam ser resolvidas em diferentes áreas para obter um desenvolvimento bem-sucedido da agricultura 4.0. Com base no agrupamento das barreiras da [Tabela 7](#), a dimensão tecnológica (38%) se destacou sobre as demais áreas. Na sequência estão as dimensões cultural (19%), política (19%), econômica (15%) e ambiental (9%). Quanto às barreiras (TB), destacaram-se nos artigos da amostra: incompatibilidade entre componentes tecnológicos (54%), preocupação com questões de confiabilidade (42%), complexidade tecnológica (40%), falta de infraestrutura (26%), Necessidade de fomentar P&D e modelos de negócios inovadores (26%), falta de habilidades digitais ou mão de obra qualificada (26%), assimetria de informações entre os atores da cadeia de produção agrícola (26%) e problemas na educação (22%). Por outro lado, as barreiras menos representadas foram: restrições sustentáveis (8%), preocupações com custos ambientais, éticos e sociais (8%), interrupção de trabalhos existentes (8%), riscos de faixa etária (6%), e tecnologias com características sustentáveis (2%). Assim, as barreiras com maior incidência na RSL indicam os principais fatores limitantes no desenvolvimento da agricultura 4.0, exigindo atenção de todos os atores da cadeia de produção agrícola. As dimensões da [Tabela 7](#) são exploradas para contribuir com as discussões sobre as barreiras no desenvolvimento da agricultura 4.0.

#### *2.3.4.1. Tecnológica*

Os problemas operacionais, técnicos e a manutenção dos equipamentos são fatores preponderantes na implementação ([Ferrández-Pastor et al., 2016](#); [Elijah et al., 2018](#)) das tecnologias da agricultura 4.0. A complexidade das tecnologias e a incompatibilidade entre seus componentes, são barreiras que impedem à aquisição de equipamentos e máquinas pelos agricultores e administradores de empresas rurais ([Ferrández-Pastor et al., 2016](#); [Pivoto et al., 2019](#)). Um fator adicional que pode interferir no consentimento da agricultura 4.0 é a falta de usabilidade dos equipamentos tecnológicos para os agricultores ([Jawad et al., 2017](#); [Haberli Junior et al., 2019](#)). Além disso, o alto consumo de energia pelas tecnologias ([Jawad et al., 2017](#); [O'Grady e O'Hare, 2017](#); [Schmidt e Cheein, 2019](#)) e o baixo alcance da comunicação para aplicações agrícolas também são questões que exigem atenção ([Jawad et al., 2017](#); [O'Grady e O'Hare, 2017](#)). Outro desafio é adaptar o uso de tecnologias que não foram projetadas para o ambiente agrícola ([Vuran et al., 2018](#); [Quiroz e Alférez, 2020](#)).

Uma série de fontes tratam das características dos dados que podem apresentar riscos na implementação da agricultura 4.0, tais como: propriedade, disponibilidade ([Wolfert et al., 2017](#); [Colezea et al., 2018](#); [Phillips et al., 2019](#)), qualidade, responsabilidade, interoperabilidade

(Hradecká, 2019; Junior et al., 2019), escalabilidade, desordem visual (Kodan et al., 2019; Lee et al., 2019; Ponraj e Vigneswaran, 2019), transmissão (Hang et al., 2020; Ramli et al., 2020), interferência, privacidade e segurança cibernética (Elijah et al., 2018; Fielke et al., 2019; Klerkx et al., 2019). Outros estudos apontam incertezas na agricultura 4.0 quanto à maneira de explorar e gerenciar as informações levantadas, na quantidade de dados heterogêneos produzidos—tanto estruturados quanto não estruturados (Wolfert et al., 2017; Balducci et al., 2018; Braun et al., 2018; Colezea et al., 2018; Zhai et al., 2020), e no processo de mineração de dados (Muangprathub et al., 2019). Moon et al. (2018) mencionam que um dos principais problemas que interfere no seu desenvolvimento é a complexidade na integração de dados oriundos de múltiplos sensores diferentes. Pivoto et al. (2018) adicionam que a dificuldade de integrar os distintos sistemas tecnológicos agrícolas é um fator limitante na evolução da agricultura 4.0. Outras questões que tratam da dificuldade dos agricultores em estruturar o banco de dados (Musat et al., 2018), bem como entender a funcionalidade de aplicativos e softwares que realizam análises de dados agrícolas (Pivoto et al., 2019), também influenciam na sua adoção. Grieve et al. (2019) ressaltam que as dimensões temporais e espaciais dos fatores biológicos, climáticos, econômicos e sociológicos podem desencadear problemas na interpretação de dados, dificultando ainda mais a implementação de tecnologias da agricultura 4.0.

Para que a agricultura 4.0 funcione, é essencial desenvolver uma infraestrutura de telecomunicações moderna nas áreas rurais (Braun et al., 2018; Zambon et al., 2019). A infraestrutura deve possibilitar, principalmente, uma ampla conectividade nas fazendas (Corallo et al., 2018). Caso contrário, pode ser um desafio obter acesso instantâneo aos grandes volumes de dados gerados em campo (Vuran et al., 2018). A falta de conectividade robusta no campo, aliada à flexibilidade de acesso e modularidade, também pode prejudicar os avanços das tecnologias de detecção da agricultura 4.0 (Braun et al., 2018; Vuran et al., 2018). Além disso, as deficiências na infraestrutura derivadas do grande número de dispositivos conectados na rede ou pela integração com outros sistemas, podem desenvolver problemas de latência nos dados e provocar falta de confiança entre os atores envolvidos no sistema (Pivoto et al., 2018; Mistry et al., 2020).

#### 2.3.4.2. Econômica

O alto investimento necessário para a aquisição dos equipamentos e componentes tecnológicos desestimula o processo de desenvolvimento da agricultura 4.0 (Ferrández-Pastor et al., 2016; Jawad et al., 2017; Elijah et al., 2018; Pivoto et al., 2019). Uma pesquisa realizada

em fazendas polonesas apontou que a limitação de investimentos em soluções avançadas pode atrasar a transformação da agricultura 4.0 (Janc et al., 2019). Além disso, os agricultores não são capazes de realizar investimentos em novas tecnologias agrícolas (Khatri-Chhetri et al., 2019), principalmente nos países em desenvolvimento (Miranda et al., 2019; Pivoto et al., 2019), influenciando assim o ritmo de desenvolvimento da nova agricultura intensiva. O desafio é tornar as soluções acessíveis a todos os tipos de produtores rurais, de modo que não haja custos elevados (Wolfert et al., 2017), expressando também uma necessidade de conectividade com baixo custo nas fazendas (Corallo, Latino e Menegoli, 2018).

Para analisar as informações dos dados que foram levantadas nas fazendas, é necessário ter dispositivos de alto custo computacional (por exemplo, placas gráficas potentes) (Sittón-Candanedo et al., 2019; Righi et al., 2020). As soluções para os problemas de tomada de decisão agrícola podem não ser viáveis devido aos custos proibitivos das tecnologias da agricultura 4.0 (Zhao et al., 2019; Klerkx e Rose, 2020). Do mesmo modo, os novos equipamentos tecnológicos também precisam reduzir os custos no processo de descarte (Miranda et al., 2019). As implicações sociais, éticas e ambientais também podem dar origem a potenciais custos na introdução da agricultura 4.0 em larga escala (Rose e Chilvers, 2018; Grieve et al., 2019), bem como os gastos para comissionar a infraestrutura necessária para as comunidades rurais (Vuran et al., 2018) e os custos operacionais oriundos da interoperabilidade de dados (Hradecká, 2019). Isto indica que a viabilidade técnica na agricultura 4.0 exige encargos adicionais dos agricultores para sua implementação (Khatri-Chhetri et al., 2019). Outro fator econômico determinante é o custo da mão de obra qualificada para controlar e manter as tecnologias agrícolas em funcionamento (Ferrández-Pastor et al., 2016).

#### *2.3.4.3. Política*

As diferenças nas políticas criadas por países desenvolvidos e em desenvolvimento podem atrasar o avanço coletivo da agricultura 4.0 (Phillips et al., 2019). Novos acordos, legislações e desafios regulatórios (Wolfert et al., 2017; Elijah et al., 2018; Van der Burg, Bogaardt e Wolfert, 2019), precisam ser desenvolvidos e devem incluir as características dos dados levantados pelos dispositivos agrícolas, como discutidas anteriormente na [subseção 2.3.4.1.](#), para evitar problemas (como privacidade e disponibilidade de dados) nos modelos de negócios existentes entre agricultores e fornecedores de tecnologia (Wolfert et al., 2017; Braun, et al., 2018; Elijah et al., 2018; Zhao et al., 2019). Também faltam outros conjuntos de regras, que se referem à relação dos atores envolvidos no ecossistema agrícola em mudança (Lioutas

et al., 2019). A agricultura 4.0 estabelecerá uma governança adaptativa entre os países, com princípios comuns, para facilitar e estimular o desenvolvimento de tecnologias agrícolas (Fielke et al., 2019). Outro mecanismo que pode afetar a agricultura 4.0 é a falta de convites por parte dos formuladores de políticas para apresentar propostas de promoção de *startups* voltadas às necessidades dos agricultores (Zambon et al., 2019).

Para que a agricultura 4.0 seja vivenciada plenamente, é necessário ampliar a disponibilidade e acessibilidade das tecnologias para os agricultores (Jawad et al., 2017), através de uma nova estrutura política agrícola (Braun et al., 2018). Há uma falta de abordagens centradas no agricultor (O'Grady e O'Hare, 2017). Portanto, novas medidas devem ser incrementadas para acelerar as práticas (Ozdogan et al., 2017) da agricultura 4.0. Rose e Chilvers (2018) acrescentam que o setor agrícola pode apresentar inicialmente resistência social, dificultando a governança apropriada para desenvolver a agricultura 4.0. A Turquia é um dos países que estão acolhendo o desenvolvimento de um plano de ação para implementar uma nova agricultura, como ocorreu em países da U.E. e nos EUA, mediante uma integração entre universidades e centros de incubadoras tecnológicas (Ozdogan et al., 2017). Além disso, países como China, Coréia do Sul, Alemanha e Japão também estão investindo em P&D para facilitar o desenvolvimento de tecnologias (Pivoto et al., 2018) na agricultura 4.0.

#### 2.3.4.4. Social

O papel social dos atores (Tabela 4) na cadeia de produção agrícola carece de maiores investigações, pois influenciam diretamente na transformação da agricultura tradicional para a agricultura 4.0 (Fielke et al., 2020). Um dos desafios sociais na implementação das tecnologias da agricultura 4.0 é a falta de mão de obra qualificada (Ferrández-Pastor et al., 2016; Pivoto et al., 2019), *know-how* técnico (Khatri-Chhetri et al., 2019), e habilidades digitais (Ozdogan et al., 2017; Janc et al., 2019; Klerkx et al., 2019), com as competências exigidas no novo sistema agrícola. Alguns estudos apontaram a falta de formação e qualificação (Zambon et al., 2019), o longo tempo de treinamento (Ponraj e Vigneswaran, 2019) e a capacidade limitada de análise de dados pelos agricultores como obstáculos no caminho da agricultura 4.0 (Braun et al., 2018; Musat et al., 2018; Lioutas et al., 2019). Nesse contexto, a transferência de dados para o conhecimento prático também é um desafio para os agricultores (Zhai et al., 2020). Outras pesquisas mencionam a faixa etária dos agricultores (Ozdogan et al., 2017), exclusão digital e a assimetria de informações (Raungpaka e Savetpanuvong, 2017; Wolfert et al., 2017), como ambiguidades na transformação da agricultura 4.0. Nos países em desenvolvimento, a falta de

conhecimento adequado entre os agricultores sobre as tecnologias da agricultura 4.0 também pode retardar sua adoção (Elijah et al., 2018; Pivoto et al., 2018; Janc et al., 2019). Além disso, a alfabetização de dados está atrasada nos países em desenvolvimento em comparação com os países desenvolvidos (Lioutas et al., 2019), dificultando a evolução da agricultura 4.0.

Grieve et al. (2019) acrescentam a necessidade de realizar mudanças na mentalidade das comunidades agrícolas para que as tecnologias tenham um impacto mais significativo no setor. Neste âmbito, outro fator importante é a falta de inclusão das mulheres no processo de adoção das tecnologias da agricultura 4.0 (Khatri-Chhetri et al., 2019). Algumas pesquisas alegam que as novas operações neste setor podem desqualificar ou deslocar profissionais agrícolas e excluir ou discriminar funções existentes, gerando grandes dificuldades sociais (Klerkx et al., 2019; Klerkx e Rose, 2020). De maneira complementar, falta também desenvolver uma nova coorte de graduandos em engenharia, que contemplem os conceitos biológicos e de agronomia para realizar pesquisas multifuncionais. A amplitude das habilidades técnicas dos estudantes precisa ser remodelada, para facilitar a resolução de problemas bidirecionais da agrociência no contexto da agricultura 4.0 (Grieve et al., 2019).

#### 2.3.4.5. *Ambiental*

Os dados coletados na agricultura 4.0 podem não ser eficazes devido à influência do clima e ao comportamento do sistema (Braun et al., 2018; Moon et al., 2018; Grieve et al., 2019; Haberli Junior et al., 2019), causando incerteza na implementação de tecnologias entre os agricultores. Faltam soluções inteligentes e sustentáveis (Muangprathub et al., 2019; Nawandar e Satpute, 2019; Hang et al., 2020), assim como o desenvolvimento de técnicas adequadas para a coleta de dados em fazendas que busquem realizar, por exemplo, o monitoramento e controle das emissões de carbono em tempo real (Huh e Kim, 2018). No entanto, o pequeno aumento da produtividade agrícola pelo uso de equipamentos com tendências sustentáveis também pode contribuir para dificultar a adoção das tecnologias da agricultura 4.0 (Pivoto et al., 2019; Righi et al., 2020). Restrições ao modo radical de produção de alimentos, consumo de alimentos e descarte de resíduos alimentares podem ser desenvolvidas pelos consumidores (Klerkx e Rose, 2020). Além disso, as preocupações com as externalidades das fazendas que trabalham com o meio ambiente também podem prejudicar o andamento da agricultura 4.0 (Klerkx et al., 2019).



### 2.3.5. QP4 – Vantagens e desvantagens

Embora existam discussões em estudos empíricos voltados a testagem e implementação de tecnologias da agricultura 4.0 (Gan e Lee, 2018; Quiroz e Alférez, 2020; Ramli et al., 2020; Righi et al., 2020), poucas pesquisas discutem o desenvolvimento e disseminação de informações explorando suas vantagens e desvantagens, por exemplo, fatores econômicos, gerenciais, tecnológicos (Klerkx e Rose, 2020; Rose et al., 2021). No presente estudo foram elencadas as vantagens e desvantagens que podem motivar os agricultores e outros atores mencionados na Tabela 4 da cadeia de produção agrícola na tomada de decisão sobre a possibilidade de migrar para uma aplicação sistêmica da agricultura 4.0. Entre as principais vantagens proporcionadas pelo uso das tecnologias da agricultura 4.0 estão: o aumento do retorno financeiro (Huh e Kim, 2018; Kodan et al., 2019), a imagem positiva e sustentável aos consumidores (Fielke et al., 2019; Nawandar e Satpute, 2019; Miranda et al., 2019), a armazenagem, acessibilidade e o tratamento de dados de forma eficiente e segura (Wolfert et al., 2017; Moon et al., 2018), a época ideal para a colheita de *commodities* agrícolas (ou seja, soja, milho, trigo), detecção de doenças, controle de máquinas (Muangprathub et al., 2019), redução de custos, maior conhecimento das áreas cultivadas (Pivoto et al., 2019), e o auxílio na resolução dos problemas de produtividade da fazenda (Ozdogan et al., 2017).

Uma infinidade de estudos relatou a vantagem de aproximação com os atores da cadeia de valor, possibilitando contabilizar os impactos econômicos positivos da implementação da agricultura 4.0 (Ferrández-Pastor et al., 2016; Righi et al., 2020). Por outro lado, quanto aos impactos ambientais, há relatos na redução de resíduos em plantações, água e energia (Grieve et al., 2019; Quiroz e Alférez, 2020; Zhai et al., 2020), bem como o uso eficiente dos insumos e defensivos agrícolas pelas tecnologias embarcadas com automação de máquinas (Jawad et al., 2017; Belaud et al., 2019; Lee et al., 2019). Também foram identificadas vantagens nos aspectos sociais que tratam da segurança dos agricultores (Wolfert et al., 2017) e no aumento de empregos no setor agrícola (Miranda et al., 2019; Quiroz e Alférez, 2020).

Não obstante, outros fatores como monitoramento do clima, uso eficiente dos nutrientes do solo, previsão da saúde dos grãos, qualidade dos produtos agrícolas, procedência e rastreabilidade dos alimentos e bem-estar animal (Jawad et al., 2017; Klerkx et al., 2019), foram elencados como vantagens que são proporcionadas com a agricultura 4.0. Contudo, nota-se que existe uma gama de benefícios que auxiliam agricultores, trabalhadores agrícolas e gestores de fazendas no processo de tomada de decisão (Colezea et al., 2018) e na validação dos dados obtidos por meio de sensores para análise em dispositivos terminais (Hang et al., 2020). Por

exemplo, o sistema de gestão da fazenda na agricultura 4.0 deve ajudar os agricultores com soluções, ações decisivas e apoio na tomada de decisão final (Ponraj e Vigneswaran, 2019), para um viés economicamente viável e ambientalmente correto (O'Grady e O'Hare, 2017). As informações detalhadas fornecidas pelos dispositivos IoTs podem ser visualizadas em *smartphones*, tablets, computadores e aplicativos baseados na web para gerenciar cada tipo de cultura agrícola (Muangprathub et al., 2019). Com a praticidade no acesso aos dados, é possível capacitar os agricultores individuais que fazem parte da cadeia de produção agrícola para tomar decisões complexas (Phillips et al., 2019). Outra vantagem da agricultura 4.0 são os sistemas de apoio à decisão, que podem auxiliar os agricultores através de informações sobre o planejamento e controle das operações da fazenda, custo de operação segmentado, histórico de uso dos recursos e análise de lucratividade (Zhai et al., 2020).

Ainda em relação às vantagens da agricultura 4.0, foi identificada a importância da inserção de robôs em culturas especializadas com riscos de produtividade. Em casos aplicados, eles utilizaram com sucesso o *machine learning* no sistema de gestão das fazendas (Hradecká, 2019). A tecnologia *big data* também pode ser destacada, e é uma das ferramentas utilizadas para gerenciar a produção agrícola e ajuda a transformar a fazenda gradativamente. Essa ferramenta pode facilitar o crescimento da produtividade, melhor qualidade do produto, gestão agrícola mais eficiente e redução dos impactos ambientais (Lioutas et al., 2019). A adoção de ambas as tecnologias ressalta a necessidade de mapear sistematicamente os modelos tecnológicos emergentes, sendo uma das vantagens da agricultura 4.0, o entendimento do ecossistema de inovação que está em transição no setor (Fielke et al., 2019).

No tocante às desvantagens da agricultura 4.0, alguns autores relataram a propensão dos agricultores a adotarem riscos na implementação de novas tecnologias na fazenda (Pivoto et al., 2019) e a exclusão ou discriminação dos agricultores que não são alfabetizados digitalmente (Klerkx et al., 2019). Outra desvantagem a ser considerada envolve a dificuldade de integrar um conjunto de tecnologias para revelar *insights* de grandes bancos de dados em tempo real para a tomada de decisão (Wolfert et al., 2017).

Neste estudo as vantagens se tornaram predominantes, mesmo quando identificadas desvantagens voltadas ao alto custo de aquisição e uso das tecnologias da agricultura 4.0 (Zhao et al., 2019). Os autores Kernecker et al. (2019) acrescentam que as expectativas sobre as vantagens das tecnologias da agricultura 4.0 entre os especialistas e os agricultores são imparciais. As soluções avançadas, compostas por tecnologias da agricultura 4.0, fornecem suporte para o aumento da produtividade e qualidade dos produtos agrícolas, bem como

entregam alternativas para a tríade da sustentabilidade. Porém, não devem ser consideradas uma panaceia para todos os problemas do sistema agrícola.

Klerkx e Rose (2020) ao examinar diferentes visões para o futuro da agricultura 4.0, relataram a dificuldade em antecipar os impactos ambientais, sociais e econômicos na transição do novo setor agrícola. Outra questão envolve as diferenças nos níveis de complexidade da agricultura 4.0 entre países desenvolvidos e em desenvolvimento (Zhai et al., 2020). Em relação à heterogeneidade de tecnologias incluídas na descrição da agricultura 4.0, foram observadas desvantagens em relação às políticas públicas, dificuldade de reeducação e conscientização do agricultor, pouca assistência ao desenvolvimento de agências de fomento para apoiar os agricultores e outros fatores do setor (Elijah et al., 2018; Khatri-Chhetri et al., 2019; Van der Burg et al., 2019). De fato, é um conjunto de desafios que precisam ser estudados, analisados e superados para aumentar a escala de países na viabilização e implementação da agricultura 4.0 (Hinson et al., 2019; Zambon et al., 2019; Klerx e Rose, 2020). Logo, muitos *trade-offs* precisam ser considerados no desenvolvimento da agricultura 4.0.

Ressalta-se a dificuldade em prever as principais consequências da implementação de novas tecnologias na agricultura. A quarta revolução agrícola causará grandes mudanças no escopo e na organização da agricultura tradicional mundial, exigindo novas estratégias para a solução das barreiras apresentadas na Tabela 7. Para apoiar os caminhos de transformação da agricultura 4.0, os atores da Tabela 4 envolvidos na cadeia de produção agrícola devem ampliar suas abordagens comportamentais. A agricultura 4.0 nos países desenvolvidos e em desenvolvimento requer avanços em todos os níveis, desde a implementação em pequena escala (para culturas especializadas) até a implementação em grande escala (para culturas tradicionais). No entanto, é um desafio apostar no desenvolvimento da alta tecnologia da agricultura 4.0, pois os rendimentos tangíveis na fazenda podem resultar da implementação de ideias simples (Klerkx e Rose, 2020).

Outra questão crítica levantada pelos autores desta RSL é o desafio da complexidade no ambiente das tecnologias disruptivas e seus algoritmos (Fielke et al., 2020; Righi et al., 2020; Zhai et al., 2020). Por outro lado, a falta de conectividade no campo também foi apontada como um desafio para o acesso às tecnologias da agricultura 4.0 (Grieve et al., 2019; Janc et al., 2019; Sittón-Candanedo et al., 2019). Esses desafios são muitas vezes vistos como desvantagens, pois são pontos que podem dificultar o desenvolvimento da agricultura 4.0 em muitos países.

## 2.4. DISCUSSÃO

Esta seção está dividida em seis tópicos que contribuem para o desenvolvimento da literatura científica sobre agricultura 4.0. As principais conclusões de QP1, QP2, QP3 e QP4 são discutidas. Além disso, são apresentadas as tendências dos artigos da amostra da RSL e uma agenda de pesquisa.

### 2.4.1. QP1

O debate na literatura científica sobre a definição de agricultura 4.0 tem aumentado nos últimos anos. No entanto, ainda são poucos os estudos que ajudam a desenvolver sua teoria. Ao avaliar as descrições sobre a agricultura 4.0 identificadas nesta RSL, evidenciou-se que há ambiguidade quanto à definição do termo, bem como não é fornecida uma visão sistêmica da sua teoria. Por exemplo, os artigos da [Tabela 5](#) não incluem decisões tácitas e operacionais na descrição da agricultura 4.0. Além disso, as questões de pesquisa dos estudos analisados na RSL não investigam qual é a definição de agricultura 4.0, ou o que é preciso considerar na literatura para se ter uma definição mais abrangente. Além disso, o termo agricultura 4.0 não é uniforme, sendo confuso e relacionado a outros termos da literatura (por exemplo: *smart farm*, *precision agriculture*, *digital agriculture*, e *smart agriculture*). A partir dessa constatação, é necessário construir e propor uma definição científica do conceito de agricultura 4.0, para tornar os achados e evidências da literatura mais compreensíveis e acessíveis aos agricultores, acadêmicos e profissionais da área. Portanto, uma definição abrangente de agricultura 4.0 foi criada com base nos termos conceituais adotados nas descrições apresentadas na [Tabela 5](#), como: “*agricultura 4.0 é a implementação de tecnologias emergentes e serviços inovadores na agricultura, que exigem uma mudança cultural e comportamental em todos os atores envolvidos na cadeia de produção agrícola, para aumentar sua produtividade e eficiência, e apoiar uma agricultura sustentável, utilizando informações precisas e momentâneas que vão ajudar na tomada de decisões estratégicas*”.

### 2.4.2. QP2

É importante articular as tendências tecnológicas que estão sendo implementadas na agricultura 4.0 para antecipar trajetórias futuras na cadeia de produção agrícola. Os artigos da RSL cobrem evidências específicas e empíricas, sem fornecer uma visão geral das aplicações tecnológicas da agricultura 4.0. O presente estudo procurou abordar essa questão de forma sistemática, extraíndo e oferecendo subsídios teóricos sobre as etapas e processos propostos por [Ting et al. \(2011\)](#). Observando a [Tabela 6](#), vê-se que no *Pré-Campo* (desenvolvimento de

sementes), e no *Pós-Campo* (distribuição e consumo), encontram-se as menores concentrações de tecnologias da agricultura 4.0. Portanto, o desenvolvimento de tecnologias emergentes nessas áreas da cadeia de produção agrícola deve aumentar nos próximos anos. De acordo com os resultados da RSL, as tecnologias da agricultura 4.0 estão concentradas no *Em-Campo* (plantio). Isso se deve às muitas aplicações tecnológicas da agricultura 4.0, que podem estar relacionadas à dependência dos fatores água e solo, que cada vez mais precisam ser utilizados de forma eficiente (Cisternas et al., 2020), bem como pelo conjunto de operações (preparar, semear e irrigar a terra) que fazem parte deste ciclo agrícola. Os achados da pesquisa também evidenciaram a *AIoT* como a única tecnologia da agricultura 4.0 presente em todos os estados de campo (*Pré-Campo, Em-Campo e Pós-Campo*). Essa descoberta é apoiada pela ampla funcionalidade da *AIoT*, como no monitoramento, localização e rastreamento, máquinas agrícolas e agricultura de precisão (Elijah et al., 2018). Deve incluir também os benefícios que podem ser proporcionados por sua implementação na agricultura, como aumento de produtividade, otimização de custos e incentivo ao desenvolvimento sustentável (Almadani e Mostafa, 2021). Isso também pode ser explicado pelo fato da *AIoT* ser um dos principais objetivos de pesquisa dentro das abordagens da agricultura 4.0 (Symeonaki et al., 2020).

### 2.4.3. QP3

O desenvolvimento da agricultura 4.0 é um processo complexo, pois enfrenta uma série de barreiras que causam impacto em sua abertura no mundo. Por isso, as barreiras da agricultura 4.0 precisam ser identificadas para permitir o desenvolvimento de estratégias que possam superá-las. Esta RSL é um dos estudos preliminares que tentam explorar quais são essas barreiras. Nesse sentido, foram identificadas e analisadas 25 potenciais barreiras, que foram categorizadas em cinco dimensões (tecnológica, econômica, política, social e ambiental) devido à diversidade do tema estudado. As barreiras são apresentadas na Tabela 7, que mostra o que precisa ser abordado para permitir um amplo desenvolvimento da agricultura 4.0. No entanto, a RSL indica que as seguintes barreiras precisam de mais atenção: incompatibilidade entre componentes (B2), preocupações sobre a confiabilidade de dados (B5), falta de infraestrutura (B4), necessidade de fomentar P&D e modelos de negócios inovadores (B15), falta de habilidades digital e/ou mão de obra qualificada (B18), assimetria de informações (B19) e problemas na educação (B16). Além disso, ainda não está claro, pelo menos do ponto de vista empírico, em que medida as diferentes barreiras afetam o desenvolvimento da agricultura 4.0. Portanto, apesar dos benefícios e vantagens que a agricultura 4.0 pode oferecer, há um progresso substancial que precisa ser feito.

#### 2.4.4. QP4

A RSL revela que os estudos são otimistas quanto ao desenvolvimento da agricultura 4.0 no mundo. No entanto, não foram identificados artigos dedicados às possíveis vantagens e desvantagens da agricultura 4.0. As informações apontadas nesta RSL, relacionam um conjunto de benefícios (por exemplo: na detecção de doenças em culturas agrícolas, controle eficiente de máquinas, redução de custos, maior conhecimento das áreas cultivadas e no uso eficiente de insumos e defensivos), que impulsionam o desenvolvimento da agricultura 4.0 em diferentes culturas (especializadas e tradicionais). Já, as desvantagens encontradas na RSL (por exemplo: falta de políticas públicas, dificuldade na reeducação e conscientização dos agricultores, pouca assistência ao desenvolvimento das agências de fomento para apoiar os agricultores), têm pouca influência no desenvolvimento da agricultura 4.0. Além disso, alguns autores (Elijah et al., 2018; Khatri-Chhetri et al., 2019; Van der Burg et al., 2019) trataram essas desvantagens exemplificadas anteriormente como desafios. Nesse contexto, a resolução destes desafios pode reduzir a diferença no nível de complexidade da agricultura 4.0 em países desenvolvidos e em desenvolvimento. Isso corrobora para avançar na construção do novo cenário agrícola mundial, que será baseado nos benefícios da agricultura 4.0.

#### 2.4.5. Tendências

Foram analisadas as tendências dos artigos da RSL que ajudam a desenvolver a agricultura 4.0. Alguns estudos mencionam a necessidade de levantar os atributos e requisitos que os agricultores têm para adquirir as tecnologias que fazem parte da quarta revolução agrícola (Musat et al., 2018; Kong et al., 2019; Mistry et al., 2020). Outros estudos descreveram a necessidade de avaliar aspectos comportamentais e culturais quanto à aversão e conscientização dos agricultores para adoção das novas tecnologias (Ozdogan et al., 2017; Huh e Kim, 2018; Pivoto et al., 2019). Além disso, uma avaliação longitudinal (Ployhart e Vandenberg, 2010) com agricultores de pequeno, médio e grande porte em relação à implementação das tecnologias da agricultura 4.0 foi uma tendência apontada em estudos científicos (Raungpaka e Savetpanuvong, 2017; Lioutas et al., 2019; Phillips et al., 2019).

- Para desenvolver as tendências mencionadas acima, uma entrevista estruturada do tipo *survey* pode ser realizada para coletar dados e informações com base nas características e opiniões dos agricultores sobre os aspectos que potencializam a agricultura 4.0.

Outras propostas estão relacionadas à questão de transporte e logística referente aos fornecedores das tecnologias que compõem a agricultura 4.0 (Klerkx et al., 2019; Schmidt e Cheein, 2019; Zhai et al., 2020). Pesquisas que abordam a forma como a agricultura 4.0 deve ser implementada em países desenvolvidos e em desenvolvimento também podem ser seguidos (O'Grady e O'Hare, 2017; Khatri-Chhetri et al., 2019; Zambon et al., 2019). Para questões relacionadas à implementação de tecnologias na agricultura 4.0, alguns autores relataram a necessidade de avaliar fazendas de diferentes tamanhos (Vuran et al., 2018; Muangprathub et al., 2019; Nawandar e Satpute, 2019) e outros setores da cadeia de produção agrícola — *Estados do Campo* (Ting et al., 2011; Hradecká, 2019; Klerkx e Rose, 2020; Hang et al., 2020).

- Para as questões que buscam avaliar como a agricultura 4.0 é implementada e suas funções, estudos de caso longitudinais podem ser adotados. Os pesquisadores vão a campo e avaliam todas as mudanças no ecossistema da fazenda que está sendo modificada.

Foram levantadas tendências sobre metodologias que podem ser adotadas em pesquisas com escopo na implementação da agricultura 4.0. Alguns autores sugeriram a aplicação de ferramentas como *life cycle costing* (Belaud et al., 2019), gestão de risco (Fielke et al., 2019), *big data analysis* (Gan e Lee, 2018), modelos de inovação (Wolfert et al., 2017; Rose e Chilvers, 2018) e modelos de desenvolvimento de produtos (Janc et al., 2019; Lee et al., 2019). Por outro lado, estudos sugeriram o desenvolvimento de ambientes propícios para parcerias entre empresas privadas e o setor público – buscando construir ecossistemas robustos – durante o processo de implementação da agricultura 4.0 (Haberli Junior et al., 2019; Junior et al., 2019; Zhao et al., 2019). As pesquisas também apresentaram a necessidade de criar arquiteturas, programas e modelagens relacionadas a agricultura 4.0 que sejam versáteis e simples de gerenciar (Sittón-Candanedo et al., 2019; Hang et al., 2020; Quiroz e Alférez, 2020; Righi et al., 2020), para consolidar melhorias na tomada de decisão pelos agricultores (Ponraj e Vigneswaran, 2019; Kodan et al., 2019).

- Tais tendências podem ser desenvolvidas por pesquisadores, profissionais tecnológicos, *startups* de agrotecnologia, a partir de projetos interdisciplinares e transdisciplinares—com formações especializadas mistas entre eletrônica, mecânica e automação com um ângulo agro-biológico (Grieve et al., 2019), fornecendo diferentes visões sobre as características da agricultura 4.0.

## 2.4.6. Agenda de pesquisa

A [Tabela 8](#) apresenta as informações relacionadas a questões de pesquisas futuras que contribuirão para a divulgação da agricultura 4.0. Esta agenda compreende questões relacionadas ao desenvolvimento da agricultura 4.0, autores que apoiam a criação dessas questões de pesquisa, e apresenta sugestões metodológicas para apoiar acadêmicos e profissionais da área. A agenda de pesquisa e as opções metodológicas de pesquisa foram agrupadas em três dimensões (fatores comportamentais e gerenciais, fatores associados ao desenvolvimento de tecnologias e fatores relacionados à implementação da agricultura 4.0), com base em QP1, QP2, QP3, QP4 e dos resultados da RSL.

**Tabela 8** - Agenda de pesquisa sobre o desenvolvimento da agricultura 4.0 com sugestões metodológicas.

Dimensões	Questões de pesquisa	Autores usados para criar perguntas de pesquisa	Sugestão metodológica
<b>Fatores comportamentais e gerenciais</b>	Quais são os fatores necessários para fomentar o uso das tecnologias da agricultura 4.0 nas fazendas?	<a href="#">Kong et al. (2019)</a> <a href="#">Mistry et al. (2020)</a>	Entrevistas semiestruturadas para identificar os fatores com os agricultores e modelagem estrutural interpretativa para inter-relacionar os fatores com os especialistas.
	Quais são os fatores sociológicos e psicológicos que influenciam a adoção de quaisquer novas tecnologias oriundas da agricultura 4.0?	<a href="#">Schmidt e Cheein (2019)</a> <a href="#">Righi et al. (2020)</a> <a href="#">Zhai et al. (2020)</a>	Uma pesquisa com uma amostra de 350 agricultores de pequeno, médio e grande porte para priorizar os fatores.
	Quais são as etapas e métodos apropriados para implementar a agricultura 4.0 nas fazendas?	<a href="#">Pivoto et al. (2018)</a> <a href="#">Belaud et al. (2019)</a> <a href="#">Haberli Junior et al. (2019)</a> <a href="#">Mistry et al. (2020)</a>	Uma revisão sistemática da literatura de etapas e métodos em estudos empíricos da agricultura 4.0.
	Quais são os efeitos da agricultura 4.0 no viés comportamental dos agricultores na implementação de novas tecnologias? Existem métodos de conscientização e reeducação?	<a href="#">Janc et al. (2019)</a> <a href="#">Kodan et al. (2019)</a> <a href="#">Kong et al. (2019)</a>	Grupos focais com 3 agricultores por tamanho para identificar os efeitos e participação em feiras agrícolas para reeducar os agricultores.
	Como medir as barreiras na implementação da agricultura 4.0?	<a href="#">Wolfert et al. (2017)</a> <a href="#">Grieve et al. (2019)</a> <a href="#">Muangprathub et al. (2019)</a>	Uma pesquisa com agricultores em diferentes países e tamanhos diferentes.
	Que estratégias podem ser desenvolvidas para superar as barreiras identificadas na fase de implementação da agricultura 4.0?	<a href="#">Rose e Chilvers (2018)</a> <a href="#">Klerkx et al. (2019)</a> <a href="#">Fielke et al. (2020)</a>	Grupos focais com seis agricultores e seis especialistas para identificar estratégias e usar a modelagem estrutural interpretativa para relacioná-las.



<b>Fatores relacionados ao desenvolvimento das tecnologias</b>	Como se integram as metodologias de desenvolvimento de produtos e serviços na agricultura 4.0?	O'Grady e O'Hare (2017) Colezea et al. (2018) Corallo et al. (2018)	Correlacionar estudos da agricultura 4.0 com as áreas de desenvolvimento de produtos e serviços.
	Como as metodologias relacionadas à inovação são integradas na agricultura 4.0?	Braun et al. (2018) Fielke et al. (2019) Ponraj e Vigneswaran (2019)	Correlacionar estudos da agricultura 4.0 com a área de gestão da inovação por meio de análise de conteúdo e análise de discurso.
	Como a automação e a robotização são implementadas ou adaptadas em tecnologias existentes na agricultura?	Hradecká (2019) Grieve et al. (2019) Pivoto et al. (2019)	Desenvolva um estudo de caso longitudinal para mapear o processo de implementação em diferentes tamanhos de fazenda.
	Como é avaliada a diferença na implementação da agricultura 4.0 em países desenvolvidos, em desenvolvimento e subdesenvolvidos?	Phillips et al. (2019) Hang et al. (2020) Zhai et al. (2020)	Pesquisa com 150 agricultores de países desenvolvidos, em desenvolvimento e subdesenvolvidos para avaliar as diferenças significativas.
	Quais tecnologias são apropriadas para a comunicação em toda a cadeia de processos agrícolas?	Klerkx et al. (2019) Khatri-Chhetri et al. (2019) Ramli et al. (2020)	Faça pesquisas com agricultores de diferentes portes e avalie os níveis de maturidade no campo em análise.
<b>Fatores relacionados à implementação da agricultura 4.0</b>	Como quantificar a influência da conectividade e do clima na implementação da agricultura 4.0?	Raungpaka e Savetpanuvong (2017) Colezea et al. (2018) Zhai et al. (2020)	Realize análises de <i>big data</i> com informações de campo para o processo de tomada de decisão do agricultor.
	Como a eficácia da <i>IoT</i> e da análise de dados em fazendas 4.0 podem ser aplicadas e avaliadas?	Gan e Lee (2018) Moon et al. (2018) Van der Burg et al. (2019)	Avaliar a influência do uso de <i>big data</i> na tomada de decisão sobre os rendimentos agrícolas.
	Quais os efeitos da implantação da agricultura 4.0 em um novo ecossistema a partir das perspectivas das políticas públicas?	Fielke et al. (2019) Janc, et al. (2019) Klerkx et al. (2019)	Grupo focal com chefes de estado e tomadores de decisão de governo para sugerir estratégias para melhorar a implementação da agricultura 4.0.
	Quais são as diferenças entre as barreiras da agricultura 4.0 em países em desenvolvimento e desenvolvidos?	Phillips et al. (2019) Hang et al. (2020) Zhai et al. (2020)	Uma pesquisa de barreira com 150 agricultores de países desenvolvidos e em desenvolvimento para identificar as diferenças significativas.
	Como medir se uma determinada região está preparada para adotar as tecnologias da agricultura 4.0?	Huh e Kim (2018) Moon et al. (2018)	Avalie por meio de pesquisa se as influências da região se adaptam por meio do teste do qui-quadrado para avaliar a significância estatística.

As questões de pesquisa da [Tabela 8](#) ajudam os atores da cadeia de produção agrícola a ampliar o desenvolvimento da agricultura 4.0. Os atores da [Tabela 4](#) precisam fazer parte do plano de ação que busca implementar tecnologias emergentes na fazenda (por exemplo: projeto governamental *Agri 4.0*) para melhorar a integração vertical da agricultura 4.0. Além disso, são necessários mais estudos para chegar a um consenso sobre o tema. No entanto, várias barreiras interconectadas ([Tabela 7](#)) devem ser resolvidas para proporcionar uma grande mudança na agricultura tradicional. Um equilíbrio entre o progresso tecnológico (competência digital) e o contexto social de tais inovações (competências sociais) também deve ser considerado ([Janc et al., 2019](#)). Assim, a transferência de conhecimento e informação sobre a agricultura 4.0 terá mais oportunidade de ser compartilhada entre os atores que podem desenvolver novas ideias,

valores e perspectivas. Facilitando o entendimento conceitual sobre como as tecnologias da agricultura 4.0 são usadas, mas também identificando na prática quem, quando e porque estão adotando-as para transformar a agricultura tradicional.

## 2.5. CONCLUSÃO

Este estudo visa contribuir para o desenvolvimento da agricultura 4.0 identificando descrições, tecnologias, barreiras, vantagens e desvantagens. A análise de conteúdo da amostra nesta Revisão Sistemática da Literatura (RSL) identificou um crescimento exponencial em pesquisas científicas sobre o tema da agricultura 4.0. No entanto, é um termo relativamente novo e pouco desenvolvido. O estudo mostra que os pesquisadores descrevem a agricultura 4.0 de forma diferente, considerando a adoção de tecnologias emergentes como seu pilar. Para superar essa lacuna, este artigo propõe uma definição de agricultura 4.0 com base nos resultados da RSL. Além disso, foi apresentada uma visão abrangente das tecnologias da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola responsáveis por revolucionar a forma como as *commodities* são produzidas, processadas, comercializadas e consumidas.

A lacuna de informações sobre as 25 barreiras que dificultam o progresso da agricultura 4.0 foi preenchida por discussões sobre as cinco dimensões: tecnológica, econômica, política, social e ambiental. Essas dimensões dizem respeito a um conjunto de desafios que devem ser estudados, analisados e superados para aumentar a escala dos países na implementação da agricultura 4.0. Também foram apresentadas as vantagens, desvantagens e uma agenda de pesquisa que acadêmicos e profissionais da área devem apoiar para o desenvolvimento da teoria sobre a agricultura 4.0.

Dessa forma, as descobertas feitas neste estudo ajudam os atores da cadeia de produção agrícola a abrir caminho para o desenvolvimento bem-sucedido da agricultura 4.0. A pesquisa também corrobora para ampliar o debate inclusivo que pode moldar socialmente a introdução da agricultura 4.0. No entanto, esta RSL não suporta a identificação de quais atores são responsáveis por cada uma das barreiras apresentadas na [Tabela 7](#). É necessário desenvolver mais artigos sobre a teoria desse conceito para estimular a discussão na área. Estudos futuros podem ser alinhados com: (i) listar estratégias para superar as barreiras identificadas nesta RSL; (ii) identificar para quais atores surgem as barreiras na adoção da agricultura 4.0; e (iii) responder às questões levantadas na agenda de pesquisa para divulgação do tema.

## REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 2

- Abioye, E.A., Abidin, M.S.Z., Mahmud, M.S.A., Buyamin, S., Ishak, M.H.I., Abd Rahman, M. K. I., Otuoze, A.O., Onotu, P., Ramli, M.S.A., 2020. A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation. **Computers and Electronics in Agriculture**. 173. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105441>
- Almadani, B., Mostafa, S.M., 2021. IIoT Based Multimodal Communication Model for Agriculture and Agro-Industries. **IEEE Access**. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3050391>
- Balducci, F., Impedovo, D., Pirlo, G., 2018. Machine learning applications on agricultural datasets for smart farm enhancement. **Machines**. 6. <https://doi.org/10.3390/machines6030038>
- Baributsa, D., Njoroge, A.W., 2020. The use and profitability of hermetic technologies for grain storage among smallholder farmers in eastern Kenya. **Journal of Stored Products Research**. 87. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101618>
- Belaud, J. P., Prioux, N., Vialle, C., Sablayrolles, C., 2019. Big data for agri-food 4.0: Application to sustainability management for by-products supply chain. **Computers in Industry**. 111, 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.06.006>
- Bendinelli, W.E., Su, C.T., Perú, T.G., Caixeta Filho, J.V., 2020. What are the main factors that determine post-harvest losses of grains? **Sustainable Production and Consumption**. 21, 228-238. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.09.002>
- Biernacki, P., Waldorf, D., 1981. Snowball Sampling: Problems and Techniques of Chain Referral Sampling. **Sociological Methods & Research**. 10, 141-163. <https://doi.org/10.1177/004912418101000205>
- Boursianis, A.D., Papadopoulou, M.S., Diamantoulakis, P., Liopa-Tsakalidi, A., Barouchas, P., Salahas, G., Karagiannidis, G., Wan, S., Goudos, S.K., 2020. Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review. **Internet of Things**. 12. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100187>
- Braun, A.T., Colangelo, E., Steckel, T., 2018. Farming in the Era of Industrie 4.0. **In Procedia CIRP**. 72, 979–984. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.176>
- Brown, S., Ruecker, S., Antoniuk, J., Farnel, S., Gooding, M., Sinclair, S., Patey, M., Gabriele, S., 2010. Reading Orlando with the Mandala Browser: A case study in algorithmic criticism via experimental visualization. **Digital Studies/Le champ numérique**. 2 (1).

- Cisternas, I., Velásquez, I., Caro, A., Rodríguez, A., 2020. Systematic literature review of implementations of precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**. 176. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105626>
- Colezea, M., Musat, G., Pop, F., Negru, C., Dumitrascu, A., Mocanu, M., 2018. CLUeFARM: Integrated web-service platform for smart farms. **Computers and Electronics in Agriculture**. 154, 134–154. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.015>
- Corallo, A., Latino, M. E., Menegoli, M., 2018. From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: A Framework to Manage Product Data in Agri-Food Supply Chain for Voluntary Traceability. **International Scholarly and Scientific Research & Innovation**. 12. <http://doi.org/10.5281/zenodo.1316618>
- Del Val, M.P., Clara, M.F., 2003. Resistance to change: a literature review and empirical study. **Management decision**.
- Denyer, D., Tranfield, D., 2009. **Producing a systematic review**. In D. A. Buchanan & A. Bryman (Eds.), *The SAGE handbook of organizational research methods* (p. 671–689). London: Sage Publications Ltd.
- Elijah, O., Rahman, T.A., Orikumhi, I., Leow, C.Y., Hindia, M.N., 2018. An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges. **IEEE Internet of Things Journal**. 5 (5), 3758–3773. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2844296>
- Elo, S., Helvi, K., 2008. The qualitative content analysis process. **Journal of Advanced Nursing**. 62, 107-115.
- Emmi, L., Paredes-Madrid, L., Ribeiro, A., Pajares, G., Gonzalez-De-Santos, P., 2013. Fleets of robots for precision agriculture: A simulation environment. **Industrial Robot**. 40 (1), 41–58. <https://doi.org/10.1108/01439911311294246>
- Fan, W., Li, G., Law, R., 2020. Analyzing co-authoring communities of tourism research collaboration. **Tourism Management Perspectives**. 33. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2019.100607>
- Ferrández-Pastor, F.J., García-Chamizo, J.M., Nieto-Hidalgo, M., Mora-Pascual, J., Mora-Martínez, J., 2016. Developing ubiquitous sensor network platform using internet of things: Application in precision agriculture. **Sensors**. 16. <https://doi.org/10.3390/s16071141>
- Fielke, S. J., Garrard, R., Jakku, E., Fleming, A., Wiseman, L., Taylor, B. M., 2019. Conceptualising the DAIS: Implications of the ‘Digitalisation of Agricultural Innovation Systems’ on technology and policy at multiple levels. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. 90. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.002>

- Fielke, S., Taylor, B., Jakku, E., 2020. Digitalisation of agricultural knowledge and advice networks: A state-of-the-art review. **Agricultural Systems**. 180. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102763>
- Franceschini, F., Maisano, D., Mastrogiacomo, L., 2016. The museum of errors/horrors in Scopus. **Journal of Informetrics**. 10 (1), 174-182. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2015.11.006>
- Fu, L., Gao, F., Wu, J., Li, R., Karkee, M., Zhang, Q., 2020. Application of consumer RGB-D cameras for fruit detection and localization in field: A critical review. **Computers and Electronics in Agriculture**. 177. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105687>
- Gaffney, J., Challender, M., Califf, K., Harden, K., 2019. Building bridges between agribusiness innovation and smallholder farmers: A review. **Global Food Security**. 20, 60-65. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.12.008>
- Gainor, R., Sinclair, S., Ruecker, S., Patey, M., Gabriele, S., 2009. A Mandala browser user study: Visualizing XML versions of Shakespeare's plays. *Visible Language*. 43 (1), 60-85.
- Gan, H., Lee, W.S., 2018. Development of a Navigation System for a Smart Farm. **IFAC – Papers OnLine**. 51 (17), 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.051>
- Grieve, B. D., Duckett, T., Collison, M., Boyd, L., Weste, J., Yin, H., Arvin, F., Pearson, S. 2019. The challenges posed by global broadacre crops in delivering smart agri-robotic solutions: A fundamental rethink is required. **Global Food Security**. 23, 116-124. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.04.011>
- Gusarova, S., 2019. Role of China in the development of trade and FDI cooperation with BRICS countries. **China Economic Review**. 57. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2019.01.010>
- Haberli Junior, C., Oliveira, T., Yanaze, M., Spers, E.E., 2019. Performance, farmer perception, and the routinisation (RO) moderation on ERP post-implementation. **Heliyon**. 5. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01784>
- Haile, G.G., Tang, Q., Sun, S., Huang, Z., Zhang, X., Liu, X., 2019. Droughts in East Africa: Causes, impacts and resilience. **Earth-Science Reviews**. 193, 146-161. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.015>
- Hallinger, P., 2013. A conceptual framework for systematic reviews of research in educational leadership and management. **J. Educ. Adm.** 51, 126-149. <https://doi.org/10.1108/09578231311304670>
- Hang, L., Ullah, I., Kim, D-H., 2020. A secure fish farm platform based on blockchain for agriculture data integrity. **Computers and Electronics in Agriculture**. 170. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105251>

- Henshall, A.C., 2018. English language policies in scientific journals: Signs of change in the field of economics. **Journal of English for Academic Purposes**. 36, 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.jeap.2018.08.001>
- Hinson, R., Lensink, R., Mueller, A., 2019. Transforming agribusiness in developing countries: SDGs and the role of FinTech. **Current Opinion in Environmental Sustainability**. 41, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.07.002>
- Hofmann, T., Lowry, G.V., Ghoshal, S., Tufenkji, N., Brambilla, D., Dutcher, J.R., Gilbertson, L.M., Giraldo, J.P., Kinsella, J.M., Landry, M.P., Lovell, W., Naccache, R., Paret, M., Pedersen, J.A., Unrine, J.M., White, J.C., Wilkinson, K.J., 2020. Technology readiness and overcoming barriers to sustainably implement nanotechnology-enabled plant agriculture. **Nature Food**. 1, 416-425. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0110-1>
- Hradecká, M., 2019. Robotic internal audit - Control methods in the selected company. **Agris On-line Papers in Economics and Informatics**. 11, 31-42. <https://doi.org/10.7160/aol.2019.110204>
- Huh, J.H., Kim, K.Y., 2018. Time-based trend of carbon emissions in the composting process of swine manure in the context of agriculture 4.0. **Processes**. 6 (9). <https://doi.org/10.3390/pr6090168>
- Jakku, E., Taylor, B., Fleming, A., Mason, C., Fielke, S., Sounness, C., Thorburn, P., 2019. “If they don’t tell us what they do with it, why would we trust them?” Trust, transparency and benefit-sharing in Smart Farming. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. 90–91. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2018.11.002>
- Janc, K., Czapiewski, K., Wójcik, M., 2019. In the starting blocks for smart agriculture: The internet as a source of knowledge in transitional agriculture. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100309>
- Jawad, H.M., Nordin, R., Gharghan, S.K., Jawad, A.M., Ismail, M., 2017. Energy-efficient wireless sensor networks for precision agriculture: A review. **Sensors**. <https://doi.org/10.3390/s17081781>
- Jha, K., Doshi, A., Patel, P., Shah, M., 2019. A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. **Artificial Intelligence in Agriculture**. 2, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.05.004>

- Junior, C.H., Oliveira, T., Yanaze, M., 2019. The adoption stages (Evaluation, Adoption, and Routinisation) of ERP systems with business analytics functionality in the context of farms. **Computers and Electronics in Agriculture**. 156, 334–348. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.11.028>
- Kamble, S.S., Gunasekaran, A., Parekh, H., Joshi, S., 2019. Modeling the internet of things adoption barriers in food retail supply chains. **Journal of Retailing and Consumer Services**. 48, 154–168. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.02.020>
- Kernecker, M., Knierim, A., Wurbs, A., Kraus, T., Borges, F., 2019. Experience versus expectation: farmers' perceptions of smart farming technologies for cropping systems across Europe. **Precision Agriculture**. 21, 34–50. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09651>
- Khatri-Chhetri, A., Pant, A., Aggarwal, P.K., Vasireddy, V.V., Yadav, A., 2019. Stakeholders prioritization of climate-smart agriculture interventions: Evaluation of a framework. **Agricultural Systems**. 174, 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.002>
- Klerkx, L., Jakku, E., Labarthe, P., 2019. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. 90. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>
- Klerkx, L., Begemann, S., 2020. Supporting food systems transformation: The what, why, who, where and how of mission-oriented agricultural innovation systems. **Agricultural Systems**. 184. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102901>
- Klerkx, L., Rose, D., 2020. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?. **Global Food Security**. 24. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>
- Kodan, R., Parmar, P., Pathania, S., 2019. Internet of Things for Food Sector: Status Quo and Projected Potential. **Food Reviews International**. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1657442>
- Kong, Q., Kuriyan, K., Shah, N., Guo, M., 2019. Development of a responsive optimisation framework for decision-making in precision agriculture. **Computers & Chemical Engineering**. 131. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106585>
- Koutsos, T.M., Menexes, G.C., Dorbas, C.A., 2019. An efficient framework for conducting systematic literature reviews in agricultural sciences. **Science of The Total Environment**. 682, 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.354>

- Lee, S.G., Yang, A., Jeon, B.H., Park, H.D., 2019. A structure of scalable and configurable interface for sensor and actuator devices in smart farming system. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering**. 8, 2779-2786.
- Leeuwen, T.V., Dermauw, W., Mavridis, K., Vontas, J., 2020. Significance and interpretation of molecular diagnostics for insecticide resistance management of agricultural pests. **Current Opinion in Insect Science**. 39, 69-76. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.03.006>
- Leia, Q.D., Brown, S., Cuéllar, A.D., Finn, S.M., Gephart, J.A., Marston, L.T., Meyer, E., Weitz, K.A., Muth, M.K., 2020. Assessing the environmental impacts of halving food loss and waste along the food supply chain. **Science of The Total Environment**. 712. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136255>
- Lermen, F.H., Ribeiro, J.L.D., Echeveste, M.E., Martins, V.L.M., Tinoco, M.A.C., 2020. Sustainable offers for drying and storage of grains: Identifying perceived value for Brazilian farmers. **Journal of Stored Products Research**. 87, 101579. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101579>
- Lidicker, W.Z., 2020. A scientist's warning to humanity on human population growth. **Global Ecology and Conservation**. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01232>
- Lioutas, E. D., Charatsari, C., La Rocca, G., De Rosa, M., 2019. Key questions on the use of big data in farming: An activity theory approach. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. 90. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.003>
- Liu, Y., Ma, X., Shu, L., Hancke, G.P., Abu-Mahfouz, A.M., 2020. From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3003910>
- Lu, Y., Young, S., 2020. A survey of public datasets for computer vision tasks in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**. 178. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105760>
- Maria, K., Maria, B., Andrea, K., 2021. Exploring actors, their constellations, and roles in digital agricultural innovations. **Agricultural Systems**. 186. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102952>
- Miljkovic, D., Nelson, A.W., 2021. Measuring postharvest loss inequality: Method and applications. **Agricultural Systems**. 186. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102984>
- Minten, B., Tamru, S., Reardon, T., 2020. Post-harvest losses in rural-urban value chains: Evidence from Ethiopia. **Food Policy**. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101860>



Miranda, J., Ponce, P., Molina, A., Wright, P., 2019. Sensing, smart and sustainable technologies for Agri-Food 4.0. **Computers in Industry**. 108, 21-36. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.02.002>

Mistry, I., Tanwar, S., Tyagi, S., Kumar, N., 2020. Blockchain for 5G-enabled IoT for industrial automation: A systematic review, solutions, and challenges. **Mechanical Systems and Signal Processing**. 135. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106382>

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D.G., 2010. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. **International Journal of Surgery**. 8, 336-441. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2010.02.007>

Moon, A., Kim, J., Zhang, J., Son, S.W., 2018. Evaluating fidelity of lossy compression on spatiotemporal data from an IoT enabled smart farm. **Computers and Electronics in Agriculture**. 154, 304–313. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.045>

Morrison, A., Polisena, J., Husereau, D., Moulton, K., Clark, M., Fiander, M., Mierzwinski-Urban, M., Clifford, T., Hutton, B., Rabb, D., 2012. The effect of English-language restriction on systematic review-based meta-analyses: a systematic review of empirical studies. **International Journal of Technology Assessment in Health Care**. 28, 138-144. <https://doi.org/10.1017/S0266462312000086>

Muangprathub, J., Boonnam, N., Kajornkasirat, S., Lekbangpong, N., Wanichsombat, A., Nillaor, P., 2019. IoT and agriculture data analysis for smart farm. **Computers and Electronics in Agriculture**. 156, 467–474. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.011>

Mueller, B., Mueller, C., 2016. The political economy of the Brazilian model of agricultural development: Institutions versus sectoral policy. **The Quarterly Review of Economics and Finance**. 62, 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2016.07.012>

Mukherjee, A., Dey, N., De, D., 2020. EdgeDrone: QoS aware MQTT middleware for mobile edge computing in opportunistic Internet of Drone Things. **Computer Communications**. 152, 93–108. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.01.039>

Musat, G.A., Colezea, M., Pop, F., Negru, C., Mocanu, M., Esposito, C., Castiglione, A., 2018. Advanced services for efficient management of smart farms. **Journal of Parallel and Distributed Computing**. 116, 3–17. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2017.10.017>

Nawandar, N.K., Satpute, V.R., 2019. IoT based low cost and intelligent module for smart irrigation system. **Computers and Electronics in Agriculture**. 162, 979-990. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.05.027>

Ofosu, G., Dittmann, A., Sarpong, D., Botchie, D., 2020. Socio-economic and environmental implications of Artisanal and Small-scale Mining (ASM) on agriculture and livelihoods. **Environmental Science & Policy**. 106, 210-220. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.02.005>

Ozdogan, B., Gacar, A., Aktas, H., 2017. Digital agriculture practices in the context of agriculture 4.0. **Journal of Economics, Finance and Accounting (JEFA)**. 4, 184-191. <http://doi.org/10.17261/Pressacademia.2017.448>

O'Grady, M.J., O'Hare, G.M.P., 2017. Modelling the smart farm. **Information Processing in Agriculture**. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.05.001>

Paez, A., 2017. Gray literature: An important resource in systematic reviews. **Journal of Evidence-Based Medicine**. 10, 233-240. <https://doi.org/10.1111/jebm.12266>

Pathan, M., Patel, N., Yagnik, H., Shah, M., 2020. Artificial cognition for applications in smart agriculture: A comprehensive review. **Artificial Intelligence in Agriculture**. 4, 81-95. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2020.06.001>

Phillips, P.W.B., Relf-Eckstein, J.-A., Jobe, G., Wixted, B., 2019. Configuring the new digital landscape in western Canadian agriculture. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.001>

Pittelkow, C.M., Liang, X., Linquist, B.A., Groenigen, K.J.V., Lee, J., Lundy, M.E., Gestel, N.V., Six, J., Venterea, R. T., Kessel, C.V., 2014. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. **Nature**. 517, 365–368. <https://doi.org/10.1038/nature13809>

Pivoto, D., Waquil, P.D., Talamini, E., Finocchio, C.P.S., Dalla Corte, V.F., Mores, G.V., 2018. Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. **Information Processing in Agriculture**. 5, 21-32. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.12.002>

Pivoto, D., Barham, B., Waquil, P.D., Foguesatto, C.R., Zhang, D., Talamini, E., 2019. Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers. **International Food and Agribusiness Management Review**. 22. <https://doi.org/10.22434/IFAMR2018.0086>

Ployhart, R.E., Vandenberg, R.J., 2010. Longitudinal research: the theory, design, and analysis of change. **Journal of Management**. 36, 94–120.

Ponraj, A.S., Vigneswaran, T., 2019. Machine learning approach for agricultural IoT. **International Journal of Recent Technology and Engineering**. 7, p. 383-392.

Powell, G.N., Butterfield, D.A., 1994. Investigating the “glass ceiling” phenomenon: an empirical study of actual promotions to top management. **Academy of Management Journal**. 37, 68–86.

- Quiroz, I.A., Alférez, G.H., 2020. Image recognition of Legacy blueberries in a Chilean smart farm through deep learning. **Computers and Electronics in Agriculture**. 168. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105044>
- Ramli, M.R., Daely, P.T., Kim, D- S., Lee, J.K., 2020. IoT-based adaptive network mechanism for reliable smart farm system. **Computers and Electronics in Agriculture**. 170, 105287. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105287>
- Ranjan, C.K., 2017. Bibliometric indices of scientific journals: Time to overcome the obsession and think beyond the impact factor. **Medical Journal Armed Forces India**. 73 (2), 175-177. <https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2017.03.008>
- Raungpaka, V., Savetpanuvong, P., 2017. Information orientation of small-scale farmers' community enterprises in Northern Thailand. **Kasetsart Journal of Social Sciences**. 38. <https://doi.org/10.1016/j.kjss.2016.08.018>
- Righi, R.R., Goldschmidt, G., Kunst, R., Deon, C., Costa, C.A., 2020. Towards combining data prediction and internet of things to manage milk production on dairy cows. **Computers and Electronics in Agriculture**. 169. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105156>
- Rose, D.C., Chilvers, J., 2018. Agriculture 4.0: Broadening Responsible Innovation in an Era of Smart Farming. **Frontiers in Sustainable Food Systems**. 2. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087>
- Rose, D.C., Wheeler, R., Winter, M., Lobley, M., Chivers, C.A., 2021. Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet. **Land Use Policy**. 100, 104933. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104933>
- Ruecker, S., Hodges, P., Lokhandwala, N., Ching, S-Y., Windsor, J., Hudson, A., Rodriquez, O., 2015. Why Experimental Interfaces Should Include an Application Programming Interface. **Scholarly and Research Communication**. 6 (2).
- Sargeant, J.M., Rajic, A., Read, S., Ohlsson, A., 2006. The process of systematic review and its application in agri-food public-health. **Preventive Veterinary Medicine**. 75, 141–151. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2006.03.002>
- Schmidt J.R., Cheein, F.A., 2019. Assessment of power consumption of electric machinery in agricultural tasks for enhancing the route planning problem. **Computers and Electronics in Agriculture**. 163. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104868>
- Scown, M.W., Brady, M.V., Nicholas, K.A., 2020. Billions in Misspent EU Agricultural Subsidies Could Support the Sustainable Development Goals. **One Earth**. 3 (2), 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.07.011>

- Singh, N., Singh, A.N., 2020. Odysseys of agriculture sensors: Current challenges and forthcoming prospects. **Computers and Industrial Engineering**. 171. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105328>
- Sittón-Candanedo, I., Alonso, R.S., Corchado, J.M., Rodríguez-González, S., Casado-Vara, R. 2019. A review of edge computing reference architectures and a new global edge proposal. **Future Generation Computer Systems**. 99. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.04.016>
- Sivasankar, S., Heng, L.K., Kang, S.Y., 2020. Agriculture: Improving Crop Production. **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12323-1>
- Souza, G.S., Gomes, E.G., Alves, E.R.A., Gasques, J.G., 2020. Technological progress in the Brazilian agriculture. **Socio-Economic Planning Sciences**. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100879>
- Sponchioni, G., Vezzoni, M., Bacchetti, A., Pavesi, M., Renga, F.M., 2019. The 4.0 revolution in agriculture: a multi-perspective definition. **In: Summer School F. Turco-Industrial Systems Engineering**.
- 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**. <https://doi.org/10.3390/app10030813>
- Tamburino, L., Bravo, G., Clough, Y., Nicholas, K.A., 2020. From population to production: 50 years of scientific literature on how to feed the world. **Global Food Security**. 24. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100346>
- Ting, K.C., Abdelzaher, T., Alleyne, A., Rodriguez, L., 2011. **Information technology and agriculture: global challenges and opportunities**. The Bridge, Washington, D.C. 41 (3), 6-13.
- Tranfield, D., Denyer, D., Smart, P., 2003. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British Journal of Management**. 14 (3), 207-22. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- Uzun, V., Shagaida, N., Lerman, Z., 2020. Russian agriculture: Growth and institutional challenges. **Land Use Policy**. 83, 475-487. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.018>
- Van der Burg, S., Bogaardt, M.J., Wolfert, S., 2019. Ethics of smart farming: Current questions and directions for responsible innovation towards the future. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. 90. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.01.001>

- Vågsholm, I., Arzoomand, N.S., Boqvist, S., 2020. Food Security, Safety, and Sustainability-Getting the Trade-Offs Right. **Front. Sustain. Food Syst.** <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00016>
- Venkatesh, V., Brown, S.A., Bala, H., 2013. Bridging the Qualitative-Quantitative Divide: Guidelines for Conducting Mixed Methods Research in Information Systems. **Mis Quarterly**. 37 (1), 21-54. <https://doi.org/10.25300/misq/2013/37.1.02>
- Veeck, G., Veeck, A., Yu, H., 2020. Challenges of agriculture and food systems issues in China and the United States. **Geography and Sustainability**. 2, 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2020.05.002>
- Vuran, M.C., Salam, A., Wong, R., Irmak, S., 2018. Internet of underground things in precision agriculture: Architecture and technology aspects. **Ad Hoc Networks**. 81, 160–173. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2018.07.017>
- Whitfield, S., Challinor, A.J., Rees, R.M., 2018. Frontiers in Climate Smart Food Systems: Outlining the Research Space. **Front. Sustain. Food Syst.** <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00002>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., Bogaardt, M.J., 2017. Big Data in Smart Farming – A review. **Agricultural Systems**. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- Zambon, I., Cecchini, M., Egidi, G., Saporito, M.G., Colantoni, A., 2019. Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a future development for SMEs. **Processes**. <https://doi.org/10.3390/pr7010036>
- Zhai, Z., Martínez, J.F., Beltran, V., Martínez, N.L., 2020. Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. **Computers and Electronics in Agriculture**. 170. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>
- Zhao, G., Liu, S., Lopez, C., Lu, H., Elgeta, S., Chen, H., Boshkoska, B.M., 2019. Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions. **Computers in Industry**. 109, 83-99. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.002>

**APÊNDICE A** – Fator de impacto do periódico, publicações e citações da amostra.

<b>JIF*</b>	<b>Publicações de Periódicos</b>	<b>n**</b>	<b>Autores [Citações]</b>
3,858	<i>Computers and Electronics in Agriculture</i>	11	Colezea et al. (2018) [10]; Moon et al. (2018) [9]; Junior et al. (2019) [7]; Muangprathub et al. (2019) [109]; Nawandar e Satpute (2019) [25]; Schmidt e Cheein (2019) [1]; Hang et al. (2020) [4]; Quiroz et al. (2020) [4]; Ramli et al. (2020) [1]; Righi et al. (2020) [5]; Zhai et al. (2020) [18]
1,608	<i>NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences</i>	6	Fielke et al. (2019) [11]; Janc et al. (2019) [2]; Klerkx et al. (2019) [10]; Lioutas et al. (2019) [14]; Phillips et al. (2019) [9]; Van der Burg et al. (2019) [15]
4,212	<i>Agricultural Systems</i>	3	Wolfert et al. (2017) [504]; Khatri-Chhetri et al. (2019) [10]; Fielke et al. (2020) [8]
3,954	<i>Computers in Industry</i>	3	Belaud et al. (2019) [11]; Miranda et al. (2019) [30]; Zhao et al. (2019) [50]
6,034	<i>Global Food Security-Agriculture Policy Economics and Environment</i>	2	Grieve et al. (2019) [10]; Klerkx e Rose (2020) [17]
3,275	<i>Sensors</i>	2	Ferrández-Pastor et al. (2016) [70]; Jawad et al. (2017) [140]
2,753	<i>Processes</i>	2	Huh e Kim (2018) [10]; Zambon et al. (2019) [48]
-	<i>Information Processing in Agriculture</i>	2	O'Grady e O'Hare (2017) [59]; Pivoto et al. (2018) [63]
9,936	<i>IEEE Internet of Things Journal</i>	1	Elijah et al. (2018) [166]
6,471	<i>Mechanical Systems and Signal Processing</i>	1	Mistry et al. (2020) [56]
6,125	<i>Future Generation Computer Systems</i>	1	Sittón-Candanedo et al. (2019) [30]
4,113	<i>Food Reviews International</i>	1	Kodan et al. (2019) [2]
4,000	<i>Computers and Chemical Engineering</i>	1	Kong et al. (2019) [2]
3,643	<i>Ad Hoc Networks</i>	1	Vuran et al. (2018) [64]
2,269	<i>Journal of Parallel and Distributed Computing</i>	1	Musat et al. (2018) [16]
1,145	<i>International Food and Agribusiness Management Review</i>	1	Pivoto et al. (2019) [4]
-	<i>Heliyon</i>	1	Haberli Junior et al. (2019) [5]
-	<i>International Journal of Recent Technology and Engineering</i>	1	Ponraj e Vigneswaran (2019) [3]
-	<i>International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering</i>	1	Lee et al. (2019) [1]
-	<i>Agris On-line Papers in Economics and Informatics</i>	1	Hradecká (2019) [0]
-	<i>Frontiers ins Sustainable Food Systems</i>	1	Rose e Chilvers (2018) [41]
-	<i>Machines</i>	1	Balducci et al. (2018) [25]
-	<i>Procedia CIRP</i>	1	Braun et al. (2018) [15]
-	<i>IFAC-PapersOnLine</i>	1	Gan e Lee (2018) [3]
-	<i>International Scholarly and Scientific Research &amp; Innovation</i>	1	Corallo et al. (2018) [0]
-	<i>Kasetsart Journal of Social Sciences</i>	1	Raungpaka e Savetpanuvong (2017) [3]
-	<i>Journal of Economics, Finance, and Accounting</i>	1	Ozdogan et al. (2017) [0]
<b>Total</b>		<b>50</b>	

**Nota:** \*JIF: *Journal Impact Factor [In Cites Journal Citations Reports - 2019]*; \*\*n: Amostra de estudos.

### **3. ARTIGO 2: PERCEPÇÃO DOS AGRICULTORES SOBRE AS BARREIRAS QUE DIFICULTAM A IMPLEMENTAÇÃO DA AGRICULTURA 4.0**

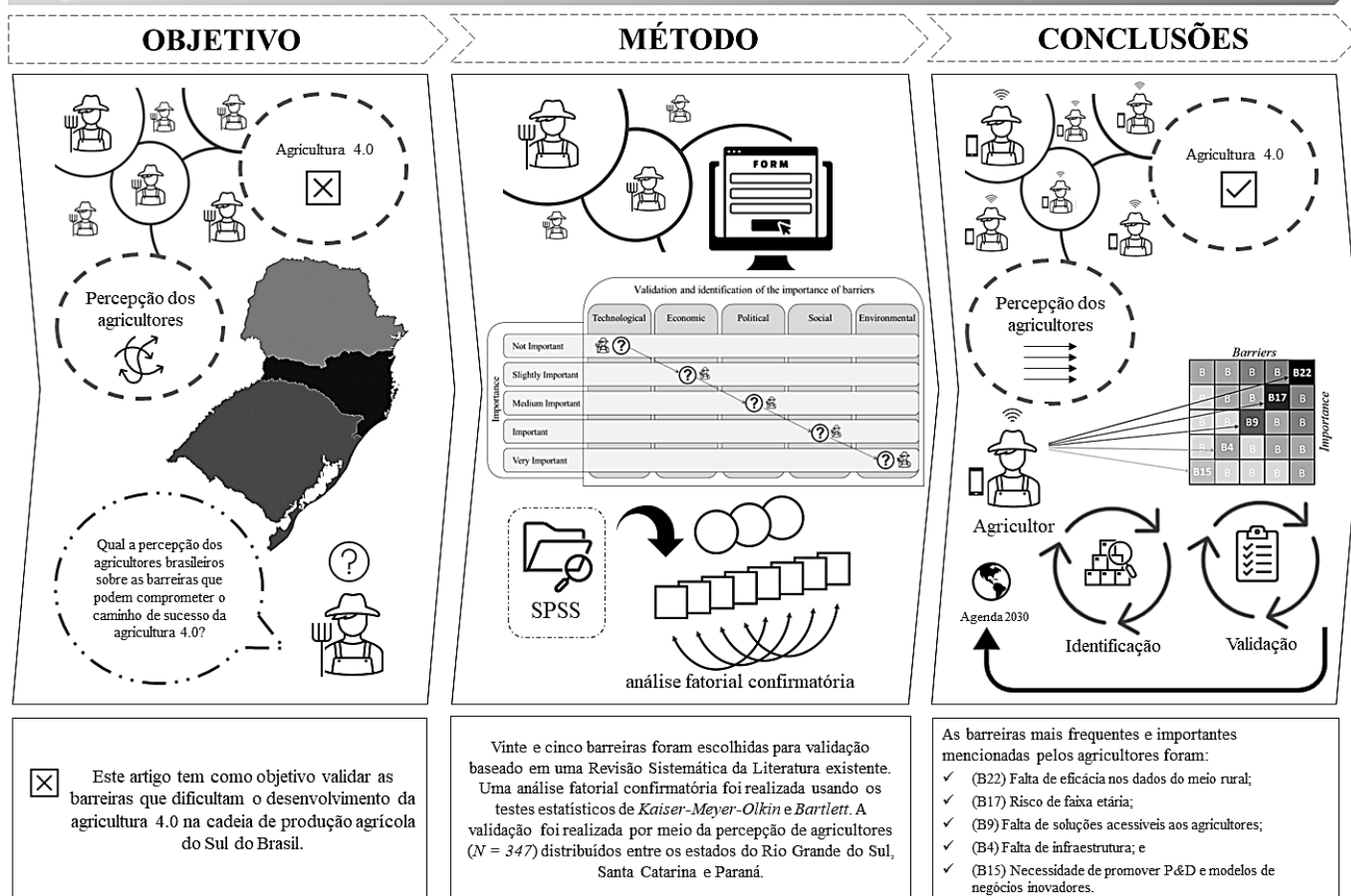
Uma versão em inglês similar a este artigo foi submetida para o periódico *Agricultural Systems* (Qualis A1; Fator de Impacto 2020: 6.765). Estatus da submissão: *Minor Revision* (Março/2023).

**Resumo:** A agricultura 4.0 pode impulsionar o crescimento da cadeia de produção agrícola em países emergentes como o Brasil, que é conhecido como um dos grandes produtores de alimentos e de carne do mundo, através da implementação de uma gama de tecnologias avançadas como a *Agricultural Internet of Things*, *Artificial Intelligence*, *Blockchain*, e *Machine Learning*. No entanto, o desenvolvimento da agricultura 4.0 no Brasil é um processo complexo e pouco se sabe sobre as reais barreiras que causam impacto na sua adoção entre os atores da cadeia de produção agrícola. Faltam estudos empíricos sobre a percepção dos agricultores brasileiros com relação às barreiras que podem comprometer o caminho bem-sucedido da agricultura 4.0. O objetivo do artigo é validar as barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região sul do Brasil. Foram selecionadas para serem validadas 25 barreiras com base em uma Revisão Sistemática da Literatura existente. Foi realizado uma análise fatorial confirmatória, considerando os testes estatísticos de *Kaiser-Meyer-Olkin* e de *Bartlett* no seu desenvolvimento. A validação ocorreu através da percepção de agricultores ( $n = 347$ ) que estão distribuídos entre os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Os dados foram coletados a partir de um questionário online que identificou o grau de importância das barreiras para os agricultores da amostra. As barreiras mais frequentes e importantes apontadas pelos agricultores foram: falta de infraestrutura, falta de soluções acessíveis aos agricultores, necessidade de fomentar P&D e modelos de negócios inovadores, risco de faixa etária e falta de eficácia nos dados sobre o meio rural. Uma vez que essas barreiras sejam mais bem compreendidas, é possível ter uma certeza maior do que precisa de prontidão para beneficiar a introdução da agricultura 4.0. Isso poderá auxiliar na construção de um planejamento estratégico detalhado que busque ampliar e difundir a agricultura 4.0 neste setor.

**Palavras-chave:** Agricultura 4.0; Cadeia de produção agrícola; Barreiras; Brasil.

## RESUMO GRÁFICO

### Agricultura 4.0 e suas Barreiras no Desenvolvimento da Cadeia de Produção Agrícola no Sul do Brasil



Faltando menos de uma década para 2030, é preciso acelerar as antecipações de possíveis futuros e pensar nas trajetórias atuais da agricultura 4.0. Este estudo constatou que existe uma discussão aberta sobre as barreiras da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola. Será necessário aprofundar a investigação sobre as barreiras que mais se destacaram neste estudo, pois estas podem ter impactos significativos até mesmo sobre outras barreiras. Também seria útil estender o estudo para outros países, a fim de identificar diferenças e semelhanças nas percepções dos agricultores, ampliando o alcance das conclusões relatadas neste artigo.



### 3.1. INTRODUÇÃO

O desafio de alimentar nos próximos 30 anos uma população de aproximadamente 10 bilhões de pessoas (Hickey et al., 2019), sob a pressão da escassez de recursos naturais (Rial-Lovera et al., 2017), juntamente com a necessidade de garantir uma alta produtividade e rentabilidade agrícola sem onerar o meio ambiente (Ayaz et al., 2019), provocaram o surgimento de esquemas alternativos de produção com base na adoção de tecnologias emergentes (Lioutas e Charatsari, 2020) em uma variedade de contextos institucionais e políticos (Herrero et al., 2020). Opções tecnológicas emergentes (Ayaz et al., 2019; Raj et al., 2021) como a robótica, inteligência artificial (Klerkx e Rose, 2020; Rose et al., 2021), *agricultural internet of things* (Liu et al., 2020; da Silveira et al., 2021), *big data analytics* (Wolfert et al., 2017), *machine learning*, *unmanned aerial vehicles* (Raj et al., 2021), engenharia genética de plantas (Hofmann et al., 2020) e agricultura vertical (Halgamuge et al., 2021), são consideradas nos debates científicos soluções promissoras para transformar os sistemas agroalimentares convencionais (Sumberg e Giller, 2022) em sistemas agroalimentares modernos (Spanaki et al., 2021). Sistemas agroalimentares modernos são considerados modelos radicalmente novos de produção de alimentos (O'Malley et al., 2020), que geram entusiasmo para resolução de problemas atuais e futuros (Lioutas et al., 2021), auxiliando na redução global da pobreza, diminuindo os danos ambientais e a desigualdade social (O'Malley et al., 2020).

Essa transformação no sistema agroalimentar moderno foi rotulada de “agricultura 4.0” (Klerkx et al., 2019; Klerkx e Rose, 2020; Klerkx e Begemann, 2020; da Silveira et al., 2021), ou como a quarta revolução agrícola (Rose et al., 2021). Além disso, outros termos como “*digital agriculture*” (Phillips et al., 2019), “*smart agriculture*” (Janc et al., 2019; Mistry et al., 2020), “*farming 4.0*”, “*landwirtschaft 4.0*” (Braun et al., 2018), “*smart farm*” (Gan e Lee, 2018), também são usados indistintamente na literatura. Como a agricultura 4.0 é um termo relativamente novo, sua definição está em processo de construção pelos estudiosos da área (Barrett e Rose, 2020). Este estudo segue a definição abrangente de agricultura 4.0 proposta por da Silveira et al. (2021) para a cadeia de produção agrícola: “*agricultura 4.0 é a implementação de tecnologias emergentes e serviços inovadores na agricultura, que exigem uma mudança cultural e comportamental em todos os atores envolvidos na cadeia de produção agrícola, para aumentar sua produtividade e eficiência, e apoiar um agricultura sustentável, utilizando informações precisas e momentâneas que vão ajudar na tomada de decisões estratégicas*”.

Muitos estudos se esforçam em antecipar as trajetórias futuras da agricultura 4.0 (Raj et al., 2021; Rose et al., 2021; Zhang et al., 2021). Porém, o potencial da agricultura 4.0 possui características variadas e peculiares entre agricultores, fazendas e países (Grieve et al., 2019; Kernecker et al., 2020). Prever o impacto de tal mudança disruptiva no mundo pode ser uma tarefa difícil (Eastwood et al., 2021). Ainda há uma compreensão global limitada sobre a percepção do potencial que é prometido pela introdução das tecnologias da agricultura 4.0 (Zhang et al., 2021; Pauschinger e Klauser, 2022). É preciso haver visões mais sistêmicas buscando aprofundar as condições para sua implementação (Javaid et al., 2022; Maffezzoli et al., 2022).

Algumas das tecnologias da agricultura 4.0 já estão sendo utilizadas em países desenvolvidos (Goel et al., 2021). A maioria dos estudos que exploram o desenvolvimento da agricultura 4.0 são de países industrializados (Balafoutis et al., 2017) da Europa (Bacco et al., 2019; Kernecker et al., 2020) e da América do Norte (Eastwood et al., 2019; Phillips et al., 2019). No Reino Unido, há análises empíricas sobre a percepção da quarta revolução agrícola por agricultores e consultores da área (Barrett e Rose, 2020). Na Nova Zelândia, uma pesquisa analisou como os diferentes tipos de fornecedores de conhecimento agrícola (consultores agrícolas, organizações científicas e fornecedores de tecnologia) entendem a agricultura 4.0 (Rijswijk et al., 2019). Nos Estados Unidos, pesquisadores consideram que para melhorar o entendimento das decisões de adoção dos agricultores, ou a falta delas, é necessário verificar inicialmente suas percepções sobre os benefícios que as novas tecnologias podem oferecer (Thompson et al., 2019). Na Austrália são encontradas iniciativas de pesquisa nesse contexto, as quais buscam melhorar o desenvolvimento da agricultura 4.0 através de relatos de um grupo diversificado de cientistas e engenheiros (Fleming et al., 2021).

No entanto, na maioria dos países em desenvolvimento a taxa de aceitação das tecnologias oriundas da agricultura 4.0 é baixa (Bolfe et al., 2020a; Dixon et al., 2021; Goel et al., 2021). Por exemplo, na Índia, as tecnologias na agricultura são limitadas (Ceballos et al., 2020), um fenômeno indesejável que pode comprometer a implementação da agricultura 4.0 no país. No continente Africano, há evidências que nem mesmo a mecanização agrícola é promovida (Daum e Birner, 2020). Jellason et al. (2021) relatam que a agricultura 4.0 em muitos países de baixa renda da África subsaariana têm o potencial de criar mais problemas do que resolver, pois falta uma compreensão clara dos desafios que o continente precisa enfrentar para abraçar essa revolução tecnológica. Já na América Central, barreiras na fase de implementação das tecnologias oriundas do modelo de agricultura 4.0 estão impactando no sucesso de projetos

locais e, conseqüentemente, nos de níveis nacionais (Owens et al., 2020). A Tabela 9 apresenta as barreiras que podem dificultar o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola. A menos que essas barreiras sejam validadas, a construção de diretrizes mais direcionadas para superá-las podem ser genéricas e incertas. A elaboração da Tabela 9 teve como base a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola de da Silveira et al. (2021). Sua sistematização considerou as etapas de codificação aberta, categorização e abstração (Elo e Kyngäs, 2008) na análise de conteúdo dos artigos desta RSL.

**Tabela 9 – Barreiras no desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola\*.**

<b>ID</b>	<b>Barreiras</b>	<b>RSL Descrição</b>	<b>Dimensão</b>
B1	Complexidade Tecnológica	Esse é um problema que pode surgir pela falta de usabilidade dos equipamentos tecnológicos da agricultura 4.0 para os atores da cadeia de produção agrícola (por exemplo: usabilidade de máquinas autônomas, equipamentos, sensores, aplicativos e softwares que realizam a coleta e análise de dados agrícolas).	Tecnológica
B2	Incompatibilidade entre Componentes	Isso se refere às restrições existentes para adaptar as questões técnicas dos equipamentos e softwares de diferentes empresas tecnológicas com as operações agrícolas existentes (por exemplo: integração de dados de múltiplos sensores diferentes).	
B3	Problemas de Gerenciamento de Energia	O limite de energia proporcionado pelas tecnologias da agricultura 4.0 e a vida útil das baterias, por exemplo, podem dificultar o desenvolvimento da agricultura 4.0 entre os atores da cadeia de produção agrícola (por exemplo: consumo de bateria e autonomia durante operação por drones e/ou robôs autônomos).	
B4	Falta de Infraestrutura	Isso se refere às deficiências na infraestrutura de telecomunicações das fazendas. É necessário desenvolver uma infraestrutura moderna que permita uma ampla conectividade digital nas áreas rurais.	
B5	Preocupações sobre a Confiabilidade de Dados	Há um grande fluxo de informações que ocorrem na cadeia de produção agrícola, o que representa uma ameaça à segurança cibernética e problemas de privacidade de dados no desenvolvimento da agricultura 4.0.	
B6	Alto Custo de Manutenção de Instalações	Trata-se das despesas para comissionar a infraestrutura necessária para as comunidades rurais e os custos operacionais provenientes da interoperabilidade de dados (por exemplo: máquinas autônomas, equipamentos, aplicativos, softwares, infraestrutura de telecomunicações).	Econômica
B7	Alto Custo da Mão de Obra Qualificada	Isso se refere aos custos da mão de obra qualificada que é necessária para controlar e manter as tecnologias da agricultura 4.0 funcionando.	
B8	Alto Custo de Componentes Operacionais	Referem-se às soluções para os problemas de tomada de decisão agrícola que podem não ser viáveis devido aos custos proibitivos das tecnologias da agricultura 4.0 (por exemplo: placas computacionais potentes, câmeras multiespectrais, softwares).	
B9	Falta de Soluções Acessíveis aos Agricultores	O alto investimento necessário para adquirir os equipamentos e componentes tecnológicos desestimula o processo de desenvolvimento da agricultura 4.0 (por exemplo: máquinas autônomas, equipamentos, robôs agrícolas).	
B10	Preocupações com Custos Ambientais, Éticos e Sociais	As implicações sociais, éticas e ambientais podem dar origem a custos potenciais na introdução em grande escala da agricultura 4.0 e que podem prejudicar sua adoção entre os atores da cadeia de produção agrícola (por exemplo: uso de áreas de preservação ambiental, energia solar, saúde do trabalhador rural).	
B11	Problemas no Aumento da Disponibilidade e Acessibilidade	Isso se refere à falta de disponibilidade e acessibilidade das tecnologias da agricultura 4.0 para os atores da cadeia de produção agrícola. É necessário o desenvolvimento de uma nova estrutura de política agrícola para estimular a implementação das tecnologias da agricultura 4.0 (por exemplo: máquinas autônomas, equipamentos, aplicativos e softwares).	Política
B12	Falta de Abordagens Centradas na Fazenda e Centradas no Agricultor	Referem-se às novas medidas que devem ser incrementadas para agilizar o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola (por exemplo: cooperativas de agricultores, organizações governamentais rurais, empresas agrícolas privadas).	
B13	Necessidade de Desenvolver um Plano de Ação para Implementação de Tecnologia	O desenvolvimento da agricultura 4.0 necessita de um plano de ação que facilite a implementação das tecnologias emergentes na agricultura (por exemplo: propostas governamentais da câmara 4.0).	
B14	Desafios Políticos e/ou falta de Procedimentos e Acordos sobre o uso de Dados	A agricultura 4.0 requer uma atualização política à medida que novas tecnologias para a agricultura são desenvolvidas (por exemplo: regularização fundiária, legislações, acordos e normas sobre o uso de dados agrícolas e do funcionamento de máquinas e equipamentos agrícolas autônomos no campo).	
B15	Necessidade de Promover P&D e Modelos de Negócios Inovadores	Falta uma integração de universidades e centros de incubação tecnológica (por exemplo: polos de inovação, startups), além de um alto investimento em P&D para facilitar o desenvolvimento de tecnologias na agricultura 4.0.	

B16	Problemas na Educação	O sistema educacional agrícola precisa ser atualizado, para possibilitar o atendimento das competências exigidas pela agricultura 4.0 (por exemplo: formação, qualificação, treinamento, capacitação em análises de dados agrícolas, transferência dos dados para o conhecimento prático). É um desafio na agricultura 4.0 realizar a transferência de dados para conhecimentos práticos entre os atores da cadeia de produção agrícola.	Social
B17	Risco de Faixa Etária	É definido como a diminuição no uso de tecnologias da agricultura 4.0 pelos atores da cadeia de produção agrícola na categoria da faixa etária adulta (50-55 anos).	
B18	Falta de Habilidades Digitais e/ou Mão de Obra Qualificada	Refere-se às competências exigidas para praticar a agricultura 4.0 (por exemplo: <i>know-how</i> técnico, habilidades digitais e tecnológicas). A chave para o sucesso na agricultura 4.0 vai depender das competências digitais e/ou da mão de obra qualificada.	
B19	Assimetria de Informações	Falta desenvolver diretrizes para os atores da cadeia de produção agrícola que proporcionem uma compreensão clara sobre as vantagens de implementar a agricultura 4.0.	
B20	Interrupção do Trabalho Existente	É definido como as interrupções nos trabalhos existentes ocasionadas pelo emprego das novas tecnologias da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola. Será necessário realizar uma adaptação às novas operações tecnológicas deste setor.	
B21	Desafios da Influência do Clima e dos Comportamentos do Sistema	Devido à influência do clima e do comportamento do sistema (chuva, sol, vento), as tecnologias da agricultura 4.0 podem sofrer deteriorações.	Ambiental
B22	Falta de Eficácia nos Dados do Meio Rural	Isso se refere à eficácia dos dados de previsão climática no ambiente rural (por exemplo: temperatura ambiente, umidade do ar, umidade do solo, incidência de raios solares, precipitação).	
B23	Restrições Sustentáveis	Refere-se às restrições sobre o modo radical de produção de alimentos, consumo de alimentos e disposição de resíduos alimentares que podem ser desenvolvidas pelos consumidores na agricultura 4.0.	
B24	Técnicas Limitadas para Coleta de Dados em Fazendas	É um desafio desenvolver técnicas úteis para a coleta de dados na cadeia de produção agrícola.	
B25	Tecnologias com Características Sustentáveis	Refere-se às tecnologias da agricultura 4.0 para a cadeia de produção agrícola que possuem características sustentáveis (mas de pouca produtividade).	

**Nota:** \*Elaborado com base na RSL desenvolvida por [da Silveira et al. \(2021\)](#).

Nesse contexto, uma análise da percepção dos agricultores sobre as barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 em diferentes áreas geográficas é crucial para poder maximizar suas vantagens e benefícios no mundo (Hinson et al., 2019; Klerkx e Rose, 2020). Esta pesquisa contribui ao relatar o primeiro estudo que busca validar um conjunto de barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região sul do Brasil. Em meio à crise sanitária do COVID-19 (Rizou et al., 2020), o comportamento do agronegócio brasileiro se mostrou resiliente, com diversos records atingidos pelo setor em 2020 (CEPEA, 2021). Considerando os desempenhos do agronegócio e da economia brasileira até o momento, a participação deste setor no Produto Interno Bruto (PIB) total se manteve em torno de 30% em 2021 (CEPEA, 2021). No entanto, será um desafio atender às projeções para 2030-2031 realizadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) na produção de grãos, estimada em 333,1 milhões de toneladas; de carne (bovina, suína e de aves), estimada em 34 milhões de toneladas (MAPA, 2021a); e, em paralelo, contribuir para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (por exemplo: ODS12) da Agenda “2030” (Hinson et al., 2019; Fanzo et al., 2021). Por isso, é fundamental compreender as reais barreiras que dificultam a cadeia de produção agrícola brasileira de tirar o máximo dos benefícios e das vantagens do modelo da agricultura 4.0 (Bolfe et al., 2020a; da Silveira et al., 2021). Isso vai permitir dar continuidade no aumento da produtividade e eficiência das *commodities* sem o uso adicional de recursos naturais (Hinson et al., 2019). Ainda, isto permite mitigar os *trade-offs* existentes na cadeia de produção agrícola que exigem atenção, como por exemplo: heterogeneidade na adoção das tecnologias da agricultura 4.0 (Bolfe et al., 2020a). No caso da produção de cana-de-açúcar (Santoro et al., 2017), soja (Machado et al., 2016; Tetila et al., 2020), fruticultura (Carrer et al., 2017; Pereira et al., 2018), horticultura hidropônica (Santos et al., 2020; Campos et al., 2021), entre outras (Barbedo, 2018), há uma adoção significativa desses tipos de tecnologia no Brasil, enquanto na produção de milho (Ramos et al., 2020), pecuária de corte (Barbedo e Koenigkan, 2018), café (Leme et al., 2020), algodão (Alves et al., 2020; Oliveira et al., 2020), etc., a adoção dessas tecnologias é incipiente (Bolfe et al., 2020b).

Os resultados deste estudo não só podem ser úteis para outros países em desenvolvimento, mas também contribuem para discussões sistêmicas sobre o sistema agroalimentar do século XXI (O'Malley et al., 2020; Spanaki et al., 2021), encorajando o desenvolvimento de ações por parte dos tomadores de decisão em todas as escalas da cadeia de produção agrícola para o cumprimento das metas globais da “Agenda 2030” (Fanzo et al.,

2021). Faltando menos de uma década para 2030, é necessário acelerar as antecipações dos futuros possíveis e pensar nas trajetórias atuais da agricultura 4.0, que podem ajudar a colocar o mundo em um caminho mais sustentável e resiliente (Fleming et al., 2021). As seções deste artigo estão estruturadas da seguinte forma. Na Seção 3.2. está o cenário da pesquisa, onde foi caracterizada a área selecionada de aplicação do estudo. Além disso, demonstrou-se a importância de selecionar os agricultores para participar de pesquisas que tratam do desenvolvimento da agricultura 4.0. Na Seção 3.3., são apresentados os procedimentos metodológicos para o tratamento e análise dos dados onde consta seu desenho, a estratégia de amostragem e o tamanho da amostra. Os resultados são apresentados na Seção 3.4., seguidos pelas discussões das descobertas na Seção 3.5. e as conclusões na Seção 3.6.

## 3.2. CENÁRIO DA PESQUISA

### 3.2.1. Área de estudo

A região sul do Brasil é responsável por aproximadamente 41,26% (US \$38.628.350.410) da exportação total (US \$93.621.789.652) do agronegócio (MAPA, 2021a). Os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná formam a região sul, e em conjunto são responsáveis por uma área plantada de 20,874 milhões de hectares (2020-2021), mas há uma expansão prevista para 23,082 milhões de hectares (2030-2031) (MAPA, 2021b), compondo a segunda maior área plantada do país. Além disso, esta região vem desenvolvendo um interessante ecossistema de inovação no agronegócio. A região sul abriga 25,2% (397) de todas as *agtechs* sediadas no Brasil, as quais estimulam o desenvolvimento da inovação aberta para geração de valor e prosperidade econômica no setor (Figueiredo et al., 2021), e focam no desenvolvimento de soluções tecnológicas para a agricultura (Ramos e Pedroso, 2021). A Figura 6 apresenta a distribuição dos respondentes da pesquisa na região Sul do Brasil e os dados representativos da amostra de agricultores ( $n = 347$ ).

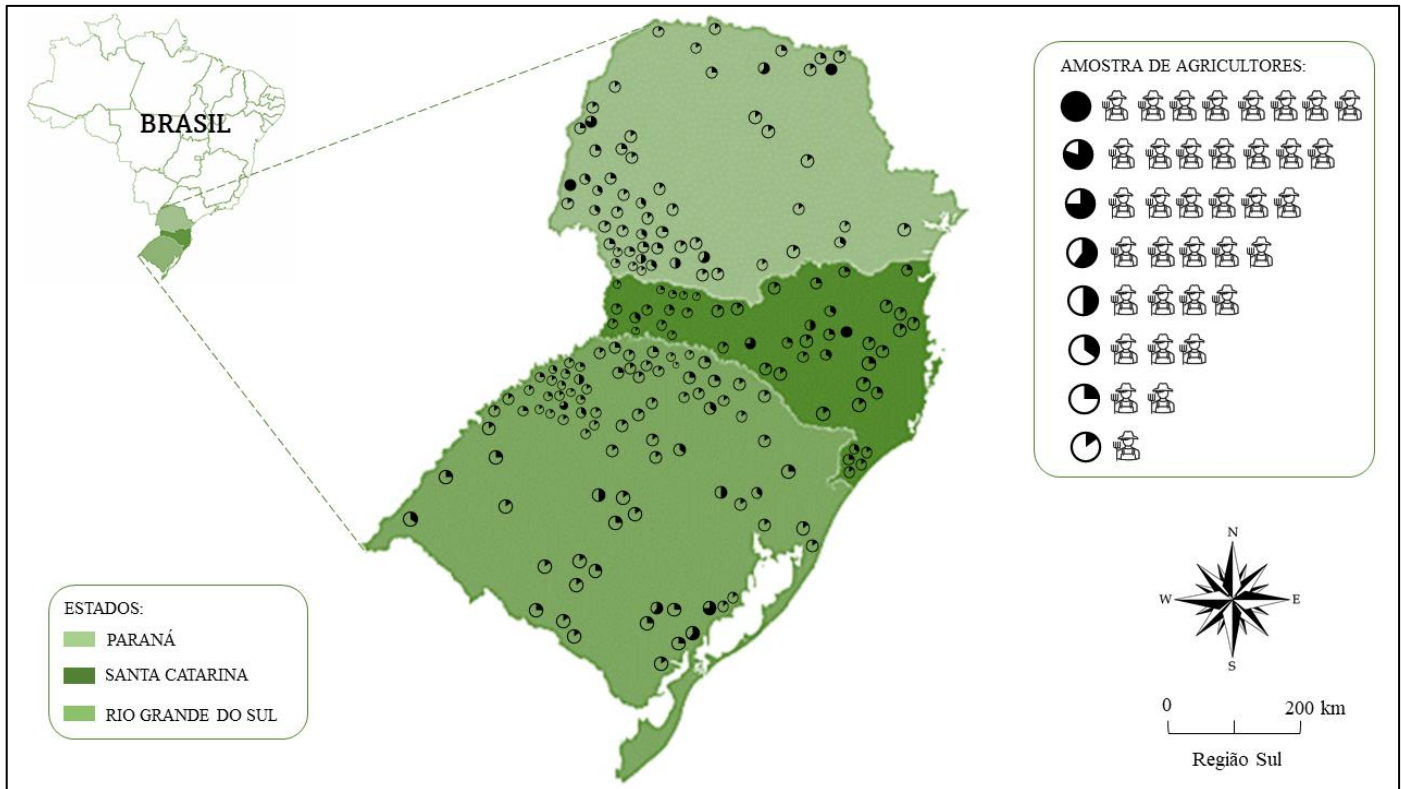


Figura 6 – Distribuição dos respondentes da pesquisa na região Sul do Brasil ( $n = 347$ ).

### 3.2.2. Importância dos agricultores no desenvolvimento da agricultura 4.0

Os agricultores podem ser a chave para lidar com as incertezas que estão relacionadas com a agricultura 4.0 (Maria et al., 2021). Sua inclusão no processo de desenvolvimento de tecnologias da agricultura 4.0 pode torná-las mais aceitáveis ou úteis (Kerneck et al., 2020). Logo, o agricultor é considerado o principal impulsionador no processo de adoção (Paustian e Theuvsen, 2017). No entanto, há uma compreensão limitada de como os agricultores, como usuários finais de tecnologias agrícolas, podem contribuir para o desenvolvimento da agricultura 4.0 (Eastwood e Renwick, 2020; Kerneck et al., 2020). Por isso, compreender as percepções dos agricultores brasileiros com relação às barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola pode fornecer importantes *insights* para o delineamento estratégico do Plano de Ação (2021-2024) lançado pela Câmara Agro 4.0. O objetivo do “Plano de Ação” é promover ações voltadas ao desenvolvimento e geração de soluções aplicadas à agropecuária brasileira, à expansão da internet no campo e à promoção e difusão de tecnologias e serviços inovadores no ambiente rural (MCTI, 2021).

Souza et al. (2019) relataram que os agricultores da região Sul do Brasil têm os maiores níveis de adoção de tecnologia no país. Os agricultores dessa região se destacam por possuir um ecossistema que favorece o acesso a tecnologias emergentes. Por isso, abraçam a agricultura



4.0 (Brasil, 2021). Além disso, o percentual de agricultores analfabetos na região Sul (4,2%) é baixo em comparação com as regiões Norte (20,4%) e Nordeste (38,2%) (Buainain et al., 2021). Em relação às tendências populacionais, os agricultores da região Sul são majoritariamente do sexo masculino, com idade média em constante crescimento (IBGE, 2017). As propriedades de pequeno e médio porte são predominantes e têm papel fundamental nas economias locais (Foguesatto et al., 2019; Arends-Kuenning et al., 2021). Os agricultores dessa região também desempenham um papel significativo no mercado internacional, exportando importantes *commodities* agrícolas, como arroz (Ribas et al., 2021), soja e milho (Santos et al., 2021).

### 3.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.3.1. Desenho do estudo

Com os efeitos da pandemia do COVID-19 no desenvolvimento de pesquisas científicas em nível global (Singh e Sagar, 2021), o presente estudo empregou uma pesquisa online para a coleta de dados. O instrumento de pesquisa (questionário) foi elaborado no “*Formulário Google*” e dividido em quatro seções, com o objetivo de coletar dados relacionados ao perfil dos agricultores do Sul do Brasil, no tocante às barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola. O estudo desenvolvido por da Silveira et al. (2021), serviu de base para a elaboração das questões da pesquisa online. Os dados foram coletados entre 6 de fevereiro e 28 de abril de 2021. O formato e o conteúdo do questionário foram validados por três pesquisadores especialistas em tecnologias da agricultura 4.0.

A validação do questionário de pesquisa utilizado para a coleta de dados seguiu as seguintes etapas: i) planejamento do que seria medido; ii) formulação das questões para obtenção da informação necessária, iii) definição do texto e ordem das questões e aspecto visual do questionário na plataforma online; iv) simulação das respostas do questionário na plataforma online pelos pesquisadores; v) teste do questionário com uma pequena amostra de agricultores como forma de identificar omissões e ambiguidades; e vi) correção de problemas e validação das alterações. Os pesquisadores que participaram desse processo eram do sexo masculino com as seguintes formações: Pesquisador 1 - bacharel em engenharia mecânica, mestre em engenharia de produção e doutor em engenharia agrícola; Pesquisador 2 - bacharel em engenharia mecânica, mestre em engenharia de produção e estudante de doutorado em engenharia de produção; e Pesquisador 3 - bacharel, mestre e doutor em engenharia elétrica.

As questões foram construídas de forma que promovessem o entendimento aos respondentes. Para isso, um estudo piloto foi realizado com 10 agricultores para identificar possíveis problemas relacionados com as questões da pesquisa, omissões e outros desafios vivenciados pelos respondentes de pesquisas online (Andrade, 2020). O questionário final foi modificado com base nesse feedback. A amostra do estudo piloto foi incluída no estudo principal, pois não houve mudanças substanciais nas questões da pesquisa que influenciassem os achados.

A seção 1 do questionário continha uma descrição breve da pesquisa contendo as seguintes informações: objetivo da pesquisa, autores da pesquisa, contato dos autores para dúvidas, instituições responsáveis pela pesquisa, importância da participação dos respondentes, garantia de confidencialidade, e tempo para preenchimento. A seção 2 incluiu questões relacionadas ao perfil sociodemográfico e educacional dos agricultores, as quais ajudaram a caracterizar a amostra da pesquisa com relação ao sexo, idade, nível escolar, localização do estado e cidade da fazenda, tamanho da área cultivada e o principal tipo de cultura agrícola desenvolvida. Na seção 3 do questionário foi avaliada a importância das barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 (Tabela 9). Também foram elaboradas cinco subseções com cinco questões cada, de acordo com as seguintes dimensões: tecnológicas (5), econômicas (5), políticas (5), sociais (5) e ambientais (5). Os respondentes indicaram se as 25 barreiras são importantes na sua decisão de implementação da agricultura 4.0. Com o objetivo de verificar o grau de importância das barreiras apresentadas aos agricultores, a base das respostas foi por meio da escala *Likert* (Likert, 1932) de cinco pontos, variando de “sem importância = 1” a “muito importante = 5”. Por fim, a seção 4 incluiu uma mensagem de agradecimento aos participantes da pesquisa e uma questão sobre o interesse de receber os resultados deste estudo. O questionário pode ser acessado no link: [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdePbgXDzAximehLKyC9fuUDc\\_6WJQOct48nwxQVUdeQioTWqg/viewform?usp=sf\\_link](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdePbgXDzAximehLKyC9fuUDc_6WJQOct48nwxQVUdeQioTWqg/viewform?usp=sf_link).

### **3.3.2. Estratégia de amostragem**

Um convite contendo os objetivos e o link da pesquisa foi amplamente distribuído em grupos e páginas de redes sociais (*Facebook*, *WhatsApp*, *LinkedIn* e *Instagram*) que tratam de assuntos e informações sobre a agricultura 4.0 para agricultores. Houve também apoio de técnicos de órgãos governamentais, como da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA), Universidades (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade

Federal de Santa Maria, Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Federal do Paraná), Secretarias Estaduais de Agricultura, e Empresas de Extensão Rural (EMATER, EPAGRI, Casa da Agricultura), para divulgar a pesquisa por e-mail entre os agricultores. A participação nesta pesquisa foi de caráter voluntário. Os agricultores foram incentivados a fazer qualquer pergunta sobre o estudo da pesquisa ou ainda solicitar mais esclarecimentos antes de responder às questões da pesquisa. Os sujeitos incluídos neste estudo deveriam ter 18 anos de idade completos ou mais, bem como residir em um dos três estados da região Sul do Brasil. Além disso, não foi atribuído nenhum pagamento ou premiação decorrentes da participação dos agricultores nesta pesquisa e foi garantido o direito ao sigilo e ao anonimato.

### **3.3.3. Tamanho da amostra**

O tamanho da amostra populacional foi calculado com base nos dados oficiais disponibilizados pelo último censo agropecuário da região Sul do Brasil (2.340.866 milhões de agricultores). Destes, 42,4% estão no Rio Grande do Sul, 36,2% no Paraná e 21,4% em Santa Catarina (IBGE, 2017). O tamanho mínimo da amostra necessária para este estudo atingir uma margem de erro máxima de 5% em um intervalo de confiança de 90% foi de 271 agricultores (Som, 1995; Fuller, 2011). A amostra obtida foi de 347 agricultores, distribuídos de forma proporcional aos estratos populacionais dos três estados (Tabela 11), atingindo uma margem de erro de 4,4%. De acordo com os dados oficiais disponibilizados pelo governo brasileiro (IBGE, 2017), a amostra desta pesquisa é considerada representativa da população de agricultores da cadeia de produção agrícola da região Sul do País.

### **3.3.4. Análise estatística**

Após a obtenção dos dados provenientes da aplicação da pesquisa online, estes foram revisados, codificados e inseridos em três softwares. O primeiro foi o *MS Excel*, utilizado para tabular os dados. Posteriormente, foram realizadas análises estatísticas nos dados com auxílio do *Statistical Package for Social Sciences (SPSS)* versão 28.0 e do *SPSS AMOs* versão 28. As análises realizadas foram: i) análises descritivas - tabelas de frequências; gráficos; cálculo de medidas resumo (média e desvio-padrão) (Boone e Boone, 2012); e ii) análises inferenciais - mensuração da confiabilidade do questionário e seus construtos pelo coeficiente *Alfa de Cronbach* (Streiner, 2003) e Análise Fatorial Confirmatória (AFC) (Hair et al., 2006).

A AFC é uma técnica estatística multivariada que serve para explorar um conjunto de dados e tem por objetivo reduzir certo número de variáveis a uma dimensão menor (Orçan,

2018). Essa redução é representada por uma nova variável (componente) que expressa uma combinação linear das variáveis originais, todas métricas ou quantitativas (Hair et al., 2006). Foi adotado o teste de *Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)* no desenvolvimento da AFC. Esse teste aponta a proporção da variância dos dados que pode ser considerada comum a todas as variáveis, ou seja, que pode ser atribuída a um fator comum (Glen, 2020). São aceitáveis para o teste valores entre 0,5 e 1,0 (Hair et al., 2006). Na sequência, foi adotado o teste de *Bartlett*. Esse teste indica se a matriz de correlação entre as variáveis pode ser considerada uma matriz identidade, indicando ausência de correlação entre as variáveis (Bartlett, 1947). Ainda, na AFC, a adequação do modelo foi verificada por meio dos seguintes indicadores de ajuste: razão do qui-quadrado em relação aos graus de liberdade ( $\chi^2/df$ ), *Comparative-Fit Index (CFI)*, *Tucker-Lewis Index (TLI)*, e *Root Mean Square Error Approximation (RMSEA)*. Para obter níveis satisfatórios de ajuste, é necessário que a razão  $\chi^2/df$  seja menor que dois (Ullman, 2013), que os valores de CFI e TLI estejam acima de 0,90 (Hoyle, 1995) e que os valores de RMSEA estejam localizados abaixo de 0,08 (ajuste adequado) ou abaixo de 0,05 (ajuste excelente) (Browne e Cudeck, 1993). Foi adotado nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ) para todos os testes.

## 3.4. RESULTADOS

### 3.4.1. Análise descritiva

#### 3.4.1.1. Características sociodemográficas dos participantes do estudo

A Tabela 10 apresenta as características sociodemográficas dos agricultores que participaram do estudo. A amostra estudada é composta por 303 (87,3%) homens (idade média = 34,2 anos; DP = 13,5 anos) e 44 (12,7%) mulheres (idade média = 30,3 anos; DP = 11,4). Os agricultores eram de diferentes faixas etárias, sendo 41,8% com idade entre 21 e 30 anos (145 amostras). Aproximadamente 57,6% dos agricultores da amostra estudada possuíam ao menos uma das seguintes etapas da formação no ensino superior completas: graduação (43,8%), especialização (1,7%), mestrado (6,3%) e doutorado (5,8%). Com relação ao tempo de trabalho com as culturas, 168 (48,4%) dos participantes da pesquisa responderam possuir até 10 anos, enquanto 95 (27,4%) responderam ter entre 11 e 20 anos. A média de tempo em que os agricultores trabalham nas culturas foi de  $15,9 \pm 11,3$  anos (variando de 1 a 55 anos).

Tabela 10 – Características sociodemográficas dos agricultores da amostra do estudo.

Variável	n	%
<b>Sexo</b>		
Masculino	303	87,3
Feminino	44	12,7
Total	347	100,0
<b>Idade (anos)</b>		
Até 20	29	8,4
21 a 30	145	41,8
31 a 40	81	23,3
41 a 50	33	9,5
51 a 60	35	10,1
Acima de 60	24	6,9
Total	347	100,0
<b>Escolaridade</b>		
Ensino Fundamental	26	7,5
Ensino Médio	67	19,3
Ensino Médio Técnico	54	15,6
Graduação	152	43,8
Especialização	6	1,7
Mestrado	22	6,3
Doutorado	20	5,8
Total	347	100,0
<b>Tempo que trabalha com a cultura (anos)</b>		
Até 10	168	48,4
11 a 20	95	27,4
21 a 30	48	13,8
31 a 40	25	7,2
Mais de 40	11	3,2
Total	347	100,0

**Nota:** As variáveis categóricas são apresentadas como frequências e proporções.

#### 3.4.1.2. Informações relacionadas à produção agrícola

Os resultados da Tabela 11 revelam que 138 (39,8%) do total de 347 participantes possuíam uma área de terra cultivada entre 21 e 100 hectares. Aproximadamente 105 (30,2%) agricultores relataram possuir uma área de terra cultivada maior que 100 hectares, enquanto 104 (30%) relataram ter no máximo 20 hectares. O milho é a principal cultura em 201 (57,9%) das propriedades, aparecendo em segundo lugar o cultivo da soja e do arroz, cada um com 36 (10,4%) propriedades. Apenas 15 (4,3%) agricultores relataram o trigo como sua principal cultura agrícola. Em relação à região, 148 (42,7%) dos respondentes eram do estado do Rio Grande do Sul, 118 (34%) do Paraná (34%), e 81 (23,3%) de Santa Catarina.

Tabela 11 – Características da produção agrícola dos agricultores da amostra do estudo.

Variável	n	%
<b>Espaço de Terras (hectares)</b>		
Até 20	104	30,0
21 a 100	138	39,8
Mais de 100	105	30,2
Total	347	100,0
<b>Principal cultura produzida</b>		
Milho	201	57,9
Arroz	36	10,4
Soja	36	10,4
Trigo	15	4,3
Fruticultura	19	5,5
Outra*	40	11,5
Total	347	100,0
<b>Estado</b>		
Paraná	118	34,0
Rio Grande do Sul	148	42,7
Santa Catarina	81	23,3
Total	347	100,0

Nota: As variáveis categóricas são apresentadas como frequências e proporções. \*Outra: (aveia, fumo, feijão, alho, cebola).

### 3.4.2. Barreiras no desenvolvimento da agricultura 4.0

Os dados da Figura 7 mostram uma equivalência entre todas as barreiras validadas na dimensão tecnológica. Esses dados reforçam que a agricultura 4.0 possui vários aspectos tecnológicos complexos que devem ser considerados. Assim, barreiras como *B1 - Complexidade Tecnológica* (4), *B2 - Incompatibilidade entre Componentes* (4), *B3 - Problemas de Gerenciamento de Energia* (4), *B4 - Falta de Infraestrutura* (4) e *B5 - Preocupações sobre a Confiabilidade de Dados* (4) devem ser abordadas para ter uma implementação mais abrangente da agricultura 4.0. Embora essas barreiras não tenham atingido a pontuação máxima (5), todas foram identificadas como importantes (4).

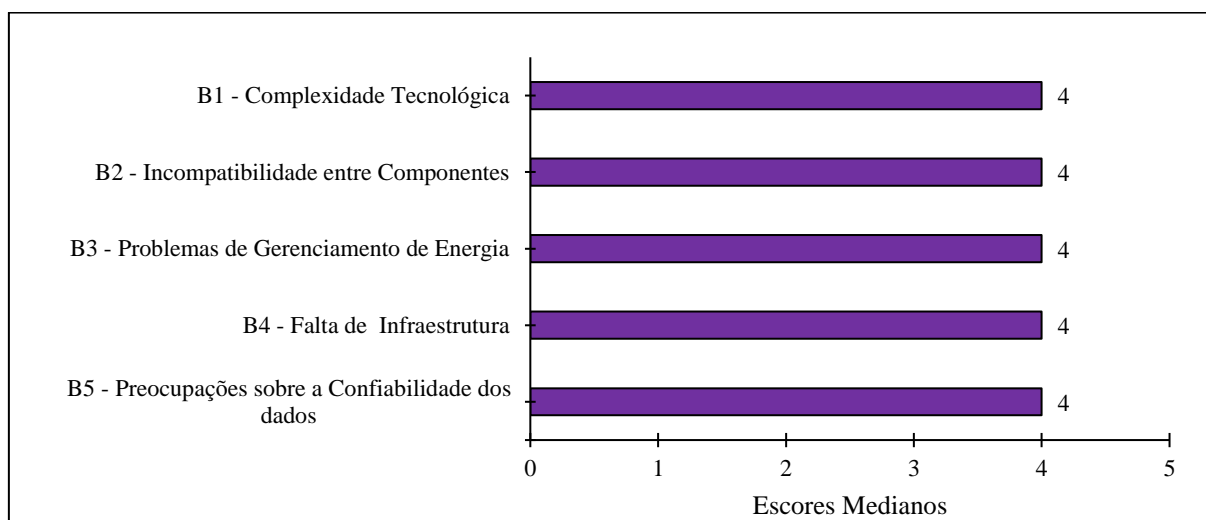
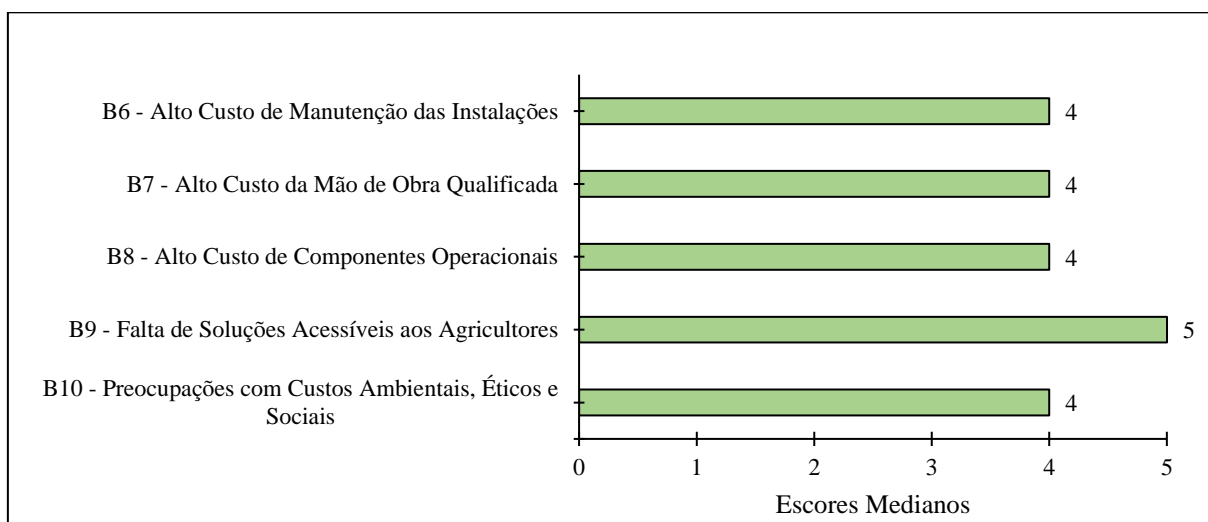


Figura 7 – Barreiras tecnológicas.

Na [Figura 8](#) estão os dados sobre a importância das barreiras inseridas na dimensão econômica. A barreira *B9 - Falta de Soluções Acessíveis aos Agricultores* (5) atingiu a pontuação máxima na percepção dos agricultores do estudo. Esses resultados chamam a atenção para um problema complementar: a desigualdade econômica entre os agricultores do Sul do Brasil. Os agricultores com maior poder aquisitivo na cadeia de produção agrícola podem ter maior probabilidade de implementar a agricultura 4.0 do que agricultores com menor poder aquisitivo. As demais barreiras foram sinalizadas como importantes (4), demonstrando que esta dimensão também possui diversas implicações que devem ser cuidadas e mitigadas.



[Figura 8](#) – Barreiras econômicas.

Tanto na dimensão política ([Figura 9](#)), quanto na dimensão tecnológica ([Figura 7](#)), não houve diferença no escore mediano (4) entre essas barreiras validadas. Os resultados demonstram que um conjunto de medidas para superá-los são necessários para promover a agricultura 4.0 neste setor entre os agricultores.

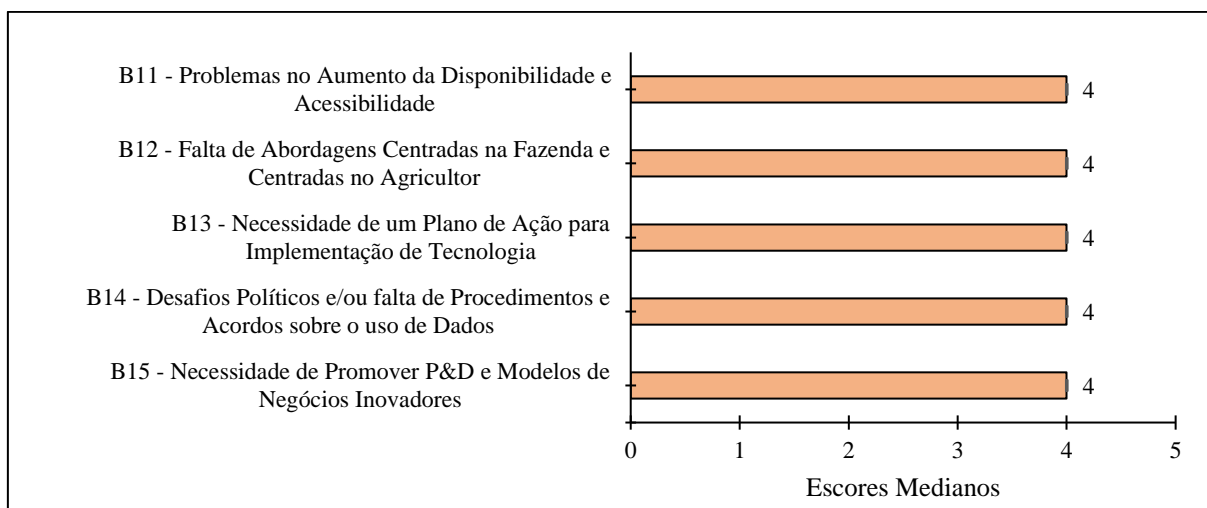


Figura 9 – Barreiras políticas.

Os dados apresentados na Figura 10 lançam luz sobre o que deve ser resolvido para melhorar a escassez brasileira de mão de obra qualificada na agricultura 4.0. As barreiras com maior escore mediano (5) foram *B16 - Problemas na Educação* e *B17 - Risco de Faixa Etária*. Cabe mencionar que a dimensão social (4,4) foi a mais significativa entre os agricultores deste estudo (dimensão ambiental = 4,2; dimensão econômica = 4,2; dimensão política = 4 e dimensão tecnológica = 4).

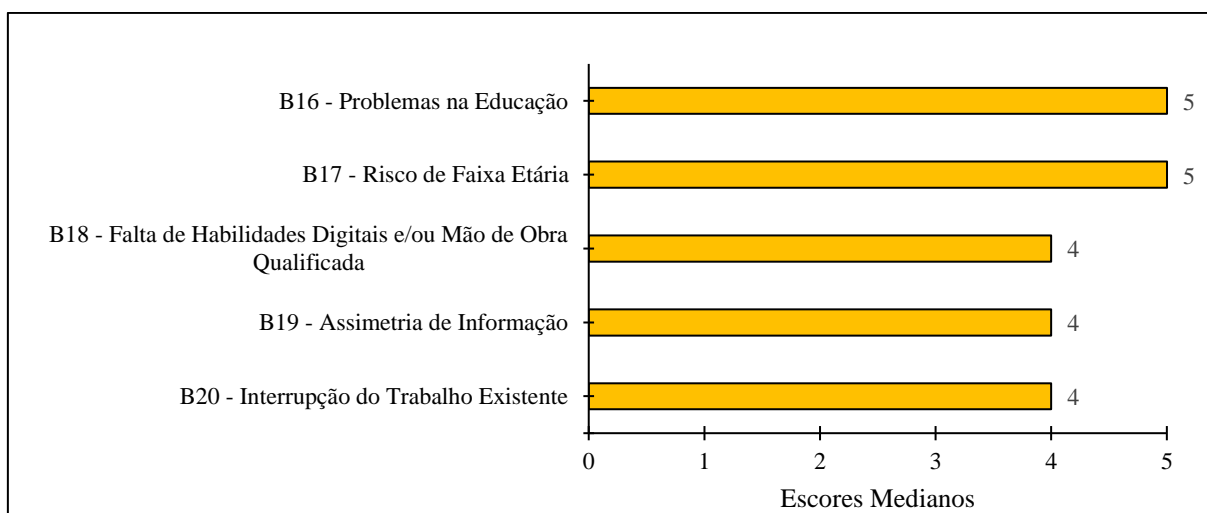


Figura 10 – Barreiras sociais.

A Figura 11 mostra o escore mediano das barreiras na dimensão ambiental. A barreira *B25 – Tecnologias com Características Sustentáveis* (3) foi a menos observada pelos agricultores da amostra da pesquisa. Essa barreira também foi a menos apontada pelos agricultores considerando as 25 barreiras validadas nesta pesquisa.



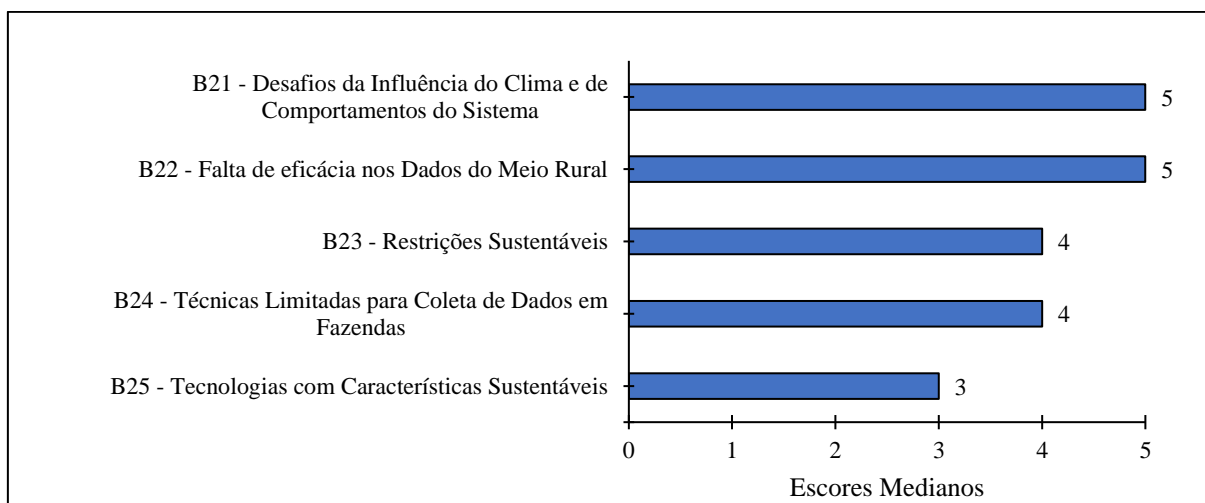


Figura 11 – Barreiras ambientais.

A Tabela 12 apresenta as frequências atribuídas pelos respondentes aos “níveis de importância” das 25 barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil. As proporções na tabela corroboram os resultados das Figuras 7 a 11. Na dimensão tecnológica, a barreira B3 - *Problemas de Gerenciamento de Energia* teve a maior frequência observada 39 (11,2) no “Sem Importância”. Já no “Pouco Importante”, a barreira B5 - *Preocupações sobre a Confiabilidade de Dados* foi a mais apontada 43 (12,4). Com relação a “Média Importância” a barreira B2 - *Incompatibilidade entre Componentes* foi a mais citada 63 (18,2). No tocante a “Importante”, a barreira B2 também teve a maior frequência observada 127 (36,6). Quanto a variável “Muito Importante”, a barreira B4 - *Falta de Infraestrutura* foi a mais considerada 166 (47,8).

Já na dimensão econômica, a barreira B8 - *Alto Custo de Componentes Operacionais* teve a maior frequência observada 23 (6,6) no “Sem Importância”. Dando sequência na análise dos dados, percebe-se que na “Pouco Importante” a barreira B10 - *Preocupações com Custos Ambientais, Éticos e Sociais* foi a mais apontada 34 (9,8). No caso da “Média Importância”, a barreira B10 também teve o registro de maior importância 57 (16,4). Acerca da variável “Importante”, constata-se que a barreira B7 - *Alto Custo de Mão de Obra Qualificada* foi a mais citada 122 (35,2). No que tange a “Muito Importante”, observa-se que a barreira B9 - *Falta de Soluções Acessíveis aos Agricultores* teve a maior frequência observada entre os respondentes 180 (51,9).

No que se refere a dimensão política, a barreira *B14 - Desafios Políticos e/ou falta de Procedimentos e Acordos sobre o uso de Dados* foi a mais apontada 27 (7,8) no elemento “Sem Importância”. Isso se repetiu na “Pouco Importante”, onde a barreira B14 foi a mais considerada 41 (11,8). Sobre a variável “Média Importância”, nota-se que as barreiras *B11 - Problemas no Aumento da Disponibilidade e Acessibilidade* e B14 tiveram as maiores observações dos respondentes da amostra 63 (18,2). Já no caso da “Importante”, a barreira *B12 - Falta de Abordagens Centradas na Fazenda e Centradas no Agricultor* foi a mais avaliada 145 (41,8). A respeito da “Muito Importante”, a barreira *B15 - Necessidade de Promover P&D e Modelos de Negócios Inovadores* teve os maiores apontamentos 148 (42,7).

Inicialmente na dimensão cultural, a barreira *B19 - Assimetria de Informações* enquadrou-se na variável “Sem Importância” como a de maior frequência observada 25 (7,2). A barreira B19 também foi a mais citada entre os agricultores na “Pouco Importante” 31 (8,9), “Média Importância” 52 (15,0), e “Importante” 126 (36,3). A “Muito Importante” obteve a barreira *B17 - Risco de Faixa Etária* como a mais significativa 195 (56,2).

Tabela 12 – Barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil.

Construto/Variáveis	Sem Importância		Pouco Importante		Média Importância		Importante		Muito Importante	
	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)
	Essas barreiras tecnológicas são importantes na sua decisão de implementação da Agricultura 4.0?									
B1 - Complexidade Tecnológica	27	(7,8)	35	(10,1)	53	(15,3)	110	(31,7)	122	(35,2)
B2 - Incompatibilidade entre Componentes	25	(7,5)	35	(10,1)	63	(18,2)	127	(36,6)	96	(27,7)
B3 - Problemas de Gerenciamento de Energia	39	(11,2)	35	(10,1)	57	(16,4)	110	(31,7)	106	(30,5)
B4 - Falta de Infraestrutura	20	(5,8)	25	(7,2)	27	(7,8)	109	(31,4)	166	(47,8)
B5 - Preocupações sobre a Confiabilidade de Dados	34	(9,8)	43	(12,4)	39	(11,2)	97	(28,0)	134	(38,6)
Essas barreiras econômicas são importantes na sua decisão de implementação da Agricultura 4.0?										
B6 - Alto Custo de Manutenção de Instalações	10	(2,9)	23	(6,6)	28	(8,1)	113	(32,6)	173	(49,9)
B7 - Alto Custo de Mão de Obra Qualificada	13	(3,7)	26	(7,5)	25	(7,2)	122	(35,2)	161	(46,4)
B8 - Alto Custo de Componentes Operacionais	23	(6,6)	29	(8,4)	35	(10,1)	116	(33,4)	144	(41,5)
B9 - Falta de Soluções Acessíveis aos Agricultores	15	(4,3)	20	(5,8)	23	(6,6)	109	(31,4)	180	(51,9)
B10 - Preocupações com Custos Ambientais, Éticos e Sociais	18	(5,2)	34	(9,8)	57	(16,4)	111	(32,0)	127	(36,6)
Essas barreiras políticas são importantes na sua decisão de implementação da Agricultura 4.0?										
B11 - Problemas no Aumento da Disponibilidade e Acessibilidade	16	(4,6)	38	(11,0)	63	(18,2)	109	(31,4)	121	(34,9)
B12 - Falta de Abordagens Centradas na Fazenda e Centradas no Agricultor	17	(4,9)	38	(11,0)	50	(14,4)	145	(41,8)	97	(28,0)
B13 - Necessidade de Desenvolver um Plano de Ação para Implementar	21	(6,1)	35	(10,1)	40	(11,5)	129	(37,2)	122	(35,2)
B14 - Desafios Políticos e/ou falta de Procedimentos e Acordos sobre o uso de Dados	27	(7,8)	41	(11,8)	63	(18,2)	104	(30,0)	112	(32,3)
B15 - Necessidade de Promover P&D e Modelos de Negócios Inovadores	25	(7,2)	36	(10,4)	45	(13,0)	93	(26,8)	148	(42,7)
Essas barreiras sociais são importantes na sua decisão de implementação da Agricultura 4.0?										
B16 - Problemas na Educação	14	(4,0)	24	(6,9)	32	(9,2)	92	(26,5)	185	(53,3)
B17 - Risco de Faixa Etária	12	(3,5)	25	(7,2)	27	(7,8)	88	(25,4)	195	(56,2)
B18 - Falta de Habilidades Digitais e/ou Mão de Obra Qualificada	10	(2,9)	24	(6,9)	43	(12,4)	124	(35,7)	146	(42,1)
B19 - Assimetria de Informações	25	(7,2)	31	(8,9)	52	(15,0)	126	(36,3)	113	(32,6)
B20 - Interrupção do Trabalho Existente	11	(3,2)	22	(6,3)	41	(11,8)	113	(32,6)	160	(46,1)
Essas barreiras ambientais são importantes na sua decisão de implementação da Agricultura 4.0?										
B21 - Desafios da Influência do Clima e dos Comportamentos do Sistema	20	(5,8)	29	(8,4)	38	(11,0)	86	(24,8)	174	(50,1)
B22 - Falta de Eficácia nos Dados do Meio Rural	16	(4,6)	28	(8,1)	17	(4,9)	84	(24,2)	202	(58,2)
B23 - Restrições Sustentáveis	18	(5,2)	31	(8,9)	39	(11,2)	126	(36,3)	133	(38,3)
B24 - Técnicas Limitadas para Coleta de Dados em Fazendas	20	(5,8)	32	(9,2)	46	(13,3)	121	(34,9)	128	(36,9)
B25 - Tecnologias com Características Sustentáveis	60	(17,3)	64	(18,4)	50	(14,4)	92	(26,5)	81	(23,3)

■ Barreira de maior frequência observada.

■ Barreira de menor frequência observada.

Ao considerar a dimensão ambiental da [Tabela 12](#), constata-se que a barreira *B25 - Tecnologias com Características Sustentáveis* foi a mais considerada para “Sem Importância” 60 (17,3), “Pouco Importante” 64 (18,4), e “Média Importância” 50 (14,4). Em relação a “Importante”, a barreira *B23 - Restrições Sustentáveis* teve as maiores indicações 126 (36,3). Por fim, na “Muito Importante” a barreira *B22 - Falta de Eficácia nos Dados do Meio Rural* foi a mais mencionada entre os agricultores da amostra 202 (58,2).

Realizou-se também uma análise sobre a maior frequência observada considerando as barreiras de todas as dimensões. A barreira *B25* foi a mais apontada no caso da “Sem Importância” 60 (17,3), assim como na “Pouco Importante” 64 (18,4). No que diz respeito a variável da “Média Importância”, as barreiras *B2 - Incompatibilidade entre Componentes*, *B11 - Problemas no Aumento da Disponibilidade e Acessibilidade*, e *B14 - Desafios Políticos e/ou falta de Procedimentos e Acordos sobre o uso de Dados* apresentaram as maiores indicações 63 (18,2); e no tocante a “Importante”, a barreira *B2* foi a mais citada 127 (36,6). Na “Muito Importante” constatou-se que a barreira *B22* teve as maiores avaliações dos agricultores da amostra 202 (58,2) entre as barreiras de todas as dimensões.

### 3.4.3. Análise fatorial confirmatória

De acordo com os resultados apresentados na [Tabela 13](#), pode-se depreender que o questionário aplicado revelou ter boa consistência, uma vez que todos os coeficientes (por construto e geral) se mostraram superiores ao valor 0.8 ([Streiner, 2003](#)). O coeficiente de consistência geral do questionário foi de 0,952, denotando uma elevada consistência interna. Todos os construtos apresentaram coeficientes *Alfa de Cronbach* superiores a 0,8, sendo que os mais consistentes foram os referentes às Barreiras Tecnológicas (0,966) e às Barreiras Políticas (0,904).

[Tabela 13](#) – Coeficientes *Alfa de Cronbach* (por construto e geral) do instrumento de coleta de dados.

Construto*	n° de questões	<i>Alfa de Cronbach</i>
1 - Barreiras Tecnológicas	5	0,966
2 - Barreiras Econômicas	5	0,817
3 - Barreiras Políticas	5	0,904
4 - Barreiras Sociais	5	0,893
5 - Barreiras Ambientais	5	0,868
<b>Geral</b>	<b>25</b>	<b>0,952</b>

**Nota:** \*Os construtos são as dimensões apresentadas na [Tabela 9](#).

Os resultados para os testes de adequação evidenciaram que a amostra se mostrou adequada para a aplicação da análise fatorial confirmatória ( $KMO = 0,942$ ). Além disso, através do Teste de *Bartlett*, foi rejeitada a hipótese de que a matriz de correlações entre as variáveis do instrumento de pesquisa seja do tipo identidade ( $p < 0,05$ ), ou seja, as variáveis do questionário estão correlacionadas significativamente. Assim, após a verificação dos pressupostos, procedeu-se com a análise fatorial propriamente dita, considerando na análise como método de extração o de Componentes Principais, e método de rotação *Varimax*, com critério de inclusão do fator na análise caso apresentasse um autovalor maior do que 1 (unidade).

A [Tabela 14](#) traz o resultado da análise fatorial confirmatória com a matriz dos coeficientes das componentes geradas e suas respectivas cargas fatoriais. Foram identificadas e confirmadas as 5 componentes (construtos), diferenciados por cores, que compõem o questionário da *Survey*. Como se observa na última linha, os 5 fatores extraídos explicam 72,2% da variância acumulada das respostas (Fator 1 = 47,9%; Fator 2 = 7,9%; Fator 3 = 6,6%; Fator 4 = 5,3% e Fator 5 = 4,4%).

**Tabela 14** - Matriz estrutural dos coeficientes e fatores (componentes) do instrumento de pesquisa (questionário) resultante da análise fatorial confirmatória\*.

Questões	Componentes				
	1	2	3	4	5
B17	0,786	0,293	0,196	0,215	0,196
B18	0,731	0,346	0,264	0,229	0,193
B16	0,706	0,404	0,224	0,201	0,165
B20	0,666	0,353	0,238	0,236	0,202
B19	0,499	0,352	0,087	0,359	0,092
B13	0,260	0,792	0,203	0,119	0,211
B14	0,161	0,767	0,194	0,141	0,269
B15	0,236	0,717	0,132	0,298	0,214
B12	0,456	0,712	0,123	0,136	0,162
B11	0,435	0,574	0,198	0,247	0,078
B5	-0,031	0,125	0,753	0,244	0,204
B2	0,200	0,117	0,737	0,169	0,246
B3	0,219	0,151	0,726	0,277	0,062
B4	0,266	0,099	0,720	0,311	0,142

B1	0,258	0,295	0,679	0,101	0,064
B8	0,027	0,244	0,237	0,804	0,180
B9	0,236	0,164	0,261	0,786	0,100
B6	0,268	0,180	0,264	0,763	0,110
B7	0,382	0,081	0,299	0,666	0,256
B10	0,166	0,336	0,303	0,442	0,292
B23	0,267	0,213	0,182	0,166	0,755
B24	0,154	0,304	0,212	0,199	0,728
B25	-0,115	0,305	0,003	0,205	0,725
B22	0,471	0,073	0,309	0,078	0,695
B21	0,538	0,003	0,222	0,041	0,659
<b>Autovalor</b>	<b>11,99</b>	<b>1,98</b>	<b>1,65</b>	<b>1,33</b>	<b>1,11</b>
<b>% de Variância explicada</b>	<b>47,9</b>	<b>7,9</b>	<b>6,6</b>	<b>5,3</b>	<b>4,4</b>

**Note:** \*Método de Extração: Análise de Componentes Principais e método de Rotação: *Varimax* com Normalização *Kaiser*. A rotação convergiu em 10 iterações.

A partir das componentes geradas na análise fatorial confirmatória, percebe-se a confirmação adequada dos agrupamentos das questões do questionário em seus construtos originais. O principal achado seria a sugestão de um novo ordenamento entre os construtos e, dentro destes, de suas questões; conforme ordem decrescente de seus percentuais de explicação da variância dos dados e cargas fatoriais dos atributos (Tabela 15).

Tabela 15 - Matriz comparativa entre ordenamento das questões.

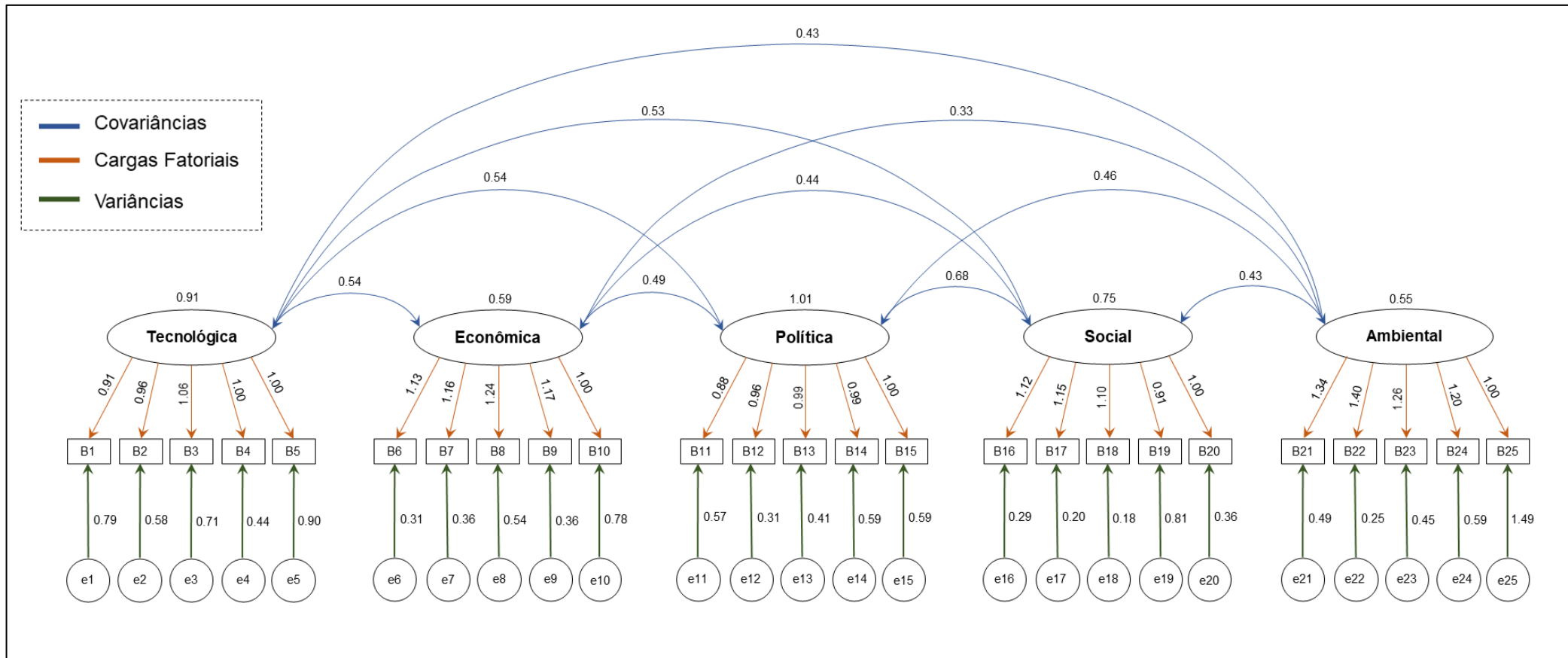
Ordem original	Ordem após a análise
1 - Barreiras Tecnológicas (B1 a B5)	4 - Barreiras Sociais (B16 a B20)
2 - Barreiras Econômicas (B6 a B10)	3 - Barreiras Políticas (B11 a B15)
3 - Barreiras Políticas (B11 a B15)	1 - Barreiras Tecnológicas (B1 a B5)
4 - Barreiras Sociais (B16 a B20)	2 - Barreiras Econômicas (B6 a B10)
5 - Barreiras Ambientais (B21 a B25)	5 - Barreiras Ambientais (B21 a B25)

Considerando a AFC realizada no software *AMOS* e os respectivos valores de ajuste, os resultados mostraram que o modelo testado de 5 fatores, apresenta um ajuste adequado, com  $\chi^2 = 448,3$ ;  $\chi^2/df = 1,69$ ; CFI = 0,932; TLI = 0,912 e RMSEA = 0,068.

A [Figura 12](#) mostra o diagrama de trajeto (Marsh et al., 2020), construído com o auxílio do software *SPSS AMOs Graphics versão 28.0*, a fim de visualizar a distribuição e organização das variáveis latentes geradas a partir da análise fatorial confirmatória. Neste diagrama, os retângulos representam as variáveis observadas; as elipses representam as variáveis latentes (não observáveis) e são utilizadas para representação dos erros aleatórios. Sobre as setas, uma seta reta com uma única ponta indica o caminho ou a relação de causa entre duas variáveis; e uma seta curva com duas pontas representa a covariância entre duas variáveis latentes.

Da mesma forma que os coeficientes de consistência anteriormente calculados, as variáveis latentes que apresentaram as maiores cargas fatoriais na modelagem foram as relacionadas às Barreiras Políticas (1,01) e às Barreiras Tecnológicas (0,91). Em relação às covariâncias entre as variáveis latentes, os maiores valores observados foram entre: Barreiras Tecnológicas e Barreiras Econômicas (0,54); Barreiras Tecnológicas e Barreiras Políticas (0,54); e Barreiras Políticas e Barreiras Sociais (0,68).

No que se refere às contribuições dos fatores observados nas variáveis latentes, verificou-se: para o construto Barreiras Tecnológicas, o fator de maior carga fatorial foi o *B3 - Problemas de Gerenciamento de Energia* (1,06); para o construto Barreiras Econômicas, o fator de maior carga fatorial foi o *B8 - Alto Custo de Componentes Operacionais* (1,24); para o construto Barreiras Políticas, os fatores *B13 - Necessidade de Desenvolver um Plano de Ação para Implementar* e *B14 - Desafios Políticos e/ou falta de Procedimentos e Acordos sobre o uso de Dados*, foram os que apresentaram as maiores cargas fatoriais (0,99); para o construto Barreiras Sociais, o fator de maior carga fatorial foi o *B17 - Risco de Faixa Etária* (1,15) e, por fim, para o construto Barreiras Ambientais, o fator de maior carga fatorial foi o *B22 - Falta de Eficácia nos Dados do Meio Rural* (1,40).



Note: \* B1 a B25 - Barreiras no desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola (ver Tabela 9).

Figura 12 - Diagrama de trajetória da análise fatorial confirmatória.



### 3.5. DISCUSSÃO

Diversas barreiras identificadas no desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola foram validadas neste estudo a partir da percepção de agricultores ( $n = 347$ ) da Região Sul do Brasil. O estudo fornece fortes evidências de que muitas barreiras (Tabela 9) afetam o desenvolvimento da agricultura 4.0 no Brasil. O estudo também destaca as diferenças de percepção entre os agricultores da amostra (Tabela 12). Todas as barreiras em todas as dimensões analisadas (tecnológica, econômica, política, social e ambiental) foram consideradas pelo menos moderadamente importantes pelos agricultores. Essas informações podem contribuir para a construção de um *framework* para superar essas barreiras, facilitando assim a expansão e disseminação da agricultura 4.0 no Brasil. A validação dessas barreiras pode ajudar tanto os países desenvolvidos (por exemplo: Reino Unido, Ingram et al., 2022) quanto os países em desenvolvimento (por exemplo: África Subsaariana, Jellason et al., 2021; China, Jiang, Zhou e Qiu, 2022) para formular as políticas de agricultura 4.0. Atualmente, os países em desenvolvimento têm evidências fracas e relativamente pequenas em comparação com países e regiões digitalmente mais avançados (principalmente países como: Austrália, Nova Zelândia e da América do Norte) (Ingram et al., 2022; Jakku et al., 2023). Isso é importante porque a transição dos sistemas agroalimentares convencionais para os modernos (Spanaki et al., 2021) tem alguns *trade-offs* potenciais que exigem uma análise mais profunda dos efeitos sistêmicos dessa mudança radical (Lioutas et al., 2021).

Este estudo aprofundou a análise das barreiras e seus efeitos, diferentemente de estudos anteriores dedicados a casos específicos (por exemplo: barreiras da dimensão política, Rotz et al., 2019; barreiras da dimensão social, Giua et al., 2022; barreiras da dimensão econômica e tecnológica, Berthold et al., 2021; Raj et al., 2021). No total, foram validadas 25 barreiras que inibem a introdução da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil. As barreiras mais frequentes apontadas pelos agricultores com relação à variável mais significativa “Muito Importante” foram: B4 - *Falta de Infraestrutura* na dimensão tecnológica: 166 (47,8); B9 - *Falta de Soluções Acessíveis aos Agricultores* na dimensão econômica: 180 (51,9); B15 - *Necessidade de Promover P&D e Modelos de Negócios Inovadores* na dimensão política: 148 (42,7); B17 - *Risco de Faixa Etária* na dimensão social: 195 (56,2); e B22 - *Falta de Eficácia nos Dados do Meio Rural* na dimensão ambiental: 202 (58,2). Essas barreiras são discutidas nas seções a seguir, juntamente com algumas sugestões sobre como abordá-las.

### 3.5.1. Tecnológica

Não existem muitos estudos dedicados às barreiras tecnológicas que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 (da [Silveira e Amaral, 2023](#)), e a maioria deles se concentra em tecnologias específicas (por exemplo: *Blockchain*, [Torky e Hassanein, 2020](#); *Machine Learning*, [García et al., 2020](#); Inteligência Artificial, [Spanaki et al., 2021](#); e Internet das Coisas, [Tao et al., 2021](#)) e não nos próprios agricultores ([Drewry et al., 2019](#); [Bolfe, 2020a](#); [Giua et al., 2022](#)). Neste estudo, os agricultores consideraram a barreira *B4 - Falta de Infraestrutura* particularmente relevante. Especialistas interdisciplinares no campo da digitalização agrícola da Europa corroboram com esta evidência mencionando que a falta de infraestrutura pode impactar significativamente na conectividade digital nas áreas rurais ([Ferrari et al., 2022](#)). As áreas rurais com conectividade digital limitada sofrem com os desafios econômicos, como no caso da pandemia do Coronavírus, e são menos propensas a alavancar vantagens competitivas na cadeia de produção agrícola ([Morris et al., 2022](#)). Além disso, a implantação de redes 5G, que podem impulsionar significativamente a agricultura 4.0 ([van Hilten e Wolfert, 2022](#)), exigirá altos investimentos adicionais para atualizar a infraestrutura de comunicação móvel em áreas rurais ([Oughton et al., 2019](#); [Tang et al., 2021](#)). Portanto, melhorar a infraestrutura agrícola é essencial para aumentar a adoção de tecnologias do modelo de agricultura 4.0 ([Kerneck et al., 2020](#); [Porciello et al., 2022](#)). No entanto, ainda é complexo o desafio de alcançar soluções para as infraestruturas de telecomunicações que estão em situações precárias ou que são inexistentes nas áreas rurais ([Salemink et al., 2017](#); [Palmer-Abbs et al., 2021](#)).

- Estudos apontam que os governos nacionais e/ou regionais devem procurar intervir e financiar a infraestrutura necessária para garantir que as áreas rurais possam se beneficiar das tecnologias da agricultura 4.0 à medida que elas se desenvolvem ([Cowie et al., 2020](#)), de modo que esta transição seja inclusiva e justa para todos os agricultores ([Chiles et al., 2021](#)). De fato, os governos e outros atores do ecossistema da agricultura 4.0 precisam entender as diferentes estratégias de infraestrutura que estão sendo desenvolvidas e buscar reduzir os seus custos de investimento ([Oughton et al., 2019](#); [Oughton et al., 2022](#)).

### 3.5.2. Econômica

Os agricultores também identificaram a barreira *B9 - Falta de Soluções Acessíveis aos Agricultores* como um dos grandes obstáculos para o sucesso da agricultura 4.0. [Ingram et al. \(2022\)](#) reconhecem que os custos associados às tecnologias da agricultura 4.0 podem dificultar

sua adoção. Os agricultores tendem a se interessar mais por soluções tecnológicas da agricultura 4.0 se perceberem que os seus benefícios superam os custos (Marshall et al., 2020; Eastwood et al., 2021; Rijswijk et al., 2021). Estudiosos acrescentam que a falta de soluções acessíveis aos agricultores pode aumentar a desigualdade socioeconômica através da divisão entre aqueles que podem pagar pelas tecnologias e aqueles que não podem (Fleming et al., 2021). Há casos em que o desenvolvimento da agricultura 4.0 é limitado pelo ceticismo sobre os retornos econômicos de suas tecnologias (Balafoutis et al., 2020). Portanto, mais atenção deve ser dada ao custo das tecnologias para garantir que a agricultura 4.0 diminua a desigualdade e não o contrário (Klerkx e Rose, 2020; Shang et al., 2021; Steinke et al., 2022).

- Estudos sobre o avanço da agricultura 4.0 indicam que é necessário aprimorar políticas públicas voltadas para a redução de custos para os agricultores (Lioutas et al., 2021; Ehlers et al., 2022). A maior aceitação e adoção das tecnologias da agricultura 4.0 pelos agricultores dependerá de intervenções políticas bem-sucedidas (Jellason et al., 2021; UK Parliament, 2022). Para os grandes agricultores, os subsídios devem ser ampliados para promover a adoção de tecnologias de agricultura 4.0 com externalidades positivas (Xie e Huang, 2021). No caso dos pequenos agricultores, esforços devem ser feitos para ampliar seu acesso à informação e confiança em políticas favoráveis de tecnologia agrícola (Kukk et al., 2022).

### 3.5.3. Política

A barreira *B15 - Necessidade de Promover P&D e Modelos de Negócios Inovadores* foi considerada pelos agricultores como muito importante. Ingram et al. (2022) sustentam a necessidade de criar modelos de negócios inovadores e sustentáveis para fornecer soluções digitais viáveis para incluir mais agricultores no processo de transformação da agricultura 4.0. Países como a Austrália (*Digiscape Future Science Platform*, e *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation - CSIRO*), França (*#DigitAg*), Nova Zelândia (*AgResearch*), e Holanda (Institutos de pesquisa como *Wageningen University and Research*) já possuem grandes programas de ciência e inovação (Klerkx et al., 2019; Klerkx e Rose, 2020; Jakku et al., 2023) que aceleram a trajetória da agricultura 4.0. Por outro lado, 20 dos 47 países da União Africana ainda não atingiram os objetivos do Programa Abrangente de Desenvolvimento Agrícola Africano (PADAA), lançado em 2006, para melhorar o setor agrícola (Tsan et al., 2019). Esse cenário é agravado pelo baixo investimento em P&D na agricultura nesses países

(Jellason et al., 2021). No Brasil, esforços estão sendo feitos por instituições de P&D, empresas, aceleradoras, hubs de inovação que focam em soluções tecnológicas da agricultura 4.0 para o agronegócio, como o *TechStart Agro Digital* (Romani et al., 2020). No entanto, o progresso real só é possível se o vínculo entre universidades, instituições e setor privado for fortalecido (Leso et al., 2022). Estudos no ecossistema de inovação Californiano também indicam que a chave para ter sucesso são as universidades, centros e programas de P&D, aceleradoras de negócios e plataformas de capital de risco (Mikhailov et al., 2021). De qualquer forma, o sucesso das tecnologias da agricultura 4.0 está intimamente ligado aos gastos com P&D neste setor (Pivoto et al., 2018; da Silveira et al., 2021).

- As tecnologias complexas da agricultura 4.0 requerem uma abordagem colaborativa entre os setores público e privado em P&D para que a inovação e a difusão sejam bem-sucedidas (Eastwood et al., 2017). No entanto, as políticas públicas agrícolas precisam ser aprimoradas para ajudar a aproveitar as oportunidades trazidas pelo desenvolvimento e implementação da agricultura 4.0 (Kukk et al., 2022). Por exemplo, o Japão tem promovido o desenvolvimento de um pacote padronizado de tecnologias agrícolas inteligentes para melhorar a eficiência agrícola (Washizu e Nakano, 2022). Com tal pacote, a agricultura 4.0 poderia ser expandida sem recorrer, por exemplo, à melhoria da alfabetização informacional dos agricultores (Washizu e Nakano, 2022).

#### 3.5.4. Social

Outra barreira muito relevante foi a *B17 - Risco de Faixa Etária*. Ronaghi e Forouharfar (2020) reforçam essa constatação ao observar que os agricultores mais velhos no Irã dificilmente adotarão as tecnologias oriundas da agricultura 4.0 (por exemplo: Internet das Coisas) pois não aceitam a mudança no estilo de trabalho rural – são resistentes à mudança. Outros estudos também apontam que os agricultores idosos, em comparação aos jovens, são mais resistentes em adotar as novas tecnologias agrícolas (Lowenberg-DeBoer e Erickson, 2019; Lampach et al., 2021; Xie e Huang, 2021). No entanto, pesquisas sobre a percepção de agricultores e consumidores das cadeias curtas de alimentos da Grécia mostram que os agricultores mais novos, mesmo com um nível adequado de competência tecnológica, temem não ter as habilidades necessárias para usar estas tecnologias (Lioutas et al., 2020). Assim, entender como cada faixa etária percebe as mudanças na agricultura 4.0 é fundamental para criar estratégias específicas para superar essa barreira (Daum et al., 2022).

- A taxa de adoção da agricultura 4.0 pode aumentar à medida que os agricultores se familiarizam com seus benefícios (Giua et al., 2022; Mohr e Höhler, 2023). Esforços para educar os agricultores sobre o uso de tecnologias da agricultura 4.0 precisam ser implementados, pois isso melhora sua percepção (Jithin Das et al., 2019). Também é importante atingir diferentes faixas etárias e explorar efetivamente outros canais de mídia (Jithin Das et al., 2019; Klerkx, 2021; Ahikiriza et al., 2022; Mohr e Höhler, 2023). Além disso, para que a agricultura 4.0 seja mais justa e inclusiva, o papel de alguns atores (por exemplo: consultores, extensionistas ou colegas) em torno dos agricultores precisa melhorar (Giua et al., 2022; Konečná e Sutherland, 2022). Outra possibilidade é o desenvolvimento de comunidades agrícolas inteligentes, que possam abranger toda a cadeia de produção agrícola (O'Shaughnessy et al., 2021).

### 3.5.5. Ambiental

Há fortes evidências de que a adoção de tecnologias da agricultura 4.0 pelos agricultores “*não garantirá uma agricultura sustentável se não forem usadas e implementadas de forma sustentável em larga escala*” (Gangwar et al., 2021, p.10). Apesar disso, estudos sobre a adoção de tecnologia por agricultores raramente consideram a dimensão ambiental (Drewry et al., 2019; Shang et al., 2021; Zheng et al., 2022). Portanto, é necessário estimular novos pensamentos e novas direções em relação à agricultura 4.0 para que soluções que visem superar as barreiras da dimensão ambiental sejam mais exploradas e desenvolvidas (Ingram et al., 2022; Porciello et al., 2022).

Neste estudo, a barreira B22 - *Falta de Eficácia nos Dados do Meio Rural* foi a que mais se destacou na dimensão ambiental. Essa questão provavelmente se deve ao ambiente hostil em que as tecnologias de agricultura 4.0 são implementadas (Shepherd et al., 2020). Além disso, como em qualquer transformação tecnológica já ocorrida em esferas da agricultura (por exemplo: estufas sustentáveis modernas, Achour et al., 2021; pecuária moderna, Eastwood et al., 2021; robôs de enxame em operações agrícolas mecanizadas, Albiero et al., 2022), efeitos indesejáveis podem ser desenvolvidos após a adoção das tecnologias da agricultura 4.0 (por exemplo: integridade dos dados, falhas no sistema, problemas de bateria, armazenamento de dados) (Tao et al., 2021). Os problemas de dados precisam ser resolvidos adequadamente (Jakku et al., 2019) para permitir que todo o potencial das tecnologias baseadas em dados possa ser totalmente explorado no processo de tomada de decisão (Saiz-Rubio e Rovira-Más, 2020).

Pesquisadores indicam mais três desafios adicionais que requerem atenção e podem influenciar na adoção das tecnologias pelo agricultor: i) problemas com o uso dos dados, ii) uso de forma ineficaz da tecnologia, e iii) venda de tecnologia prematura aos agricultores, sem testes ou evidências suficientes (Neethirajan, 2020, p.6).

- Mais esforços são necessários para desenvolver um padrão de coleta, processamento e análise de dados para melhorar sua integridade e qualidade (Jung et al., 2021). Estudos também apontam que os agricultores devem participar do processo de implementação das tecnologias da agricultura 4.0, pois podem contribuir para a superação da barreira B22 por meio de relatórios sobre *“prevenir erros e moldar a precisão das tecnologias digitais ao calibrar tecnologias ou corroborar conselhos algorítmicos”* (Visser et al., 2021; Kvam, Hårstad e Stræte, 2022). Outra alternativa promissora para superar essa barreira é o conceito de *“gêmeos digitais”* (Pylianidis et al., 2021; Verdouw et al., 2021).

### 3.5.6. Validação do construto deste estudo

Com relação a validade do construto deste estudo, os resultados foram satisfatórios em todas as barreiras consideradas da Tabela 9. As cargas fatoriais também são significativas em todos os construtos analisados (Figura 12). Porém, novas validações dos construtos com agricultores das demais regiões brasileiras, ou com agricultores de outros países, podem aumentar a confiabilidade dos resultados aqui apresentados e discutidos. Como a participação dos respondentes aconteceu na modalidade online de coleta de dados, a amostra da pesquisa pode estar representada por indivíduos socioeconômicos privilegiados. Isto é bem claro no caso do nível de instrução, onde a proporção de respondentes com pós-graduação é maior que as demais proporções - se forem considerados todos os agricultores. Isso não surpreende, pois pessoas com um grau de educação formal mais alto compreendem melhor o valor de uma pesquisa deste tipo e naturalmente estão mais dispostas a respondê-la. Da mesma forma, agricultores mais jovens estão mais conectados e podem ter maior propensão a participar dela. No entanto, esses eventuais desequilíbrios não prejudicam as conclusões alcançadas. Este estudo pode ser mais representativo de agricultores conscientes sobre a agricultura 4.0, os quais contribuem para uma área de pesquisa relativamente nova (Klerkx e Rose, 2020; da Silveira et al., 2021; Steinke et al., 2022), que necessita de exploração urgente para geração de hipóteses que possam contribuir para o cumprimento dos ODS da Agenda “2030” (Hinson et al., 2019; Fanzo et al., 2021). Embora o contexto e as observações sejam específicas da região Sul do

Brasil, as análises apresentadas nesta pesquisa fornecem *insights* relevantes que contribuem para debates científicos mais amplos sobre o desenvolvimento da agricultura 4.0 (Barrett e Rose, 2020; McCampbell et al., 2021; Rose et al., 2021).

### 3.6. CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como objetivo validar 25 barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil. A validação foi realizada por meio da análise fatorial confirmatória. As barreiras mais frequentes e importantes apontadas pelos agricultores da amostra deste estudo foram: falta de infraestrutura, falta de soluções acessíveis aos agricultores, necessidade de fomentar P&D e modelos de negócios inovadores, risco de faixa etária e falta de eficácia nos dados do meio rural. À medida que essas barreiras se tornam mais conhecidas, ficam mais claras as questões que requerem maior atenção. No entanto, nossas evidências mostram que todas as barreiras em todas as dimensões analisadas (tecnológica, econômica, política, social e ambiental) precisam de cuidado, pois foram consideradas pelo menos moderadamente importantes pelos agricultores.

Embora esta pesquisa tenha produzido resultados significativos sobre as percepções dos agricultores da região Sul do Brasil no tocante ao desenvolvimento da agricultura 4.0, ela contém algumas limitações. Mesmo que o tamanho da amostra tenha sido satisfatório, suas características não representam a diversidade da cadeia de produção agrícola brasileira. Por exemplo, a projeção de safras futuras do agronegócio brasileiro considera em sua métrica 30 produtos. Além disso, as outras regiões brasileiras (por exemplo: centro-oeste, nordeste, norte, sudeste) podem ter características diferentes que podem levar a resultados diferentes. Devido à heterogeneidade cultural que há na cadeia de produção agrícola do Brasil, a importância atribuída a cada barreira pode variar.

Quanto às barreiras validadas (Tabela 9), pesquisas futuras poderiam investigar quais delas dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola entre os agricultores que já adotam e os que não adotam alguma de suas tecnologias. Isso iria possibilitar o desenvolvimento de um *framework* para superar essas barreiras, permitindo identificar quais delas precisam de maior atenção para ampliar a implementação da agricultura 4.0 no agronegócio em todas as escalas. Também seria útil estender o estudo a outros países para identificar diferenças e semelhanças nas percepções dos agricultores, ampliando o alcance das descobertas relatadas neste artigo.

Muitas barreiras e dimensões aqui analisadas não foram devidamente investigadas em estudos anteriores, seja no Brasil ou em outros lugares. Abordá-los é fundamental para facilitar a implementação da agricultura 4.0 e introduzir uma forma mais sistêmica de ver o assunto. Embora as necessidades, expectativas e percepções dos agricultores possam variar entre países e regiões, muitas das conclusões alcançadas nesta pesquisa são gerais o suficiente para oferecer pelo menos algumas dicas sobre as barreiras que podem afetar os agricultores em qualquer lugar. Essas pistas podem ser uma boa referência para futuros estudos que tratem de temas semelhantes em diferentes contextos regionais e culturais.

### REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 3

Achour, Y., Ouammi, A., Zejli, D., 2021. Technological progresses in modern sustainable greenhouses cultivation as the path towards precision agriculture. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111251>

Ahikiriza, E., Wesana, J., Van Huylenbroeck, G., Kabbiri, R., De Steur, H., Lauwers, L., Gellynck, X., 2022. Farmer knowledge and the intention to use smartphone-based information management technologies in Uganda. **Computers and Electronics in Agriculture**. 202. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107413>

Albiero, D., Garcia, Á.P., Umezu, C.K., Paulo, R.L., 2022. Swarm robots in mechanized agricultural operations: A review about challenges for research. **Computers and Electronics in Agriculture**. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106608>

Alves, A.N., Souza, W.S.R., Borges, D.L., 2020. Cotton pests classification in field-based images using deep residual networks. **Computers and Electronics in Agriculture**. 174. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105488>

Andrade, C., 2020. The Limitations of Online Surveys. **Indian Journal of Psychological Medicine**. <https://doi.org/10.1177/0253717620957496>

Arends-Kuenning, M., Kamei, A., Garcias, M., Romani, G.E., Shikida, L.F.A., 2021. Gender, education, and farm succession in Western Paraná State, Brazil. **Land Use Policy**. 107. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105453>

Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., Sharif, Z., Mansour, -H.M., E. A., 2019. Aggoune Internet-of-things (iot)-based smart agriculture: toward making the fields talk. **IEEE Access**. 7, 551-129. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932609>



- Bacco, M., Barsocchi, P., Ferro, E., Gotta, A., Rugerri, M., 2019. The Digitisation of Agriculture: a Survey of Research Activities on Smart Farming. **Array**. <https://doi.org/10.1016/j.array.2019.100009>
- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., Wal, T., Soto, I., Gómez-Barbero, M., Barnes, A., Eory, V., 2017. Precision Agriculture Technologies Positively Contributing to GHG Emissions Mitigation, Farm Productivity and Economics. **Sustainability**. 9, 1339–1367. <https://doi.org/10.3390/su9081339>
- Balafoutis, A.T., Van Evert, F.K., Fountas, S., 2020. Smart Farming Technology Trends: Economic and Environmental Effects, Labor Impact, and Adoption Readiness. **Agronomy**. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050743>
- Barbedo, J.G.A., 2018. Impact of dataset size and variety on the effectiveness of deep learning and transfer learning for plant disease classification. **Computers and Electronics in Agriculture**. 153. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.013>
- Barbedo, J.G.A., Koenigkan, L.V., 2018. Perspectives on the use of unmanned aerial systems to monitor cattle. **Outlook on Agriculture**. 47(3), 214-222. <https://doi.org/10.1177/0030727018781876>
- Barrett, H., Rose, D.C., 2020. Perceptions of the Fourth Agricultural Revolution: What's In, What's Out, and What Consequences are Anticipated? **Sociologia Ruralis**. <https://doi.org/10.1111/soru.12324>
- Bartlett, M. S., 1947. Multivariate analysis. **Supplement to the journal of the royal statistical Society**. 9(2), 176-197. <https://doi.org/10.2307/2984113>
- Berthold, T.A., Ajaz, A., Olsovsky, T., Kathuria, D., 2021. Identifying barriers to adoption of irrigation scheduling tools in Rio Grande Basin. **Smart Agricultural Technology**. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2021.100016>
- Bolfe, E.L., Castro Jorge, L.A., Del'Arco, I.S., Luchiari Júnior, A., Costa, C.C., Victoria, D.C., Inamasu, R.Y., Grego, C.R., Ferreira, V.R., Ramirez, A.R., 2020a. Precision and digital agriculture: adoption of Technologies and perception of Brazilian farmers. **Agriculture**. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120653>

Bolfe, E.L., Barbedo, J.G.A., Massruhá, S.M.F.S., Souza, K.X.S., Assad, E.D., 2020b. Desafios, tendências e oportunidades em agricultura digital no Brasil. In: Massruhá, S.M.F.S., Leite, M.A.A., Oliveira, S.R.M., Meira, C.A.A., Luchiari Junior, A., Bolfe, E.L. (Ed.). **Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas**. Brasília, DF: Embrapa. cap. 1, p. 20-45. Recuperado em 25 de Outubro de 2021 em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126213/agricultura-digital-pesquisa-desenvolvimento-e-inovacao-nas-cadeias-produtivas>

Boone, H.N., Boone, D.A., 2012. Analyzing Likert data. **Journal of Extension**. 50.

Brasil. 2021. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Potencialidades e desafios do agro 4.0: GT III “Cadeias Produtivas e Desenvolvimento de Fornecedores”** Câmara do Agro 4.0 (MAPA/MCTI) / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Sustentável e Irrigação. – Brasília: Mapa/ACES. 66 p. Recuperado em 10 de Janeiro de 2022 em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/agricultura-digital/GT3VERSAOABNT.pdf>

Braun, A.T., Colangelo, E., Steckel, T., 2018. Farming in the Era of Industrie 4.0. **In Procedia CIRP**. 72, 979–984. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.176>

Browne, M.W., Cudeck, R., 1993. **Alternative ways of assessing model fit**. Em K. A. Bollen & J. S. Long (Eds.), *Testing structural equation models* (pp. 136-162). Newbury Park, CA: Sage.

Buainain, A.M., Cavalcante, P., Consoline, L., 2021. **Estado atual da agricultura digital no Brasil: Inclusão dos agricultores familiares e pequenos produtores rurais**. Documentos de Projetos (LC/TS.2021/61), Santiago, Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL). Retrieved November 10, 2022 from [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46958/1/S2100279\\_pt.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46958/1/S2100279_pt.pdf)

Campos, H.M., Oliveira, H.F.E., Mesquita, M., Castro, L.E.V., Ferrarezi, R.S., 2021. Low-cost open-source platform for irrigation automation. **Computers and Electronics in Agriculture**. 190. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106481>

Carrer, M.J., Souza Filho, H.M., Batalha, M.O., 2017. Factors influencing the adoption of Farm Management Information Systems (FMIS) by Brazilian citrus farmers. **Computers and Electronics in Agriculture**. 138. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.04.004>

- Ceballos, F., Kannan, S., Kramer, B., 2020. Impacts of a national lockdown on smallholder farmers' income and food security: Empirical evidence from two states in India. **World Development**. 136. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105069>
- CEPEA, 2021. **PIB do agronegócio brasileiro**. Esalq/USP. Recuperado em 05 de Setembro de 2021 em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>.
- Chiles, R.M., Broad, G., Gagnon, M., Negowetti, N., Glenna, L., Griffin, M.A.M., Tami-Barrera, L., Baker, S., Beck, K., 2021. Democratizing ownership and participation in the 4th Industrial Revolution: challenges and opportunities in cellular agriculture. **Agriculture and Human Values**. 38, 943–961. <https://doi.org/10.1007/s10460-021-10237-7>
- Cowie, P., Townsend, L., Salemin, K., 2020. Smart rural futures: Will rural areas be left behind in the 4th industrial revolution?. **Journal of Rural Studies**. 79, 169-176. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.08.042>
- Da Silveira, F., Lermen, F.H., Amaral, F.G., 2021. An overview of agriculture 4.0 development: Systematic review of descriptions, technologies, barriers, advantages, and disadvantages. **Computers and Electronics in Agriculture**. 189. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106405>
- Da Silveira, F., Amaral, F.G., 2023. Agriculture 4.0. In: Zhang, Q. (eds) **Encyclopedia of Smart Agriculture Technologies**. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-89123-7\\_207-2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-89123-7_207-2)
- Daum, T., Birner, R., 2020. Agricultural mechanization in Africa: Myths, realities and an emerging research agenda. **Global Food Security**. 26. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100393>
- Daum, T., Adegbola, P.Y., Adegbola, C., Daudu, C., Issa, F., Kamau, G., Kergna, A.O., Mose, L., Ndirpaya, Y., Fatunbi, O., Zossou, R., Kirui, O., Birner, R., 2022. Mechanization, digitalization, and rural youth - Stakeholder perceptions on three mega-topics for agricultural transformation in four African countries. **Global Food Security**. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100616>

Dixon, J.M., Weerahewa, J., Hellin, J., Rubzen, M.F.R., Huang, J., Kumar, S., Das, A., Qureshi, M.E., Krupnik, T.J., Shideed, K., Jat, M.L., Prasad, P.V.V., Yadav, S., Irshad, A., Asanaliev, A., Abugalieva, A., Karimov, A., Bhattarai, B., Balgos, C.Q., Benu, F., Ehara, H., Pant, J., Sarmiento, J.M.P., Newby, J.C., Pretty, J., Tokuda, H., Weyerhaeuser, H., Digal, L.N., Li, L., Sarkar, M.A.R., Abedin, M.Z., Schreinemachers, P., Grafton, Q., Sharma, R.C., Saidzoda, S., Ridaura, S.L., Coffey, S., Kam, S.P., Win, S.S., Praneetvatakul, S., Maraseni, T., Touch, V., Liang, W., Saharawat, Y.S., Timsina, J., 2021. Response and resilience of Asian agrifood systems to COVID-19: An assessment across twenty-five countries and four regional farming and food systems. **Agricultural Systems**. 193. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2021.103168>

Drewry, J.L., Shutske, J.M., Brian, D.T., Luck, D., Pitman, L., 2019. Assessment of digital technology adoption and access barriers among crop, dairy and livestock producers in Wisconsin. **Computers and Electronics in Agriculture**. 165. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104960>

Eastwood, C., Klerkx, L., Nettle, R., 2017. Dynamics and distribution of public and private research and extension roles for technological innovation and diffusion: Case studies of the implementation and adaptation of precision farming technologies. **Journal of Rural Studies**. 49. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.11.008>

Eastwood, C., Klerkx, L., Ayre, M., Dela Rue, B., 2019. Managing Socio-Ethical Challenges in the Development of Smart Farming: From a Fragmented to a Comprehensive Approach for Responsible Research and Innovation. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**. 32, 741–768. <https://doi.org/10.1007/s10806-017-9704-5>

Eastwood, C.R., Renwick, A., 2020. Innovation Uncertainty Impacts the Adoption of Smarter Farming Approaches. **Frontiers in Sustainable Food Systems**. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00024>

Eastwood, C.R., Edwards, J.P., Turner, J.A., 2021. Review: Anticipating alternative trajectories for responsible Agriculture 4.0 innovation in livestock systems. **Animal**. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100296>

Ehlers, M-H., Huber, R., Finger, R., 2021. Agricultural policy in the era of digitalization. **Food Policy**. 100. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.102019>

- Ehlers, M-H., Finger, R., Benni, N.E., Gocht, A., Sorensen, C.A.G., Gusset, M., Pfeifer, C., Poppe, K., Regan, Á., Rose, D.C., Wolfert, S., Huber, R., 2022. Scenarios for European agricultural policymaking in the era of digitalisation. **Agricultural Systems**. 196. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103318>
- Elo, S., Helvi, K., 2008. The qualitative content analysis process. **Journal of Advanced Nursing**. 62, 107-115. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x>
- Fanzo, J., Haddad, L., Schneider, K.R., Béné, C., Covic, N.M., Guarin, A., Herforth, A.W., Herrero, M., Sumaila, U.R., Aburto, N.J., Amuyunzu-Nyamongo, M., Barquera, S., Battersby, J., Beal, T., Molina, P.B., Brusset, E., Cafiero, C., Campeau, C., Caron, P., Cattaneo, A., Conforti, P., Davis, C., DeClerck, F.A.J., Elouafi, I., Fabi, C., Gephart, J.A., Golden, C.D., Hendriks, S.L., Huang, J., Laar, A., Lal, R., Lidder, P., Loken, B., Marshall, Q., Masuda, Y.J., McLaren, R., Neufeld, L.M., Nordhagen, S., Remans, R., Resnick, D., Silverberg, M., Cullen, M.T., Tubiello, F.N., Vivero-Pol, J.L., Wei, S., Moncayo, J.R., 2021. Viewpoint: Rigorous monitoring is necessary to guide food system transformation in the countdown to the 2030 global goals. **Food Policy**. 104. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102163>
- Ferrari, A., Bacco, M., Gaber, K., Jedlitschka, A., Hess, S., Kaipainen, J., Koltsida, P., Toli, E., Brunori, G., 2022. Drivers, barriers and impacts of digitalisation in rural areas from the viewpoint of experts. **Information and Software Technology**. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2021.106816>
- Figueiredo, S.S.S., Jardim, F., Sakuda, L.O., 2021. **Relatório do Radar Agtech Brasil 2020/2021: Mapeamento das Startups do Setor Agro Brasileiro**. Embrapa, SP Ventures e Homo Ludens: Brasília, 2021. Recuperado em 27 de Outubro de 2021 em: <https://radaragtech.com.br/wp-content/uploads/2021/05/Radar-Agtech-Brasil-2020-2021-Embrapa-SP-Ventures-Homo-Ludens-Relatorio-Final.pdf>
- Fleming, A., Jakku, E., Fielke, S., Taylor, B.M., Lacey, J., Terhorst, A., Stitzlein, C., 2021. Foresighting Australian digital agricultural futures: Applying responsible innovation thinking to anticipate research and development impact under different scenarios. **Agricultural Systems**. 190. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103120>
- Foguesatto, C.R., Borges, J.A.R., Machado, J.A.D., 2019. Farmers' typologies regarding environmental values and climate change: Evidence from southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**. 232. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.275>

- Fuller, W.A., 2011. **Sampling statistics**. John Wiley & Sons.
- Gan, H., Lee, W.S., 2018. Development of a Navigation System for a Smart Farm. **IFAC – Papers OnLine**. 51 (17), 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.051>
- Gangwar, D.S., Tyagi, S., Soni, S.K., 2021. A techno-economic analysis of digital agriculture services: an ecological approach toward green growth. **International Journal of Environmental Science and Technology**. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03300-7>
- García, R., Aguilar, J., Toro, M., Pinto, A., Rodríguez, P., 2020. A systematic literature review on the use of machine learning in precision livestock farming. **Computers and Electronics in Agriculture**. 179. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105826>
- Giua, C., Materia, V.C., Camazi, L., 2022. Smart farming technologies adoption: Which factors play a role in the digital transition?. **Technology in Society**. 68. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101869>
- Glen, S., 2020. **StatisticsHowTo: Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) test for sampling adequacy**. Recuperado em 25 de Outubro de 2021 em: [www.statisticshowto.datasciencecentral.com/kaiser-meyer-olkin/](http://www.statisticshowto.datasciencecentral.com/kaiser-meyer-olkin/)
- Goel, K.F., Yadav, C.S., Vishnoi, S., Rastogi, R., 2021. Smart agriculture – Urgent need of the day in developing countries. **Sustainable Computing: Informatics and Systems**. 30. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2021.100512>
- Grieve, B. D., Duckett, T., Collison, M., Boyd, L., Weste, J., Yin, H., Arvin, F., Pearson, S. 2019. The challenges posed by global broadacre crops in delivering smart agri-robotic solutions: A fundamental rethink is required. **Global Food Security**. 23, 116-124. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.04.011>
- Hair, J., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E., Tatham, R.L., 2006. **Multivariate Data Analysis**. 6ª edição. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Halgamuge, M.N., Bojovschi, A., Fisher, P.M.J., Le, T.C., Adeloju, S., Murphy, S., 2021. Internet of Things and autonomous control for vertical cultivation walls towards smart food growing: A review. **Urban Forestry & Urban Greening**. 61. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127094>

Herrero, M., Thornton, P.K., Mason-D’Croz, D. et al., 2020. Innovation can accelerate the transition towards a sustainable food system. **Nature Food**. 1, 266–272. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0074-1>

Hickey, L.T., A.N. Hafeez, H. Robinson et al., 2019. Breeding crops to feed 10 billion. **Nature Biotechnology**. 37, 744–754. <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0152-9>

Hinson, R., Lensink, R., Mueller, A., 2019. Transforming agribusiness in developing countries: SDGs and the role of FinTech. **Current Opinion in Environmental Sustainability**. 41, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.07.002>

Hofmann, T., Lowry, G.V., Ghoshal, S., Tufenkji, N., Brambilla, D., Dutcher, J.R., Gilbertson, L.M., Giraldo, J.P., Kinsella, J.M., Landry, M.P., Lovell, W., Naccache, R., Paret, M., Pedersen, J.A., Unrine, J.M., White, J.C., Wilkinson, K.J., 2020. Technology readiness and overcoming barriers to sustainably implement nanotechnology-enabled plant agriculture. **Nature Food**. 1, 416-425. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0110-1>

Hoyle, R.H., 1995. **The structural equation modeling approach**: Basic concepts and fundamental issues. Em R. H. Hoyle (Ed.), *Structural equation modeling. Concepts, issues and applications* (pp. 1-15). Thousand Oaks, CA: Sage.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística., 2017. **Número de estabelecimentos agropecuários, Quantidade produzida e Área colhida, por produtos da lavoura temporária**. Censo Agropecuário. Recuperado em 07 de Setembro de 2021 em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuaria.html?=&t=resultados>.

Ingram, J., Maye, D., Bailye, C., Barnes, A., Bear, C., Bell, M., Cutress, D., Davies, L., De Boon, A., Dinnie, L., Gairdner, J., Hafferty, C., Holloway, L., Kindred, D., Kirby, D., Leake, B., Manning, L., Marchant, B., Wilson, L., 2022. What are the priority research questions for digital agriculture? **Land Use Policy**. 114. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105962>

Jakku, E., Taylor, B., Fleming, A., Mason, C., Fielke, S., Sounness, C., Thorburn, P., 2019. “If they don’t tell us what they do with it, why would we trust them?” Trust, transparency and benefit-sharing in Smart Farming. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2018.11.002>

- Jakku, E., Fleming, A., Espig, M., Fielke, S., Finlay-Smiths, S.C., Turner, J.A., 2023. Disruption disrupted? Reflecting on the relationship between responsible innovation and digital agriculture research and development at multiple levels in Australia and Aotearoa New Zealand. **Agricultural Systems**. 204. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103555>
- Janc, K., Czapiewski, K., Wójcik, M., 2019. In the starting blocks for smart agriculture: The internet as a source of knowledge in transitional agriculture. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100309>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R.P., Suman, R., 2022. Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. **International Journal of Intelligent Networks**. 3. <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2022.09.004>
- Jellason, N.P., Robinson, E.J.Z., Ogbaga, C.C., 2021. Agriculture 4.0: Is Sub-Saharan Africa Ready?. **Applied Sciences**. 11 (12). <https://doi.org/10.3390/app11125750>
- Jiang, S., Zhou, J., Qiu, S., 2022. Digital Agriculture and Urbanization: Mechanism and Empirical Research. **Technological Forecasting and Social Change**. 180. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121724>
- Jithin Das, V., Sharma, S., Kaushik, A., 2019. Views of Irish Farmers on Smart Farming Technologies: An Observational Study. **AgriEngineering**. <http://dx.doi.org/10.3390/agriengineering1020013>
- Jung, J., Maeda, M., Chang, A., Bhandari, M., Ashapure, A., Landivar-Bowles, J., 2021. The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. **Current Opinion in Biotechnology**. 70, 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.09.003>
- Kvam, G-T., Hårstad, R.M.B., Stræte, E.P., 2022. The role of farmers' microAKIS at different stages of uptake of digital technology. **The Journal of Agricultural Education and Extension**. 28. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2022.2046617>
- Kernecker, M., Knierim, A., Wurbs, A., Kraus, T., Borges, F., 2020. Experience versus expectation: farmers' perceptions of smart farming technologies for cropping systems across Europe. **Precision Agriculture**. 21, 34–50. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09651-z>
- Klerkx, L., Jakku, E., Labarthe, P., 2019. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. 90. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>



- Klerkx, L., Begemann, S., 2020. Supporting food systems transformation: The what, why, who, where and how of mission-oriented agricultural innovation systems. **Agricultural Systems**. 184. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102901>
- Klerkx, L., Rose, D., 2020. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?. **Global Food Security**. 24. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>
- Klerkx, L., 2021. Digital and virtual spaces as sites of extension and advisory services research: social media, gaming, and digitally integrated and augmented advice. **The Journal of Agricultural Education and Extension**. 27. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2021.1934998>
- Konečná, M.M., Sutherland, L.-A., 2022. Digital innovations in the Czech Republic: developing the inner circle of the Triggering Change Model. **The Journal of Agricultural Education and Extension**. 28. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2022.2039247>
- Kukk, M., Põder, A., Viira, A.-H., 2022. The role of public policies in the digitalisation of the agri-food sector. A systematic review. **NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences**. 94. <https://doi.org/10.1080/27685241.2022.2147870>
- Lampach, N., To-The, N., Nguyen-Anh, T., 2021. Technical efficiency and the adoption of multiple agricultural technologies in the mountainous areas of Northern Vietnam. **Land Use Policy**. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105289>
- Leme, D.S., Silva, S.A., Barbosa, B.H.G., Borén, F.M., Pereira, R.G.F.A., 2020. Recognition of coffee roasting degree using a computer vision system. **Computers and Electronics in Agriculture**. 156. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.11.029>
- Leso, B.H., Enrique, D.V., Peruchi, D.F., 2022. O papel do ecossistema de inovação para desenvolver uma agricultura inteligente. **Exacta**. 20, 140-158. <https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.17362>
- Likert, R., 1932. **A technique for the measurement of attitudes**. Archives of Psychology.
- Lioutas, E., Charatsari, C., 2020. Smart farming and short food supply chains: Are they compatible?. **Land Use Policy**. 94. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104541>
- Lioutas, E., Charatsari, C., De Rosa, M., 2021. Digitalization of agriculture: A way to solve the food problem or a trolley dilemma?. **Technology in Society**. 67. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101744>

- Liu, Y., Ma, X., Shu, L., Hancke, G.P., Abu-Mahfouz, A.M., 2020. From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3003910>
- Lowenberg-DeBoer, J., Erickson, B., 2019. Setting the Record Straight on Precision Agriculture Adoption. **Agronomy Journal**. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.12.0779>
- Machado, B.B., Orue, J.P.M., Arruda, M.S., Santos, C.V., Sarath, D.S., Gonçalves, W.N., Silva, G.G., Pistori, H., Roel, A.R., Rodrigues Junior, J., 2016. BioLeaf: A professional mobile application to measure foliar damage caused by insect herbivory. **Computers and Electronics in Agriculture**. 129. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.09.007>
- Maffezzoli, F., Ardolino, M., Bacchetti, A., Perona, M., Renga, F., 2022. Agriculture 4.0: A systematic literature review on the paradigm, technologies and benefits. **Futures**. 142. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.102998>
- Maria, K., Maria, B., Andrea, K., 2021. Exploring actors, their constellations, and roles in digital agricultural innovations. **Agricultural Systems**. 186. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.102952>
- Marsh, H. W., Guo, J., Dicke, T., Parker, P. D., & Craven, R. G., 2020. Confirmatory factor analysis (CFA), exploratory structural equation modeling (ESEM), and set-ESEM: optimal balance between goodness of fit and parsimony. **Multivariate behavioral research**. 55(1), 102-119. <https://doi.org/10.1080/00273171.2019.1602503>
- Marshall, A., Dezuanni, M., Burgess, J., Thomas, J., Wilson, C.K., 2020. Australian farmers left behind in the digital economy – Insights from the Australian Digital Inclusion Index. **Journal of Rural Studies**. 80, 195-210. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.09.001>
- McCampbell, M., Schumann, C., Klerkx, L., 2021. Good intentions in complex realities: Challenges for designing responsibly in digital agriculture in low-income countries. **Sociologia Ruralis**. <https://doi.org/10.1111/soru.12359>
- Mikhailov, A., Oliveira, C., Padula, A.D., Reichert, F.M., 2021. Californian innovation ecosystem: emergence of agtechs and the new wave of agriculture. **Innovation & Management Review**. <http://dx.doi.org/10.1108/INMR-12-2018-0098>

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. MAPA. 2021a. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2020/21 a 2030/31 - Projeções de Longo Prazo**. Recuperado em 25 de Outubro de 2021: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2020-2021-a-2030-2031.pdf/view>

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. MAPA. 2021b. **AGROSTAT - Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro**. Recuperado em 27 de Outubro de 2021 em: <https://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. MCTI. 2021. **Plano de Ação da Câmara do AGRO 4.0 (2021-2024)**. Recuperado em 03 de Novembro de 2021 em: [https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivoscamaraagro/ca\\_plano-de-acao-2021-2024\\_26-04-2021.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivoscamaraagro/ca_plano-de-acao-2021-2024_26-04-2021.pdf)

Mistry, I., Tanwar, S., Tyagi, S., Kumar, N., 2020. Blockchain for 5G-enabled IoT for industrial automation: A systematic review, solutions, and challenges. **Mechanical Systems and Signal Processing**. 135. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106382>

Mohr, S., Höhler, J., 2023. Media coverage of digitalization in agriculture - an analysis of media content. **Technological Forecasting and Social Change**. 187. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122238>

Morris, J., Morris, W., Bowen, R., 2022. Implications of the digital divide on rural SME resilience. **Journal of Rural Studies**. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.01.005>

Neethirajan, S., 2020. The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming. **Sensing and Bio-Sensing Research**. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2020.100367>

Oliveira, D.T., Silva, R.P., Maldonado Junior, W., Zerbato, C., 2020. Convolutional neural networks in predicting cotton yield from images of commercial Fields. **Computers and Electronics in Agriculture**. 171. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105307>

Orçan, F., 2018. Exploratory and confirmatory factor analysis: which one to use first?. **Journal of Measurement and Evaluation in Education and Psychology**. 9, 414-421. <http://dx.doi.org/10.21031/epod.394323>

Oughton, E.J., Frias, Z., van der Gaast, S., van der Berg, R., 2019. Assessing the capacity, coverage and cost of 5G infrastructure strategies: Analysis of the Netherlands. **Telematics and Informatics**. 37. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2019.01.003>

- Oughton, E.J., Comini, N., Foster, V., Hall, J.W., 2022. Policy choices can help keep 4G and 5G universal broadband affordable. **Technological Forecasting and Social Change**. 176. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121409>
- Owens, P.R., Dorantes, M.J., Fuentes, B.A., Libohova, Z., Schmidt, A., 2020. Taking digital soil mapping to the field: Lessons learned from the Water Smart Agriculture soil mapping project in Central America. **Geoderma Regional**. 22. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00285>
- O'Malley, A.L., Bronson, K., Van der Burg, S., Klerkx, L., 2020. The future(s) of digital agriculture and sustainable food systems: An analysis of high-level policy documents. **Ecosystem Services**. 45. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101183>
- O'Shaughnessy, S.A., Kim, M., Lee, S., Kim, Y., Kim, H., Shekailo, J., 2021. Towards smart farming solutions in the U.S. and South Korea: A comparison of the current status. **Geography and Sustainability**. 4. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.12.002>
- Palmer-Abbs, M., Cottrill, C., Farrington, J., 2021. The digital lottery: The impact of next generation broadband on rural small and micro businesses in the North East of Scotland. **Journal of Rural Studies**. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.08.049>
- Pauschinger, D., Klauser, F.R., 2022. The introduction of digital technologies into agriculture: Space, materiality and the public–private interacting forms of authority and expertise. **Journal of Rural Studies**. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.06.015>
- Paustian, M., Theuvsen, L., 2017. Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. **Precision Agriculture**. 18. <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9482-5>
- Pereira, L.F.S., Bardon Junior, S., Valous, N.A., Bardin, D.F., 2018. Predicting the ripening of papaya fruit with digital imaging and random forests. **Computers and Electronics in Agriculture**. 145. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.12.029>
- Phillips, P.W.B., Relf-Eckstein, J.-A., Jobe, G., Wixted, B., 2019. Configuring the new digital landscape in western Canadian agriculture. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.001>
- Pivoto, D., Waquil, P.D., Talamini, E., Finocchio, C.P.S., Dalla Corte, V.F., Mores, G.V., 2018. Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. **Information Processing in Agriculture**. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.12.002>

- Porciello, J., Coggins, S., Mabaya, E., Otunba-Payne, G., 2022. Digital agriculture services in low- and middle-income countries: A systematic scoping review. **Global Food Security**. 34. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100640>
- Pylianidis, C., Osinga, S., Athanasiadis, I.N., 2021. Introducing digital twins to agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**. 184. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105942>
- Raj, M., Gupta, S., Chamola, V., Elhence, Anubhav, Garg, T., Atiquzzaman, M., Niyato, D., 2021. A survey on the role of Internet of Things for adopting and promoting Agriculture 4.0. **Journal of Network and Computer Applications**. 187. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103107>
- Ramos, A.P.M., Osco, L.P., Furuya, D.E.G., Gonçalves, W.N., Santana, D.C., Teodoro, L.P.R., Silva Junior, C.A., Silva, G.F.C., Li, J., Baio, F.H.R., Marcato Junior, J., Teodoro, P.E., Pistori, H., 2020. A random forest ranking approach to predict yield in maize with uav-based vegetation spectral indices. **Computers and Electronics in Agriculture**. 178. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105791>
- Ramos, P.H.B., Pedroso, M.C., 2021. Classification and categorization of Brazilian agricultural startups (Agtechs). **Innovation & Management Review**. 18, 237-257. <http://dx.doi.org/10.1108/INMR-12-2019-0160>
- Rial-Lovera, K., Davies, P., Cannon, N.D., 2017. Implications of climate change predictions for UK cropping and prospects for possible mitigation: a review of challenges and potential responses. **Journal of the Science and Food of Agriculture**. 97, 17–32. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7767>
- Ribas, G.G., Zanon, A.J., Streck, N.A., Pilecco, I.B., Souza, P.M., Heinemann, A.B., Grassini, P., 2021. Assessing yield and economic impact of introducing soybean to the lowland rice system in southern Brazil. **Agricultural Systems**. 188. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103036>
- Rijswijk, K., Klerkx, L., Turner, J.A., 2019. Digitalisation in the New Zealand Agricultural Knowledge and Innovation System: Initial understandings and emerging organisational responses to digital agriculture. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100313>

- Rijswijk, K., Klerkx, L., Bacco, M., Bartolini, F., Bulten, E., Debruyne, L., Dessein, J., Scotti, I., Brunori, G., 2021. Digital transformation of agriculture and rural areas: A socio-cyber-physical system framework to support responsabilisation. **Journal of Rural Studies**. 85, 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.05.003>
- Rizou, M., Galanakis, I.M., Aldawoud, T.M.S., Galanakis, C.M., 2020. Safety of foods, food supply chain and environment within the COVID-19 pandemic. **Trends in Food Science & Technology**. 102, 293-299. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.008>
- Romani, L.A.S., Barini, J.M., Drucker, D.P., Vaz, G.J., Mondo, V.H.V., Moura, M.F., Bolfe, E.L., Souza, P.H.P., Oliveira, S.R.M., Junior, A.L., 2020. Role of Research and Development Institutions and AgTechs in the digital transformation of Agriculture in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200082>
- Ronaghi, M.H., Forouharfar, A., 2020. A contextualized study of the usage of the Internet of things (IoTs) in smart farming in a typical Middle Eastern country within the context of Unified Theory of Acceptance and Use of Technology model (UTAUT). **Technology in Society**. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101415>
- Rose, D.C., Chilvers, J., 2018. Agriculture 4.0: Broadening Responsible Innovation in an Era of Smart Farming. **Frontiers in Sustainable Food Systems**. 2. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087>
- Rose, D.C., Wheeler, R., Winter, M., Lobley, M., Chivers, C.A., 2021. Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet. **Land Use Policy**. 100, 104933. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104933>
- Rotz, S., Duncan, E., Small, M., Botschner, J., Dara, R., Mosby, I., Reed, M., Fraser, E.D.G., 2019. The Politics of Digital Agricultural Technologies: A Preliminary Review. **Sociologia Ruralis**. <https://doi.org/10.1111/soru.12233>
- Saiz-Rubio, V., Rovira-Más, F., 2020. From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management. **Agronomy**. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>
- Salemink, K., Strijker, D., Bosworth, G., 2017. Rural development in the digital age: A systematic literature review on unequal ICT availability, adoption, and use in rural areas. **Journal of Rural Studies**. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.09.001>

- Santos, U.J.L., Pessin, G., Costa, C.A., Righi, R.R., 2020. AgriPrediction: A proactive internet of things model to anticipate problems and improve production in agricultural crops. **Computers and Electronics in Agriculture**. 161. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.010>
- Santos, J.A., Roldan, L.B., Loo, M.K.L., 2021. Clarifying relationships between networking, absorptive capacity and financial performance among South Brazilian farmers. **Journal of Rural Studies**. 84. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.02.011>
- Santoro, E., Soler, E.M., Cherri, A.C., 2017. Route optimization in mechanized sugarcane harvesting. **Computers and Electronics in Agriculture**. 141. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.013>
- Shang, L., Heckelei, T., Gerullis, M.K., Borner, J., Rasch, S., 2021. Adoption and diffusion of digital farming technologies - integrating farm-level evidence and system interaction. **Agricultural Systems**. 190. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103074>
- Shepherd, M., Turner, J.A., Pequeno, B., Wheeler, D., 2020. Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the ‘digital agriculture’ revolution. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9346>
- Singh, S., Sagar, R., 2021. A critical look at online survey or questionnaire-based research studies during COVID-19. **Asian Journal of Psychiatry**. 65. <https://doi.org/10.1016/j.ajp.2021.102850>
- Som, R.K., 1995. Practical sampling techniques. **CRC press**.
- Souza, P.M., Fornazier, A., Souza, H.M., Ponciano, N.J., 2019. Regional differences of technology in family farming in Brazil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. 57. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2019.169354>
- Spanaki, K., Sivarajah, U., Fakhimi, M., Despoudi, S., Irani, Z., 2021. Artificial intelligence and food security: swarm intelligence of AgriTech drones for smart AgriFood operations. **Production Planning & Control**. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1882688>
- Steinke, J., Ortiz-Crespo, B., Etten, J.V., Muller, A., 2022. Participatory design of digital innovation in agricultural research-for-development: insights from practice. **Agricultural Systems**. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103313>

- Streiner, D.L., 2003. Being inconsistent about consistency: when coefficient alpha does and doesn't matter. **Journal of Personality Assessment**. 80, 217-222. [https://doi.org/10.1207/S15327752JPA8003\\_01](https://doi.org/10.1207/S15327752JPA8003_01)
- Sumberg, J., Giller, K.E., 2022. What is 'conventional' agriculture?. **Global Food Security**. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100617>
- Tang, Y., Dananjayan, S., Hou, C., Guo, Q., Luo, S., He, Y., 2021. A survey on the 5G network and its impact on agriculture: Challenges and opportunities. **Computers and Electronics in Agriculture**. 180. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105895>
- Tao, W., Zhao, L., Wang, G., Liang, R., 2021. Review of the internet of things communication technologies in smart agriculture and challenges. **Computers and Electronics in Agriculture**. 189. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106352>
- Tetila, E.C., Machado, B.B., Astolfi, G., Belete, A.S., Amorim, W.P., Roel, A.R., Pistori, H., 2020. Detection and classification of soybean pests using deep learning with UAV images. **Computers and Electronics in Agriculture**. 179. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105836>
- Thompson, N.M., Bir, C., Widmar, D.A., Mintert, J.R., 2019. Farmer perceptions of precision agriculture technology benefits. **Journal of Agricultural and Applied Economics**. 51(1), 142-163. <https://doi.org/10.1017/aae.2018.27>
- Torky, M., Hassanein, A.E., 2020. Integrating blockchain and the internet of things in precision agriculture: Analysis, opportunities, and challenges. **Computers and Electronics in Agriculture**. 178. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105476>
- Tsan, M., Totapally, S., Hailu, M., Addom, B.K., 2019. **The digitalisation of African agriculture report 2018–2019**. The Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA). Wageningen, The Netherlands. p. 241. Recuperado em 11 de Fevereiro de 2022 em: <https://www.cta.int/en/digitalisation-agriculture-africa>
- Ullman, J.B., 2013. **Structural Equation Modeling**. Em B. G. Tabachnick & L. S. Fidell (Eds.), *Using Multivariate Statistics* (6th ed., pp. 681- 785). New Jersey: Pearson.



- UK Parliament, 2022. AGR0001 - Unlocking the potential of agricultural science and technology. Recuperado em 17 de Novembro de 2022 em: [https://app.overton.io/document.php?policy\\_document\\_id=ukparliament\\_select-594a5af0f439c9e290a536f998865ce4&funder\\_highlight=UKRI%20\(Special%20project,%20May%202022\)](https://app.overton.io/document.php?policy_document_id=ukparliament_select-594a5af0f439c9e290a536f998865ce4&funder_highlight=UKRI%20(Special%20project,%20May%202022))
- van Hilten, M., Wolfert, S., 2022. 5G in agri-food - A review on current status, opportunities and challenges. **Computers and Electronics in Agriculture**. 201. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107291>
- Verdouw, C., Tekinerdogan, B., Beulens, A., Wolfert, S., 2021. Digital twins in smart farming. **Agricultural Systems**. 189. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103046>
- Visser, O., Sippel, S.R., Thiemann, L., 2021. Imprecision farming? Examining the (in)accuracy and risks of digital agriculture. **Journal of Rural Studies**. 86. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.07.024>
- Xie, H., Huang, Y., 2021. Influencing factors of farmers' adoption of pro-environmental agricultural technologies in China: Meta-analysis. **Land Use Policy**. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105622>
- Washizu, A., Nakano, S., 2022. Exploring the characteristics of smart agricultural development in Japan: Analysis using a smart agricultural kaizen level technology map. **Computers and Electronics in Agriculture**. 198. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107001>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., Bogaardt, M.J., 2017. Big Data in Smart Farming – A review. **Agricultural Systems**. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- Zheng, Y., Zhu, T., Jia, W., 2022. Does Internet use promote the adoption of agricultural technology? Evidence from 1 449 farm households in 14 Chinese provinces. **Journal of Integrative Agriculture**. 21. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63750-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63750-4)

## APÊNDICE B – Questionário aplicado para coleta de dados da pesquisa.

<b>Barreiras no Desenvolvimento da Agricultura 4.0 na Região Sul do Brasil</b>	
<p>Prezado (a) agricultor (a), o objetivo deste questionário é analisar a importância de um conjunto de barreiras pré-estabelecidas na fase de implementação da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil. A pesquisa faz parte de uma tese de doutorado que está sendo desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A participação nesta pesquisa é facultativa, suas respostas receberão tratamento científico e estarão totalmente sob sigilo. Informamos também que a tabulação da pesquisa será "fechada", ou seja, sem identificação dos respondentes.</p> <p>Tempo estimado para responder esse questionário: 5 - 10 minutos.</p> <p>Para maiores informações, envie um e-mail para (<a href="mailto:franco.da.silveira@hotmail.com">franco.da.silveira@hotmail.com</a>).</p> <p>Os pesquisadores agradecem sua atenção e disponibilidade.</p> <p>Att,</p> <p>Franco da Silveira (UFRGS) Fernando Gonçalves Amaral (UFRGS).</p>	
<p><b>PARTE I - Questões demográficas:</b> As questões demográficas vão ajudar a caracterizar a amostra da pesquisa com relação ao sexo, idade, nível escolar, localização do estado e cidade da fazenda, tamanho da área cultivada e o principal tipo de cultura agrícola desenvolvida pelos agricultores da região Sul do Brasil.</p>	
<p>1) Qual é o seu sexo? <input type="checkbox"/> Masculino <input type="checkbox"/> Feminino</p>	
<p>2) Qual é a sua idade completa em anos? (Descreva abaixo).</p>	
<p>3) Qual é o seu nível escolar completo?</p> <p><input type="checkbox"/> Ensino Fundamental <input type="checkbox"/> Graduação <input type="checkbox"/> Ensino Médio <input type="checkbox"/> Mestrado <input type="checkbox"/> Ensino Médio-Técnico <input type="checkbox"/> Doutorado</p>	
<p>4) Em que Estado está situada a sua principal propriedade/fazenda?</p> <p><input type="checkbox"/> Rio Grande do Sul (RS) <input type="checkbox"/> Santa Catarina (SC) <input type="checkbox"/> Paraná (PR)</p>	
<p>5) Em que Cidade está situada a sua principal propriedade/fazenda? (Descreva abaixo).</p>	
<p>6) Em relação ao espaço de terra que você utiliza na produção de culturas agrícolas, em qual dessas faixas você se classifica?</p> <p><input type="checkbox"/> Até 20 hectares <input type="checkbox"/> De 21 até 100 hectares <input type="checkbox"/> Mais de 100 hectares</p>	
<p>7) Qual é o principal tipo de cultura agrícola que você produz na sua propriedade/fazenda?</p> <p><input type="checkbox"/> Soja <input type="checkbox"/> Fruticultura (Ex: uva, laranja, maçã, etc) <input type="checkbox"/> Milho <input type="checkbox"/> Cana-de-açúcar <input type="checkbox"/> Trigo <input type="checkbox"/> Girassol <input type="checkbox"/> Arroz <input type="checkbox"/> Outros</p>	
<p>8) Quanto tempo você trabalha com essa cultura agrícola? (Descreva abaixo em anos).</p>	

**9)** Em uma escala de 1 a 5, quanto você entende sobre "Agricultura 4.0"? (Onde: 1 = NÃO ENTENDO e 5 = ENTENDO). Nota: A agricultura 4.0 pode ser entendida como a implementação de tecnologias emergentes (drone, big data, computação em nuvem, robô móvel e autônomo, sensores inteligentes, entre outras) e serviços inovadores na fazenda que demandam uma mudança cultural e comportamental em todos os atores (agricultor, governo, atacadistas e varejistas) envolvidos na cadeia de valor, para aumentar a produtividade e eficiência do sistema agrícola com uso de informações precisas e momentâneas que auxiliem na tomada de decisões estratégicas.

1            2            3            4            5  
 Não entendo ( )    ( )    ( )    ( )    ( ) Entendo

**PARTE II - Questões sobre as barreiras da agricultura 4.0:** As barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 foram classificadas em cinco dimensões, devido a diversidade da temática estudada, sendo elas: tecnológicas, econômicas, políticas, culturais e ambientais.

#### **Barreiras Tecnológicas**

**10)** Essas barreiras tecnológicas são importantes na sua decisão de implementação da Agricultura 4.0?

**10.1)** Complexidade Tecnológica (Ex: usabilidade de máquinas autônomas, equipamentos, aplicativos e softwares que realizam a coleta e análise de dados agrícolas).

( )                      ( )                      ( )                      ( )                      ( )  
 Sem Importância    Pouco Importante    Média Importância    Importante    Muito Importante

**10.1)** Complexidade Tecnológica (Ex: usabilidade de máquinas autônomas, equipamentos, aplicativos e softwares que realizam a coleta e análise de dados agrícolas).

( )                      ( )                      ( )                      ( )                      ( )  
 Sem Importância    Pouco Importante    Média Importância    Importante    Muito Importante

**10.2)** Incompatibilidade entre Componentes (Ex: conectividade entre dispositivos móveis).

( )                      ( )                      ( )                      ( )                      ( )  
 Sem Importância    Pouco Importante    Média Importância    Importante    Muito Importante

**10.3)** Gerenciamento de Energia (Ex: consumo de bateria e autonomia durante operação por drones e/ou robôs autônomos).

( )                      ( )                      ( )                      ( )                      ( )  
 Sem Importância    Pouco Importante    Média Importância    Importante    Muito Importante

**10.4)** Infraestrutura (Ex: conectividade no campo).

( )                      ( )                      ( )                      ( )                      ( )  
 Sem Importância    Pouco Importante    Média Importância    Importante    Muito Importante

**10.5)** Confiabilidade dos Dados (Ex: propriedade, disponibilidade, privacidade e segurança cibernética).

( )                      ( )                      ( )                      ( )                      ( )  
 Sem Importância    Pouco Importante    Média Importância    Importante    Muito Importante

#### **Barreiras Econômicas**

**11)** Essas barreiras econômicas são importantes na sua decisão de implementação da Agricultura 4.0?

**11.1)** Custo da Manutenção (Ex: máquinas autônomas, equipamentos, aplicativos, softwares, infraestrutura de telecomunicações).

( )                      ( )                      ( )                      ( )                      ( )  
 Sem Importância    Pouco Importante    Média Importância    Importante    Muito Importante

**11.2)** Custo da Mão de Obra Qualificada.

( )                      ( )                      ( )                      ( )                      ( )  
 Sem Importância    Pouco Importante    Média Importância    Importante    Muito Importante

<b>11.3) Custo de Componentes Operacionais (Ex: placas computacionais potentes, câmeras multiespectrais, softwares).</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante
<b>11.4) Custo para Aquisição das Tecnologias (Ex: máquinas autônomas, equipamentos, robôs agrícolas).</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante
<b>11.5) Custos Ambientais, Éticos e Sociais (Ex: uso de áreas de preservação ambiental, energia solar, saúde do trabalhador rural).</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante
<b>Barreiras Políticas</b>				
<b>12) Essas barreiras políticas são importantes na sua decisão de implementação da Agricultura 4.0?</b>				
<b>12.1) Disponibilidade e Acessibilidade Tecnológica (Ex: máquinas autônomas, equipamentos, aplicativos e softwares).</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante
<b>12.2) Abordagens Centradas na Fazenda e no Agricultor (Ex: cooperativas de agricultores, organizações governamentais rurais, empresas agrícolas privadas).</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante
<b>12.3) Plano de Ação para Implementar Tecnologias Emergentes na Agricultura (Ex: propostas governamentais da câmara 4.0).</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante
<b>12.4) Desafios Políticos (Ex: regularização fundiária, legislações, acordos e normas sobre o uso de dados agrícolas e do funcionamento de máquinas e equipamentos agrícolas autônomos no campo).</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante
<b>12.5) Fomentar Pesquisa e Desenvolvimento (P&amp;D) e modelos de negócios inovadores (Ex: polos de inovação, startups).</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante
<b>Barreiras Sociais</b>				
<b>13) Essas barreiras sociais são importantes na sua decisão de implementação da Agricultura 4.0?</b>				
<b>13.1) Sistema Educacional Agrícola (formação, qualificação, treinamento, capacitação em análises de dados agrícolas, transferência dos dados para o conhecimento prático).</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante
<b>13.2) Risco de Faixa Etária (É definido como a diminuição no uso de tecnologias da agricultura 4.0 pelos atores da cadeia de produção agrícola na categoria da faixa etária adulta 50-55 anos).</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante
<b>13.3) Desenvolvimento de Novas Atribuições Agrícolas (Ex: habilidades digitais e tecnológicas).</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante
<b>13.4) Desconhecimento de Informações das Vantagens da Agricultura 4.0.</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante

<b>13.5) Adaptação às Novas Tecnologias.</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante
<b>Barreiras Ambientais</b>				
<b>14) Essas barreiras ambientais são importantes na sua decisão de implementação da Agricultura 4.0?</b>				
<b>14.1) Influência do Clima e Intemperes (chuva, sol, vento) nas Novas Tecnologias.</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante
<b>14.2) Dados de Previsão Climática no Ambiente Rural (Ex: temperatura ambiente, umidade do ar, umidade do solo, incidência de raios solares, precipitação).</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante
<b>14.3) Modelo de Produção Agrícola Sustentável.</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante
<b>14.4) Técnicas para Coleta de Dados em Fazendas (Ex: big data).</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante
<b>14.5) Equipamentos com Características Sustentáveis (mas de pouca produtividade).</b>				
( )	( )	( )	( )	( )
Sem Importância	Pouco Importante	Média Importância	Importante	Muito Importante
<b>PARTE III - Questões sobre as tecnologias da Agricultura 4.0:</b> Essas questões vão ajudar a entender a situação atual dos agricultores da região Sul do Brasil quanto à adoção de tecnologia da Agricultura 4.0 na fazenda/propriedade, o tipo de tecnologia utilizada, e o tempo de uso dessa tecnologia.				
<b>15) Você adota alguma tecnologia da agricultura 4.0 em sua fazenda/propriedade? (Ex: drone, big data, computação em nuvem, robô móvel e autônomo, sensores inteligentes).</b>				
( ) Sim				
( ) Não				
<b>16) Qual (s) é a (s) tecnologia (s) da agricultura 4.0 que você utiliza em sua fazenda/propriedade? (Descreva abaixo). Caso você "NÃO" utilize nenhuma tecnologia, desconsidere a pergunta.</b>				
<b>17) Quanto tempo você adota essa (s) tecnologia (s) na sua fazenda/propriedade? (Descreva abaixo em anos). Caso você "NÃO" utilize nenhuma tecnologia, desconsidere a pergunta.</b>				
<b>18) Qual é a função dessa (s) tecnologia (s) na sua fazenda/propriedade? (Descreva abaixo). Caso você "NÃO" utilize nenhuma tecnologia, desconsidere a pergunta.</b>				

#### **4. ARTIGO 3: PROPOSTA DE UM FRAMEWORK PARA GERENCIAR AS BARREIRAS QUE DIFICULTAM O DESENVOLVIMENTO DA AGRICULTURA 4.0 NA CADEIA DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA**

Uma versão em inglês será submetida para o periódico *Agricultural Systems* (Qualis A1; Fator de Impacto 2020: 6.765). Deverá ser submetido em Abril/2023.

**Resumo:** A agricultura 4.0 é composta por diferentes tecnologias já operacionais ou em desenvolvimento, como a *agricultural internet of things*, *machine learning*, *unmanned aerial vehicles*, *big data analytics*, robótica, e inteligência artificial, que causam benefícios significativos em todas as etapas e processos da cadeia de produção agrícola. Porém, uma série de barreiras podem ser encontradas no desenvolvimento da agricultura 4.0 neste setor. Em países em desenvolvimento, as discussões sobre este cenário não são tão abrangentes e merecem atenção. É o caso do Brasil, um dos grandes *players* do agronegócio no mundo, que possui grande potencial para ampliar a introdução da agricultura 4.0. O objetivo desta pesquisa é apresentar um *framework* de barreiras à implementação da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil. Foram selecionadas 25 barreiras por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). As barreiras foram validadas através da percepção de agricultores deste setor. Uma análise fatorial confirmatória foi adotada no processo de validação. Na sequência, especialistas da área desenvolveram relações contextuais entre elas. Foi aplicado o método *Interpretive Structural Modeling* (ISM), bem como realizada a análise *Matrix Impact of Cross Multiplication Applied to Classification* (MICMAC), que permitiu identificar as barreiras da agricultura 4.0 que possuem alto poder de condução e as que são dependentes. Um *framework* mostra a hierarquia entre as barreiras da agricultura 4.0, evidenciando suas diferentes relações, e deste modo destacando quais devem ser priorizadas para que ocorra uma implantação mais bem-sucedida. As contribuições resultantes deste estudo fornecem uma melhor compreensão da literatura existente acerca das barreiras da agricultura 4.0, bem como aponta as implicações práticas que dificultam sua implantação. Espera-se que este estudo oriente os atores da área na implementação da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola, ajudando a concentrar seus esforços na remoção das barreiras mais importantes.

**Palavras-chave:** Agricultura Digital; Agricultura 4.0; Barreiras; Adoção; ISM; MICMAC.

#### 4.1. INTRODUÇÃO

Na sucessão de mudanças nas formas de produção de alimentos, inicia-se uma fase dedicada à implementação de tecnologias emergentes na cadeia de produção agrícola (Kukk et al., 2022). “Agricultura 4.0”, “agricultura digital”, e “quarta revolução agrícola” são alguns dos termos que indicam a profunda transformação associada à implementação de tecnologias emergentes em todas as etapas e processos deste setor (da Silveira et al., 2021; Rijswijk et al., 2021; Jakku et al., 2023). A agricultura 4.0 é geralmente vista como um meio positivo para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Fanzo et al., 2021; FAO, 2022). Portanto, espera-se que as tecnologias advindas da agricultura 4.0 aumentem a eficiência na produtividade alimentar (Ozdogan et al., 2017) e proporcionem benefícios sociais (Wolfert et al., 2017) e ambientais na cadeia de produção agrícola (Grieve et al., 2019).

Os avanços tecnológicos da agricultura 4.0 impactam, sem dúvida, o desenvolvimento da cadeia de produção agrícola (Klerkx et al., 2019). Esses avanços só são possíveis devido aos benefícios de diferentes tecnologias já operacionais ou em desenvolvimento (por exemplo: robôs agrícolas, Wang et al., 2023; Yang et al., 2023; veículos aéreos não tripulados, Anderegg et al., 2023; *machine learning*, Goodrich et al., 2023; Lardy et al., 2023; *deep learning*, Li et al., 2023; *big data*, Wu et al., 2023; entre outras). No entanto, nem todas as tecnologias da agricultura 4.0 são implementadas da mesma forma e ao mesmo tempo (Calafat-Marzal et al., 2023). Vários desafios e áreas de risco podem ser identificados junto com os efeitos potencialmente positivos da agricultura 4.0 (Kukk et al., 2022). Existem muitas preocupações nas áreas sociais, econômicas, políticas, tecnológicas e ambientais relacionadas à agricultura 4.0 (Barrett e Rose, 2020; Lioutas et al., 2021; Rijswijk et al., 2021). Por isso, é necessário explorar e entender como está ocorrendo a implementação da agricultura 4.0 para proporcionar um envolvimento mais significativo com as tecnologias desse modelo agrícola (Zambon et al., 2019; Engås et al., 2023).

Diversos estudos estão investigando os efeitos da agricultura 4.0, concentrando-se em tudo, desde a cobertura da mídia sobre a digitalização na agricultura (Mohr e Höhler, 2023) até abordagens disruptivas avançadas destinadas à aplicação de tecnologias emergentes (Wolfert et al., 2017; Pauschinger e Klauser, 2022; Gil et al., 2023). No entanto, não há pesquisas que considerem os efeitos da adoção da agricultura 4.0 em um conjunto mais amplo (Rose e Chilvers, 2018; Ancin et al., 2022; Daum et al., 2022), a maioria delas está focada na adoção de tecnologias específicas pelos agricultores (Haberli Junior et al., 2019; Zeng et al., 2021; Porciello et al., 2022). Os efeitos desse novo modelo agrícola, baseado na mudança de métodos

agrícolas tradicionais para métodos agrícolas inteligentes e/ou digitais, ainda não foram totalmente definidos (Abbasi et al., 2022; Wolfert et al., 2023). Debates na literatura afirmam que falta uma implementação global da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola, predominantemente em pequenas e médias propriedades rurais (fazendas) (Bolfe et al., 2020b; Klerkx e Rose, 2020; Rijswijk et al., 2021; Leng, 2022). No centro desta estrutura teórica está a importância de abordagens que tratem das barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 em países desenvolvidos (por exemplo: Austrália, Ollerenshaw et al., 2023; e Nova Zelândia, Jakku et al., 2023) e em países emergentes (por exemplo: Brasil, Bolfe et al., 2020a; e China, Leng, 2022). Embora haja um corpo de trabalho emergente, os pesquisadores descrevem que a questão das “barreiras da agricultura 4.0” ainda está em estágio embrionário (O'Malley et al., 2020; Ingram et al., 2022). Portanto, ainda há espaço para mais estudos baseados em evidências com foco nas barreiras da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola (da Silveira e Amaral, 2023).

No Brasil, há uma expectativa de que a agricultura 4.0 ajude a potencializar a cadeia de produção agrícola, trazendo novas soluções para velhos e novos problemas. As diferentes tecnologias da agricultura 4.0 aplicadas nas diversas etapas e processos da cadeia de produção agrícola trazem benefícios tanto em termos de eficiência (redução de custos, produtividade agrícola) quanto na redução do impacto ambiental (maior sustentabilidade). Portanto, os adotantes têm uma vantagem competitiva sobre os não adotantes. Bolfe et al. (2020a) mencionam que só é possível uma ampla implementação da agricultura 4.0 no contexto brasileiro se forem conhecidas as barreiras que dificultam sua adoção. No entanto, nenhuma contribuição na literatura se concentra em sistematizar de forma abrangente as barreiras à adoção da agricultura 4.0 no Brasil, com a finalidade de explorar e verificar a relação contextual entre as barreiras e priorizá-las entre si. Além disso, falta uma análise holística das barreiras para a adoção do paradigma da agricultura 4.0, que possibilite o desenvolvimento de estratégias eficazes que possam levar à sua superação.

Para preencher essa lacuna, o presente estudo tem como objetivo explorar e classificar as barreiras no desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil, para sustentar a proposição de um *framework* abrangente que busque gerenciá-las. Esta pesquisa contribui para o conhecimento existente no campo da agricultura 4.0 de várias maneiras. Primeiramente, esta pesquisa demonstra as inter-relações entre as barreiras da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola que são consideradas na literatura da área. Em segundo lugar, é proposto um *framework* conceitual que estabelece a interação entre as barreiras



relacionadas ao ecossistema da agricultura 4.0, o qual demonstra que a implementação bem-sucedida poderá ser alcançada se forem considerados os três níveis de prioridade das barreiras (baixo, moderado e alto). Em terceiro lugar, este trabalho está focado no contexto da cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil, expandindo as lentes teóricas da agricultura 4.0 em um cenário com poucas investigações na literatura (Bolfe et al., 2020a). Essa região é responsável por aproximadamente 41,26% da exportação total do agronegócio do País – têm forte poder econômico e merece ser analisada na era da agricultura 4.0 (MAPA, 2021). Além disso, o artigo responde a solicitações de pesquisa para agricultura 4.0 fora dos países ocidentais desenvolvidos (Shepherd et al., 2020; Ingram et al., 2022), além de atender as propostas de estudos futuros de outros setores agrícolas que também investigaram as barreiras da digitalização (Benyam et al., 2021; Kumar et al., 2021; Calafat-Marzal et al., 2023). Nesse sentido, as informações levantadas nesta pesquisa também permitirão extrair sugestões que busquem aprimorar as estratégias de adoção da agricultura 4.0 no mundo.

O artigo está organizado da seguinte forma, além desta introdução inicial. A seção 4.2. apresenta uma visão geral sobre as barreiras da agricultura 4.0 e a lacuna de pesquisa do trabalho. A Seção 4.3. explica os passos metodológicos adotados no desenvolvimento desta pesquisa. Na seção 4.4., estão os resultados que foram alcançados no trabalho. A Seção 4.5. descreve uma discussão de suas descobertas, destacando os principais *insights* do estudo e comparando-os com a literatura da agricultura 4.0. Por fim, a Seção 4.6. contém as conclusões do artigo, implicações para o conhecimento teórico e prático, limitações e propostas para estudos futuros.

## 4.2. REVISÃO DA LITERATURA

### 4.2.1. Visão geral das Barreiras da agricultura 4.0

A agricultura 4.0 está relacionada a mudanças potencialmente disruptivas nos processos e etapas da cadeia de produção agrícola (Klerkx et al, 2019), ou seja, caracteriza-se por levar à disrupção tecnológica ao setor – termo usado para denotar uma mudança significativa em um sistema que é motivada pela adoção de novas tecnologias (Cook et al., 2021). Alguns pesquisadores mencionam que essa mudança é predominantemente enquadrada de forma positiva por governos, empresas de tecnologia e organizações de pesquisa (Barrett e Rose, 2020; Klerkx e Rose, 2020). No entanto, esses enquadramentos normalizam o otimismo tecnológico que são montados para fins narrativos sem uma avaliação conceitual explícita dos efeitos da agricultura 4.0 (Gonella et al., 2019). O desafio é evitar um futuro em que as

tecnologias da agricultura 4.0 sejam incorporadas à comunidade científica, mas que não atendam às expectativas dos principais atores da cadeia de produção agrícola (por exemplo: agricultores) (Maria et al., 2020; Shepherd et al., 2020; da Silveira et al., 2021).

Embora os desafios permaneçam em muitos casos com as próprias tecnologias (por exemplo: falta de conectividade rural, Corallo et al., 2018; Janc et al., 2019; Sittón-Candanedo et al., 2019), muitos estudos sugerem que as principais barreiras à adoção da agricultura 4.0 estão relacionadas aos seus aspectos tecnológicos (Raj et al., 2021), políticos (Ehlers et al., 2021) e sociais (Giua et al., 2022). Porém, Abbasi et al. (2022) identificaram 21 barreiras que impedem uma maior adoção de tecnologias digitais no setor agrícola. Os autores optaram por categorizar as barreiras em dois níveis: técnico e socioeconômico. Neste estudo, não são abordadas barreiras das questões sociais, políticas e ambientais. Além disso, os autores corroboram que pesquisas adicionais sobre as barreiras da agricultura 4.0 devem ser consideradas para melhorar a discussão em torno delas.

Maffezoili et al. (2022) mencionam que uma parcela das tecnologias da agricultura 4.0 vão ser responsáveis por analisar grandes conjuntos de dados. O problema, segundo os autores, é construir modelos algoritmos que sejam úteis para resolver problemas de maneira prospectiva. Já Kumar et al. (2021), descrevem que a falta de apoio e incentivos governamentais tem sido uma das principais barreiras à agricultura 4.0 em muitos países. Esta análise ocorreu no tocante as barreiras à adoção da indústria 4.0 e da economia circular na cadeia de suprimentos agrícola. Este estudo ainda enfatiza um desafio, o qual trata da fala de consciência dos *stakeholders* sobre os benefícios das tecnologias modernas da agricultura 4.0. Mühl e Oliveira (2022) apontam que o maior desafio da agricultura 4.0 é a integração de tecnologias das mais diversas áreas do conhecimento. Os autores acrescentam que isso pode gerar grandes volumes de dados errôneos, exigindo ajustes constantes para calibração de sensores e interpretação dos dados, por exemplo. Yadav et al. (2022) direcionam alguns desafios que ainda precisam ser enfrentados para melhorar a implementação das tecnologias da agricultura 4.0: i) analisar a decisão de investimento, se há necessidade de aplicar essas tecnologias e em que ponto precisam ser incorporadas ao sistema existente, e ii) investigar as questões comportamentais relacionadas ao impacto da tecnologia nas partes interessadas, pois podem facilitar uma aceitação mais ampla. A Tabela 16 apresenta as várias barreiras e suas descrições relacionadas à adoção e implementação da agricultura 4.0.

Tabela 16 – Barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola.

ID	Barreira (Referência)	Descrição	Dimensão
B1	Complexidade Tecnológica (Ferrández-Pastor et al., 2016; Jawad et al., 2017; O'Grady e O'Hare, 2017; Wolfert et al., 2017; Balducci et al., 2018; Braun et al., 2018; Colezea et al., 2018; Musat et al., 2018; Belaud et al., 2019; Grieve et al., 2019; Haberli Junior et al., 2019; Klerkx, et al., 2019; Kodan et al., 2019; Kong et al., 2019; Muangprathub et al., 2019; Nawandar e Satpute, 2019; Pivoto et al., 2019; Zambon et al., 2019; Hang et al., 2020; Zhai et al., 2020).	Esse é um problema que pode surgir pela falta de usabilidade dos equipamentos tecnológicos da agricultura 4.0 para os atores da cadeia de produção agrícola (por exemplo: usabilidade de máquinas autônomas, equipamentos, sensores, aplicativos e softwares que realizam a coleta e análise de dados agrícolas).	Tecnológica
B2	Incompatibilidade entre Componentes (Ferrández-Pastor et al., 2016; O'Grady e O'Hare, 2017; Wolfert et al., 2017; Balducci et al., 2018; Braun et al., 2018; Elijah et al., 2018; Gan e Lee, 2018; Moon et al., 2018; Musat et al., 2018; Pivoto et al., 2018; Vuran et al., 2018; Hradecká, 2019; Junior et al., 2019; Kodan et al., 2019; Lee et al., 2019; Phillips et al., 2019; Pivoto et al., 2019; Ponraj e Vigneswaran, 2019; Schmidt e Cheein, 2019; Sittón-Candanedo et al., 2019; Zhao et al., 2019; Hang et al., 2020; Klerkx e Rose, 2020; Mistry et al., 2020; Quiroz et al., 2020; Ramli et al., 2020; Righi et al., 2020).	Isso se refere às restrições existentes para adaptar as questões técnicas dos equipamentos e softwares de diferentes empresas tecnológicas com as operações agrícolas existentes (por exemplo: integração de dados de múltiplos sensores diferentes).	
B3	Problemas de Gerenciamento de Energia (Jawad et al., 2017; O'Grady e O'Hare, 2017; Vuran et al., 2018; Schmidt e Cheein, 2019; Hang et al., 2020; Mistry et al., 2020; Ramli et al., 2020)	O limite de energia proporcionado pelas tecnologias da agricultura 4.0 e a vida útil das baterias, por exemplo, podem dificultar o desenvolvimento da agricultura 4.0 entre os atores da cadeia de produção agrícola (por exemplo: consumo de bateria e autonomia durante operação por drones e/ou robôs autônomos).	
B4	Falta de Infraestrutura (Jawad et al., 2017; O'Grady e O'Hare, 2017; Wolfert et al., 2017; Braun et al., 2018; Colezea et al., 2018; Corallo et al., 2018; Pivoto et al., 2018; Vuran et al., 2018; Grieve et al., 2019; Lioutas et al., 2019; Pivoto et al., 2019; Zambon et al., 2019; Fielke et al., 2020)	Isso se refere às deficiências na infraestrutura de telecomunicações das fazendas. É necessário desenvolver uma infraestrutura moderna que permita uma ampla conectividade digital nas áreas rurais.	
B5	Preocupações sobre a Confiabilidade de Dados (Jawad et al., 2017; Wolfert et al., 2017; Braun et al., 2018; Colezea et al., 2018; Elijah et al., 2018; Moon et al., 2018; Rose e Chilvers, 2018; Vuran et al., 2018; Fielke et al., 2019; Haberli Junior et al., 2019; Klerkx, et al., 2019; Lioutas et al., 2019; Muangprathub et al., 2019; Phillips et al., 2019; Pivoto et al., 2019; Sittón-Candanedo et al., 2019; Van der Burg et al., 2019; Zhao et al., 2019; Fielke et al., 2020; Hang et al., 2020; Mistry et al., 2020)	Há um grande fluxo de informações que ocorrem na cadeia de produção agrícola, o que representa uma ameaça à segurança cibernética e problemas de privacidade de dados no desenvolvimento da agricultura 4.0.	

<b>ID</b>	<b>Barreira (Referência)</b>	<b>RSL Descrição</b>	<b>Dimensão</b>
B6	Alto Custo de Manutenção de Instalações (Ferrández-Pastor et al., 2016; Elijah et al., 2018; Sittón-Candanedo et al., 2019; Zhao et al., 2019; Ramli et al., 2020)	Trata-se das despesas para comissionar a infraestrutura necessária para as comunidades rurais e os custos operacionais provenientes da interoperabilidade de dados (por exemplo: máquinas autônomas, equipamentos, aplicativos, softwares, infraestrutura de telecomunicações).	Econômica
B7	Alto Custo da Mão de Obra Qualificada (Ferrández-Pastor et al., 2016; Raungpaka e Savetpanuvong, 2017; Wolfert et al., 2017; Braun et al., 2018; Elijah et al., 2018; Pivoto et al., 2018; Khatri-Chhetri et al., 2019)	Isso se refere aos custos da mão de obra qualificada que é necessária para controlar e manter as tecnologias da agricultura 4.0 funcionando.	
B8	Alto Custo de Componentes Operacionais (Jawad et al., 2017; Wolfert et al., 2017; Corallo et al., 2018; Elijah et al., 2018; Vuran et al., 2018; Grieve et al., 2019; Hradecká, 2019; Sittón-Candanedo et al., 2019; Zhao et al., 2019)	Referem-se às soluções para os problemas de tomada de decisão agrícola que podem não ser viáveis devido aos custos proibitivos das tecnologias da agricultura 4.0 (por exemplo: placas computacionais potentes, câmeras multiespectrais, softwares).	
B9	Falta de Soluções Acessíveis aos Agricultores (Wolfert et al., 2017; Corallo et al., 2018; Grieve et al., 2019; Janc et al., 2019; Khatri-Chhetri et al., 2019; Miranda et al., 2019; Pivoto et al., 2019; Klerkx e Rose, 2020; Righi et al., 2020)	O alto investimento necessário para adquirir os equipamentos e componentes tecnológicos desestimula o processo de desenvolvimento da agricultura 4.0 (por exemplo: máquinas autônomas, equipamentos, robôs agrícolas).	
B10	Preocupações com Custos Ambientais, Éticos e Sociais (Rose e Chilvers, 2018; Grieve et al., 2019; Khatri-Chhetri et al., 2019; Miranda et al., 2019)	As implicações sociais, éticas e ambientais podem dar origem a custos potenciais na introdução em grande escala da agricultura 4.0 e que podem prejudicar sua adoção entre os atores da cadeia de produção agrícola (por exemplo: uso de áreas de preservação ambiental, energia solar, saúde do trabalhador rural).	
B11	Problemas no Aumento da Disponibilidade e Acessibilidade (Jawad et al., 2017; Wolfert et al., 2017; Braun et al., 2018; Colezea et al., 2018; Grieve et al., 2019; Khatri-Chhetri et al., 2019; Phillips et al., 2019; Fielke et al., 2020; Klerkx e Rose, 2020)	Isso se refere à falta de disponibilidade e acessibilidade das tecnologias da agricultura 4.0 para os atores da cadeia de produção agrícola. É necessário o desenvolvimento de uma nova estrutura de política agrícola para estimular a implementação das tecnologias da agricultura 4.0 (por exemplo: máquinas autônomas, equipamentos, aplicativos e softwares).	Política
B12	Falta de Abordagens Centradas na Fazenda e Centradas no Agricultor (O'Grady e O'Hare, 2017; Braun et al., 2018; Pivoto et al., 2018; Haberli Junior et al., 2019; Pivoto et al., 2019; Van der Burg et al., 2019; Fielke et al., 2020; Klerkx e Rose, 2020; Zhai et al., 2020)	Referem-se às novas medidas que devem ser incrementadas para agilizar o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola (por exemplo: cooperativas de agricultores, organizações governamentais rurais, empresas agrícolas privadas).	
B13	Necessidade de Desenvolver um Plano de Ação para Implementação de Tecnologia (Ozdogan et al., 2017; Wolfert et al., 2017; Braun et al., 2018; Rose e Chilvers, 2018; Fielke et al., 2019; Righi et al., 2020)	O desenvolvimento da agricultura 4.0 necessita de um plano de ação que facilite a implementação das tecnologias emergentes na agricultura (por exemplo: propostas governamentais da câmara 4.0).	
B14	Desafios Políticos e/ou falta de Procedimentos e Acordos sobre o uso de Dados (Wolfert et al., 2017; Elijah et al., 2018; Phillips et al., 2019; Van der Burg et al., 2019; Zhao et al., 2019; Fielke et al., 2020; Mistry et al., 2020)	A agricultura 4.0 requer uma atualização política à medida que novas tecnologias para a agricultura são desenvolvidas (por exemplo: regularização fundiária, legislações, acordos e normas sobre o uso de dados agrícolas e do funcionamento de máquinas e equipamentos agrícolas autônomos no campo).	
B15	Necessidade de Promover P&D e Modelos de Negócios Inovadores (Wolfert et al., 2017; Braun et al., 2018; Corallo et al., 2018; Elijah et al., 2018; Pivoto et al., 2018; Rose e Chilvers, 2018; Fielke et al., 2019; Khatri-Chhetri et al., 2019; Lioutas et al., 2019; Pivoto et al., 2019; Zambon et al., 2019; Klerkx e Rose, 2020; Righi et al., 2020)	Falta uma integração de universidades e centros de incubação tecnológica (por exemplo: polos de inovação, startups), além de um alto investimento em P&D para facilitar o desenvolvimento de tecnologias na agricultura 4.0.	

ID	Barreira (Referência)	RSL Descrição	Dimensão
B16	Problemas na Educação (Ferrández-Pastor et al., 2016; Raungpaka e Savetpanuvong, 2017; Wolfert et al., 2017; Braun et al., 2018; Elijah et al., 2018; Pivoto et al., 2018; Grieve et al., 2019; Janc et al., 2019; Klerkx, et al., 2019; Pivoto et al., 2019; Zambon et al., 2019)	O sistema educacional agrícola precisa ser atualizado, para possibilitar o atendimento das competências exigidas pela agricultura 4.0 (por exemplo: formação, qualificação, treinamento, capacitação em análises de dados agrícolas, transferência dos dados para o conhecimento prático). É um desafio na agricultura 4.0 realizar a transferência de dados para conhecimentos práticos entre os atores da cadeia de produção agrícola.	Social
B17	Risco de Faixa Etária (Ozdogan et al., 2017; Janc et al., 2019; Klerkx, et al., 2019)	É definido como a diminuição no uso de tecnologias da agricultura 4.0 pelos atores da cadeia de produção agrícola na categoria da faixa etária adulta (50-55 anos).	
B18	Falta de Habilidades Digitais e/ou Mão de Obra Qualificada (Raungpaka e Savetpanuvong, 2017; Braun et al., 2018; Janc et al., 2019; Khatri-Chhetri et al., 2019; Klerkx, et al., 2019; Lioutas et al., 2019; Pivoto et al., 2019; Ponraj e Vigneswaran, 2019; Van der Burg et al., 2019; Zambon et al., 2019; Zhao et al., 2019; Klerkx e Rose, 2020; Zhai et al., 2020)	Refere-se às competências exigidas para praticar a agricultura 4.0 (por exemplo: <i>know-how</i> técnico, habilidades digitais e tecnológicas). A chave para o sucesso na agricultura 4.0 vai depender das competências digitais e/ou da mão de obra qualificada.	
B19	Assimetria de Informações (Raungpaka e Savetpanuvong, 2017; Wolfert et al., 2017; Elijah et al., 2018; Pivoto et al., 2018; Rose e Chilvers, 2018; Fielke et al., 2019; Grieve et al., 2019; Haberli Junior et al., 2019; Janc et al., 2019; Klerkx, et al., 2019; Kodan et al., 2019; Pivoto et al., 2019; Fielke et al., 2020)	Falta desenvolver diretrizes para os atores da cadeia de produção agrícola que proporcionem uma compreensão clara sobre as vantagens de implementar a agricultura 4.0.	
B20	Interrupção do Trabalho Existente (Musat et al., 2018; Rose e Chilvers, 2018; Junior et al., 2019; Klerkx e Rose, 2020)	É definido como as interrupções nos trabalhos existentes ocasionadas pelo emprego das novas tecnologias da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola. Será necessário realizar uma adaptação às novas operações tecnológicas deste setor.	
B21	Desafios da Influência do Clima e dos Comportamentos do Sistema (Braun et al., 2018; Grieve et al., 2019; Haberli Junior et al., 2019; Lioutas et al., 2019; Nawandar e Satpute, 2019; Quiroz et al., 2020)	Devido à influência do clima e do comportamento do sistema (chuva, sol, vento), as tecnologias da agricultura 4.0 podem sofrer deteriorações.	Ambiental
B22	Falta de Eficácia nos Dados do Meio Rural (Huh e Kim, 2018; Moon et al., 2018; Belaud et al., 2019; Muangprathub et al., 2019; Righi et al., 2020)	Isso se refere à eficácia dos dados de previsão climática no ambiente rural (por exemplo: temperatura ambiente, umidade do ar, umidade do solo, incidência de raios solares, precipitação).	
B23	Restrições Sustentáveis (Fielke et al., 2019; Klerkx, et al., 2019; Pivoto et al., 2019; Klerkx e Rose, 2020)	Refere-se às restrições sobre o modo radical de produção de alimentos, consumo de alimentos e disposição de resíduos alimentares que podem ser desenvolvidas pelos consumidores na agricultura 4.0.	
B24	Técnicas Limitadas para Coleta de Dados em Fazendas (Huh e Kim, 2018; Vuran et al., 2018; Belaud et al., 2019; Nawandar e Satpute, 2019; Hang et al., 2020; Zhai et al., 2020)	É um desafio desenvolver técnicas úteis para a coleta de dados na cadeia de produção agrícola.	
B25	Tecnologias com Características Sustentáveis (Vuran et al., 2018)	Refere-se às tecnologias da agricultura 4.0 para a cadeia de produção agrícola que possuem características sustentáveis (mas de pouca produtividade).	

Em um estudo desenvolvido por [Benyam et al. \(2021\)](#), onde são analisadas as barreiras da adoção de tecnologias agrícolas digitais na prevenção ou redução da perda e desperdício de alimentos, foram identificados os principais aspectos, tais como: o custo das tecnologias e acessibilidade – especialmente em fazendas de pequena escala, limitações na incorporação do conhecimento ecológico local (valores), complexidades de *design* e desafios na aplicação, e o deslocamento de mão de obra. [Kieti et al. \(2022\)](#), descobriram que o aumento da inclusão na agricultura 4.0 deverá ocorrer através de uma intervenção política para acessibilidade tecnológica, especialmente em áreas rurais onde se situa a maior parte da produção agrícola. No caso do estudo desenvolvido por [Drewry et al. \(2019\)](#), as barreiras mais significativas à adoção das tecnologias da agricultura 4.0 incluíam questões de privacidade e segurança de dados, compatibilidade de software e sistema, e compreensão de como usar e obter os valores dos dados adquiridos. Esses casos ilustram como provavelmente será difícil cumprir a promessa da agricultura 4.0 ([Klerkx e Rose, 2020](#); [Shepherd et al., 2020](#)).

#### **4.2.2. Lacuna de pesquisa**

Como sugerido anteriormente, um corpo de conhecimento significativo sobre as barreiras da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola foi criado nos últimos anos ([da Silveira et al., 2021](#)). No entanto, várias incertezas permanecem. É necessário então desenvolver mais conhecimentos sobre as formas como as barreiras podem e devem dificultar a implementação da agricultura 4.0 ([UK Parliament, 2022](#)). Há necessidade de mais informações sobre como as barreiras podem afetar a adoção das tecnologias da agricultura 4.0 ([Benyam et al., 2021](#); [Giua et al., 2022](#)). Além disso, a maioria dos esforços de pesquisa relatados foram interrompidos após a identificação das barreiras na literatura. Esta pesquisa busca contemplar estes campos teóricos, através de uma abordagem baseada em Modelagem Estrutural Interpretativa (*Interpretive Structural Modelling - ISM*) combinada com a metodologia de Matriz de Impacto de Multiplicação Cruzada Aplicada à Classificação (*Matrix Impact of Cross Multiplication Applied to Classification - MICMAC*) para explorar as inter-relações entre as barreiras identificadas na literatura que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola. Este tipo de abordagem abrangente e estruturada não foi observada na literatura da área até agora. Portanto, este estudo procura auxiliar na resolução de algumas lacunas de conhecimento e adicionar um novo ângulo à conversa.

### 4.3. METODOLOGIA DE PESQUISA

A questão de pesquisa que norteia este estudo é: *Quais são as inter-relações entre as barreiras que dificultam a implementação da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola?* Para responder esta pergunta, adotou-se o fluxo metodológico e as etapas subsequentes necessárias, conforme descrito na [Figura 13](#). Primeiramente, uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi realizada para identificar as barreiras que dificultam a implementação da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola ([Capítulo 2 – Artigo 1](#)), listadas na [Tabela 16](#). Posteriormente, foi realizado a validação destas barreiras através de uma *survey* com agricultores da cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil ([Capítulo 3 – Artigo 2](#)). Na sequência, especialistas analisaram o conjunto de barreiras e determinaram as suas relações. Para tanto, aplicou-se a metodologia *Interpretive Structural Modeling* (ISM) para estabelecer as inter-relações entre as barreiras, seguida da análise *Matrix Impact of Cross Multiplication Applied to Classification* (MICMAC), que consiste na identificação das barreiras da agricultura 4.0 que possuem alto poder de condução e as que são dependentes.

#### 4.3.1. Identificação das barreiras da agricultura 4.0

A identificação das barreiras baseou-se nos resultados da RSL ([Capítulo 2 – Artigo 1](#)), ilustrada na [Tabela 7](#). A RSL foi desenvolvida com base no protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Como estratégia de pesquisa, foi adotada uma única *string*: ((*Agriculture OR Agricultural*) AND (“*agriculture 4.0*” OR “*smart farm\**” OR “*industry 4.0*” OR “*farming 4.0*” OR “*digital agriculture*” OR “*fourth agricultural revolution*” OR “*precision agriculture*”)). Os critérios que foram considerados em buscas de artigos nas bases de dados foram: i) artigos publicados antes de 21 de dezembro de 2020, ii) exclusão de artigos da literatura cinzenta (livros e capítulos de livros, artigos de congressos e/ou conferências), iii) exclusão de artigos duplicados (artigos que aparecem em mais de uma base de dados), e iv) artigos escritos somente em inglês. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão pré-estabelecidos nas bases de dados *Scopus*, *Science Direct* e *Web of Science*, foram extraídas 25 barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola. Estas barreiras foram classificadas em cinco dimensões: tecnológica, econômica, política, social e ambiental ([Tabela 16](#)).

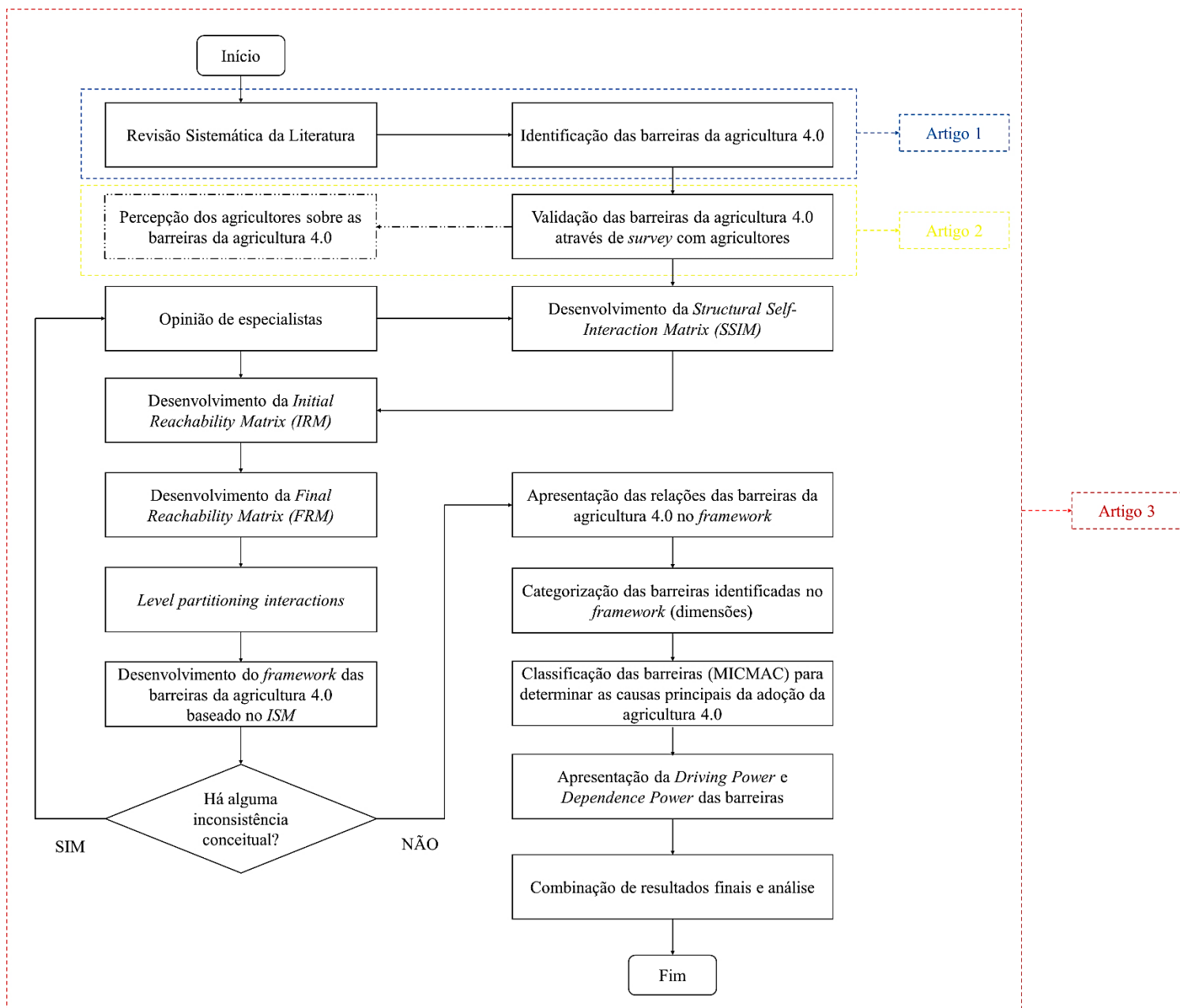


Figura 13 – Fluxograma da metodologia de pesquisa.

#### 4.3.2. Validação das barreiras da agricultura 4.0

Para usar o ISM de forma eficaz, é necessário reduzir o número de variáveis, ou seja, definir as barreiras mais importantes (Azevedo et al., 2019). A importância das barreiras da agricultura 4.0 identificadas na RSL foi verificada através da percepção de agricultores da região Sul do Brasil ( $n = 347$ ) (Capítulo 3 – Artigo 2). Cada agricultor foi solicitado a avaliar as barreiras em uma escala *Likert* de cinco pontos, sendo “1 = sem importância” e “5 = muito importante”. Apenas as barreiras com pontuação média de “3” pontos e/ou acima foram consideradas para análise posterior através do ISM (Majumdar, Garg e Jain, 2021). Constatou-



se que as barreiras ganharam uma pontuação média de “4” pontos (considerando o escore mediano dos dados). Por isso, todas as 25 barreiras identificadas na RSL que dificultam a implementação da agricultura 4.0 foram consideradas no desenvolvimento deste estudo. Em complemento, uma validação foi realizada nestas barreiras por meio de uma análise fatorial confirmatória, considerando os testes estatísticos de *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO) e de esfericidade de *Bartlett* em seu desenvolvimento.

#### **4.3.3. Desenvolvimento das inter-relações das barreiras da agricultura 4.0**

Após a validação das 25 barreiras, foram verificadas as opiniões dos especialistas sobre as inter-relações entre essas barreiras (Capítulo 4 – Artigo 3). Este estudo empregou um método misto (do inglês, *mixed-method*) —qualitativo e quantitativo (Venkatesh et al., 2013), na amostragem intencional por meio de um grupo de especialistas com base em sua experiência e expertise. O desenvolvimento do ISM teve uma limitação inerente, o baixo número de respostas de especialistas. Isso ocorre porque os especialistas tiveram que dar mais tempo para comparações pareadas e, também, por fornecer a lógica interpretativa por trás de cada par de comparação. Fornecer relacionamentos contextuais e a lógica associada por trás dessa relação para 25 barreiras consumia muito tempo. Também foi muito complicado conseguir voluntários especializados para este exigente processo. Existem poucas informações de especialistas com conhecimento e experiência suficientes na área da agricultura 4.0. Portanto, é difícil abordar uma amostra suficiente de respondentes válidos para este tipo de levantamento de dados. No entanto, a aplicação do método ISM pode superar essas limitações. Ao usar o método ISM, a ênfase é dada à qualidade dos entrevistados em vez da quantidade (Shen et al., 2016). O número de especialistas de qualidade não precisa ser grande, por exemplo, pode ser de apenas dois (Ravi e Shankar, 2005). Gan et al. (2018) acrescenta que isso é comum e aceitável em pesquisa inovadoras e resultados significativos podem ser obtidos quando critérios de seleção bem desenvolvidos são usados para amostragem. Em complemento, estudos também consideram adequado um número de especialistas variando entre 5 (Tan et al., 2019), 7 (Gan et al., 2018) e 9 (Chen et al., 2022). Convites foram enviados por e-mail e telefone para 15 especialistas, dos quais 5 concordaram em participar da pesquisa. A modalidade de coleta de dados online foi utilizada neste estudo. O perfil dos especialistas envolvidos neste estudo é apresentado na Tabela 17. Todos os especialistas possuem uma experiência mínima de 4 anos com projetos de pesquisas acadêmicas e governamentais relacionada a implementação de tecnologias da agricultura 4.0 em pelo menos um dos processos da cadeia de produção agrícola.

Tabela 17 – Informações básicas dos especialistas que participaram deste estudo.

Especialista	Empregador	Função	Atuação	Experiência (anos)
A	Universidade	Professor	Tecnologias da Agricultura de Precisão e da Agricultura Digital	6
B	Universidade	Professor	Tecnologias da Agricultura de Precisão e da Agricultura Digital	8
C	Universidade	Professor	Servitização no Setor de Máquinas Agrícolas	10
D	Governo	Gerente	Departamento de Economia Rural	12
E	Governo	Pesquisador	Tecnologias da Agricultura de Precisão e da Agricultura Digital	10

Os 5 especialistas foram solicitados a avaliar se as barreiras identificadas pela RSL e, posteriormente, validadas através da percepção de agricultores, são abrangentes no contexto da cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil. As barreiras da Tabela 16 foram enviadas aos especialistas com a exigência de confirmação e concordância sobre as barreiras e suas interpretações. Eles também são convidados a listar outras barreiras. Porém, obteve-se um bom *feedback* e nenhum ajuste foi feito na lista de barreiras. Em seguida, todos os 5 especialistas são obrigados a realizar comparações pareadas das barreiras, respondendo às perguntas, como por exemplo, se “a barreira i leva e/ou influência à barreira j mas não o contrário”. As inter-relações contextuais entre as barreiras dependem das respostas de todos os entrevistados. Se os especialistas tiverem respostas diferentes sobre a comparação par a par de duas barreiras, o princípio de “a minoria cede lugar à maioria” foi adotado para tratar desta questão (Shen et al., 2016; Tan et al., 2019; Chen et al., 2022). Neste estudo, a relação contextual entre as barreiras foi decidida se três ou mais especialistas concordassem.

#### 4.3.4. Interpretive Structural Modelling (ISM)

A metodologia ISM foi usada para determinar as inter-relações entre as barreiras de implementação da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola. A metodologia ISM tem sido usada para analisar os sistemas socioeconômicos complexos por muitos pesquisadores em diferentes áreas (por exemplo: indústria 4.0, Senna et al., 2022; construção civil, Irfan et al., 2022; comercialização de produtos para pequenos agricultores, Tuni et al., 2022; e economia circular, Oluleye, et al., 2022). O ISM é uma estrutura de inter-relações na qual um conjunto de elementos direta e indiretamente relacionados (barreiras no presente trabalho) são mapeados em um modelo (*framework*) contextual para identificar e compreender a complicada relação entre eles (Warfield, 1974; Gadekar, Sarkar e Gadekar, 2022). Esta estrutura ajuda a esclarecer

modelos conceituais pouco claros em sistemas visíveis e bem definidos, aumentando assim a compreensão de seus elementos ao determinar suas inter-relações e hierarquia (Magalhães, Ferreira e Silva, 2021). O ISM foi escolhido para este estudo devido ao pressuposto de que as barreiras não são independentes umas das outras. Esta abordagem não tem dificuldade em lidar com problemas complexos da vida real e possui mais capacidade de capturar comportamentos dinâmicos em comparação a outras metodologias, como *Analytic Hierarchy Process (AHP)* (Raj et al., 2020) ou *Analytic Network Process (ANP)* (Shahabadkar et al., 2012). Além disso, o ISM aponta quais são os elementos no topo da hierarquia como os elementos-chave que controlam o comportamento do sistema (Pimentel, Arantes e Cruz, 2022). O ISM compreende um conjunto de etapas bem definidas para sua implementação bem-sucedida (Senna et al., 2022). O desenvolvimento da *Structural Self-Interaction Matrix (SSIM)* é o primeiro passo do ISM (Majumdar, Garg e Jain, 2021).

#### 4.3.4.1. *Structural Self-Interaction Matrix (SSIM)*

Para analisar as barreiras de implementação da agricultura 4.0, uma relação contextual foi desenvolvida (Tabela 18). A construção do SSIM foi determinada através da relação entre quaisquer duas barreiras (i, j) e a direção associada a essa relação (Ali et al., 2020). As inter-relações foram construídas por meio de consultas a especialistas da agricultura 4.0 (Tabela 17). Foi adotado os quatro símbolos padrão sugeridos por Singh et al. (2007) para denotar a direção da relação entre as variáveis estudadas, como segue:

V: a barreira i leva e/ou influência à barreira j mas não o contrário;

A: a barreira j leva e/ou influência à barreira i mas não o contrário;

X: as barreiras i e j levam e/ou influenciam uma à outra, vice e versa; e

O: as barreiras i e j não possuem relação.

Tabela 18 – *Structural Self-Interaction Matrix (SSIM)* das barreiras da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola.

<b>B [ i / j ]</b>	<b>B25</b>	<b>B24</b>	<b>B23</b>	<b>B22</b>	<b>B21</b>	<b>B20</b>	<b>B19</b>	<b>B18</b>	<b>B17</b>	<b>B16</b>	<b>B15</b>	<b>B14</b>	<b>B13</b>	<b>B12</b>	<b>B11</b>	<b>B10</b>	<b>B9</b>	<b>B8</b>	<b>B7</b>	<b>B6</b>	<b>B5</b>	<b>B4</b>	<b>B3</b>	<b>B2</b>	<b>B1</b>
<b>B1</b>	O	O	O	O	O	V	O	V	V	V	V	V	V	V	V	O	V	V	V	V	A	A	O	X	-
<b>B2</b>	O	O	O	V	O	O	O	O	V	O	V	O	V	V	V	O	V	V	O	V	V	A	O	-	
<b>B3</b>	V	O	O	O	O	O	O	O	O	O	V	O	V	O	O	O	O	V	O	V	O	A	-		
<b>B4</b>	O	O	O	V	O	O	O	O	V	O	V	V	V	V	V	V	V	V	O	O	V	-			
<b>B5</b>	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	V	V	V	V	O	V	V	V	V	O	O	-			
<b>B6</b>	O	O	O	O	A	O	O	O	O	O	V	O	V	V	V	O	V	X	O	-					
<b>B7</b>	O	O	O	O	O	A	O	A	A	A	V	O	V	O	V	V	V	O	-						
<b>B8</b>	O	O	O	O	A	O	O	O	O	O	V	O	V	V	V	O	V	-							
<b>B9</b>	O	V	O	V	O	O	V	O	O	O	V	O	V	V	X	V	-								
<b>B10</b>	X	A	A	A	A	A	O	A	A	O	V	A	V	O	O	-									
<b>B11</b>	O	O	O	O	O	O	V	O	O	O	V	O	V	V	-										
<b>B12</b>	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	V	V	V	-											
<b>B13</b>	O	A	O	O	O	A	A	A	O	A	V	A	-												
<b>B14</b>	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	-													
<b>B15</b>	A	A	O	O	A	O	O	O	O	A	-														
<b>B16</b>	O	O	O	O	O	O	O	V	O	-															
<b>B17</b>	O	O	O	O	O	V	A	A	-																
<b>B18</b>	O	O	O	O	O	O	O	-																	
<b>B19</b>	O	O	V	O	O	O	-																		
<b>B20</b>	O	O	O	O	O	-																			
<b>B21</b>	O	V	O	V	-																				
<b>B22</b>	O	A	O	-																					
<b>B23</b>	O	O	-																						
<b>B24</b>	O	-																							
<b>B25</b>	-																								

Nota: B [ i / j ] representa a barreira na linha i ou na coluna j; (V) a barreira i leva à barreira j mas não o contrário; (A) a barreira j leva à barreira i mas não o contrário; (X) as barreiras i e j levam uma à outra, vice e versa.; e (O) as barreiras i e j não possuem relação.

Após o desenvolvimento da SSIM (Tabela 18), foi adotado o software *SmartISM* (Link de acesso: <http://smartism.sgetm.com/>) para implementar o ISM. O uso do software *SmartISM* ajuda a modelar eficientemente as inter-relações entre as 25 barreiras selecionadas neste estudo para análise. Seus números permissíveis de variáveis variam de 5 a 32. Além disso, corrobora também para uma aplicação correta do ISM – visto que mais de 50% das pesquisas sobre ISM apresentam erros em sua aplicação (Ahmad e Qahmash, 2021).

#### 4.3.4.2. *Reachability Matrix (RM)*

Nesta etapa, o SSIM foi transformado em uma matriz binária, denominada de *Reachability Matrix (RM)* (Majumdar, Garg e Jain, 2021). Na RM, duas matrizes devem ser construídas: *Initial Reachability Matrix (IRM)* e *Final Reachability Matrix (FRM)* (Ali et al., 2020). Conforme o caso, as simbologias V, A, X, O devem ser substituídas por 1 e 0. As regras para a substituição de 1's e 0's são as seguintes:

- Se a entrada (i, j) no SSIM for V, então as entradas (i, j) e (j, i) tornam-se 1 e 0, respectivamente;
- Se a entrada (i, j) no SSIM for A, então as entradas (i, j) e (j, i) tornam-se 0 e 1, respectivamente;
- Se a entrada (i, j) no SSIM for X, então ambas as entradas (i, j) e (j, i) se tornam 1; e
- Se a entrada (i, j) no SSIM for O, então ambas as entradas (i, j) e (j, i) se tornam 0.

A Tabela 19 mostra a IRM, onde 1 implica que a barreira  $n$  na linha (i) influência ou leva a barreira  $n$  na coluna (j). Em contraste, a entrada 0 implica que a barreira  $n$  na linha (i) não influência ou não leva a barreira  $n$  na coluna (j). A Tabela 20 apresenta a FRM após a verificação de transitividade. A propriedade de transitividade permite o preenchimento por inferência de algumas células, com base na seguinte regra: se  $B_x$  influência  $B_y$  e  $B_y$  influência  $B_z$ , então  $B_x$  influência  $B_z$ . Desse modo, a célula que sofre influência indireta das variáveis é preenchida por 1\* (Mathivathanan et al., 2021). A aplicação da regra de transitividade foi satisfatória e não precisou ser modificada neste estudo. Em complemento, a Tabela 20 também exhibe o Poder de Condução (*Driving Power - DVP*) e o Poder de Dependência (*Dependence Power - DPP*) de todas as barreiras pela soma total das entradas nas linhas e colunas correspondentes, respectivamente.

Tabela 19 – Initial Reachability Matrix (IRM) das barreiras da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola.

B [i/j]	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25
B1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
B2	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
B3	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
B4	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
B5	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B6	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B7	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B8	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
B10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
B11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
B12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B16	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
B17	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
B18	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
B19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
B20	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
B21	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
B22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
B23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
B24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
B25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Nota: B [ i / j ] representa a barreira na linha i ou na coluna j.

Tabela 20 – Final Reachability Matrix (FRM) das barreiras da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola.

B [i/j]	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25	DVP	
<b>B1</b>	1	1	0	0	1*	1	1	1	1	1*	1	1	1	1	1	1	1	1	1*	1	0	1*	1*	1*	1*	<b>22</b>	
<b>B2</b>	1	1	0	0	1	1	1*	1	1	1*	1	1	1	1*	1	1*	1	1*	1*	1*	0	1	1*	1*	1*	<b>22</b>	
<b>B3</b>	0	0	1	0	0	1	1*	1	1*	1*	1*	1*	1	1*	1	0	1*	0	1*	1*	0	1*	1*	1*	1	<b>18</b>	
<b>B4</b>	1	1	1	1	1	1*	1*	1	1	1	1	1	1	1	1	1*	1	1*	1*	1*	0	1	1*	1*	1*	<b>24</b>	
<b>B5</b>	1	1*	0	0	1	1*	1*	1	1	1	1*	1	1	1	1	1*	1*	1*	1*	1*	0	1*	1*	1*	1*	<b>22</b>	
<b>B6</b>	0	0	0	0	0	1	1*	1	1	1*	1	1	1	1*	1	0	1*	0	1*	1*	0	1*	1*	1*	1*	<b>17</b>	
<b>B7</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1*	1	1*	1	0	1*	0	1*	1*	0	1*	1*	1*	1*	<b>15</b>	
<b>B8</b>	0	0	0	0	0	1	1*	1	1	1*	1	1	1	1*	1	0	1*	0	1*	1*	0	1*	1*	1*	1*	<b>17</b>	
<b>B9</b>	0	0	0	0	0	0	1*	0	1	1	1	1	1	1*	1	0	1*	0	1	1*	0	1	1*	1	1*	<b>15</b>	
<b>B10</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>4</b>	
<b>B11</b>	0	0	0	0	0	0	1*	0	1	1*	1	1	1	1*	1	0	1*	0	1	1*	0	1*	1*	1*	1*	<b>15</b>	
<b>B12</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1*	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1*	<b>6</b>	
<b>B13</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>2</b>	
<b>B14</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1*	<b>5</b>
<b>B15</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	
<b>B16</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	1*	1*	1*	1*	1	1*	1	1	1*	1	1*	1*	0	1*	1*	1*	1*	<b>17</b>	
<b>B17</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	1*	1	1*	1*	1*	1*	1*	0	1	0	1*	1	0	1*	1*	1*	1*	<b>15</b>	
<b>B18</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	1*	1	1*	1*	1	1*	1*	0	1	1	1*	1*	0	1*	1*	1*	1*	<b>16</b>	
<b>B19</b>	0	0	0	0	0	0	1*	0	1*	1*	1*	1*	1	1*	1*	0	1	0	1	1*	0	1*	1	1*	1*	<b>15</b>	
<b>B20</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	1*	1	1*	1*	1	1*	1*	0	1*	0	1*	1	0	1*	1*	1*	1*	<b>15</b>	
<b>B21</b>	0	0	0	0	0	1	1*	1	1*	1	1*	1*	1*	1*	1	0	1*	0	1*	1*	1	1	1*	1	1*	<b>18</b>	
<b>B22</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1*	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1*	<b>5</b>
<b>B23</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1*	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1*	<b>5</b>	
<b>B24</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1*	<b>6</b>
<b>B25</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1*	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>4</b>	
<b>DPP</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>23</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>24</b>	<b>18</b>	<b>25</b>	<b>5</b>	<b>16</b>	<b>6</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>23</b>	<b>321</b>	

Nota: B [i/j] representa a barreira na linha i ou na coluna j; DPP - Dependence Power; DVP - Driving Power; \*Transitividade.

#### 4.3.4.3. Level partitioning

Nesta etapa, a FRM é convertida na matriz cônica para permitir o particionamento de nível onde, para cada variável, o conjunto de *reachability*, o conjunto *antecedent* e o conjunto *intersection* são identificados. No caso da *reachability*, sua composição ocorre pela própria variável e outras que ela leva a atingir ou influenciar. Já no caso do conjunto *antecedent*, sua composição ocorre pela própria variável e outras que ajudam a alcançá-la ou influenciá-la (Senna et al., 2022). A partir daí, a *intersection* dos conjuntos de *reachability* e *antecedent* é derivada para todos os elementos. Os elementos que possuem conjuntos de *intersection* e *reachability* idênticos são colocados no nível (*Level*) superior da hierarquia (Majumdar, Garg e Jain, 2021). Os elementos de nível superior da hierarquia geralmente são conduzidos por outros elementos nos níveis inferiores. Uma vez identificados os elementos de nível superior, eles são eliminados do conjunto de elementos. Além disso, este processo é repetido até encontrar os elementos dos próximos níveis (Gadekar, Sarkar e Gadekar, 2022). Esses níveis identificados ajudam na construção do *framework* final.

A Tabela 21 mostra a iteração da matriz de *partitioning*. O conjunto de *reachability* e o conjunto de *antecedent* são idênticos para uma barreira, a saber, *Necessidade de Promover P&D e Modelos de Negócios Inovadores (B15)*. Portanto, essa barreira é colocada no nível I da hierarquia, implicando que esta é uma barreira dirigida. Na sequência, essa mesma barreira é então removida de consideração. Vê-se que a *Necessidade de um Plano de Ação para Implementação de Tecnologia (B13)* tem conjunto de *reachability* e conjunto *antecedent* idênticos, e assim obtém o nível II na hierarquia. Após todas as iterações de *partitioning* de nível, as barreiras são organizadas em dez níveis (X), conforme mostrado na Tabela 22. Destaca-se a *Falta de Infraestrutura (B4)* que adquiriu o nível X, ou seja, o nível mais baixo da hierarquia.



Tabela 21 – Resultados das interações de *Level partitioning*.

<b>Barreira</b>	<b>Reachability</b>	<b>Antecedent</b>	<b>Intersection</b>	<b>Level</b>
<b>B1</b>	[1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25]	[1, 2, 4, 5]	[1, 2, 5]	IX
<b>B2</b>	[1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25]	[1, 2, 4, 5]	[1, 2, 5]	IX
<b>B3</b>	[3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 25]	[3, 4]	[3]	VIII
<b>B4</b>	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25]	[4]	[4]	X
<b>B5</b>	[1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25]	[1, 2, 4, 5]	[1, 2, 5]	IX
<b>B6</b>	[6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 25]	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 21]	[6, 8]	VII
<b>B7</b>	[7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 25]	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21]	[7, 9, 11, 17, 19, 20]	VI
<b>B8</b>	[6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 25]	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 21]	[6, 8]	VII
<b>B9</b>	[7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 25]	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21]	[7, 9, 11, 17, 19, 20]	VI
<b>B10</b>	[10, 13, 15, 25]	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25]	[10, 25]	III
<b>B11</b>	[7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 25]	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21]	[7, 9, 11, 17, 19, 20]	VI
<b>B12</b>	[10, 12, 13, 14, 15, 25]	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 16, 17, 18, 19, 20, 21]	[12]	V
<b>B13</b>	[13, 15]	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25]	[13]	II
<b>B14</b>	[10, 13, 14, 15, 25]	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21]	[14]	IV
<b>B15</b>	[15]	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25]	[15]	I
<b>B16</b>	[7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25]	[1, 2, 4, 5, 16]	[16]	VIII
<b>B17</b>	[7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 25]	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21]	[7, 9, 11, 17, 19, 20]	VI
<b>B18</b>	[7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25]	[1, 2, 4, 5, 16, 18]	[18]	VII
<b>B19</b>	[7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 25]	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21]	[7, 9, 11, 17, 19, 20]	VI
<b>B20</b>	[7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 25]	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21]	[7, 9, 11, 17, 19, 20]	VI
<b>B21</b>	[6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25]	[21]	[21]	VIII
<b>B22</b>	[10, 13, 15, 22, 25]	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24]	[22]	IV
<b>B23</b>	[10, 13, 15, 23, 25]	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23]	[23]	IV
<b>B24</b>	[10, 13, 15, 22, 24, 25]	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24]	[24]	V
<b>B25</b>	[10, 13, 15, 25]	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25]	[10, 25]	III

Tabela 22 – Resultados do *Level partitioning*.

<i>Level</i>	<i>Barreira</i>
I	B15 - Necessidade de Promover P&D e Modelos de Negócios Inovadores.
II	B13 - Necessidade de um Plano de Ação para Implementação de Tecnologia.
III	B10 - Preocupações com Custos Ambientais, Éticos e Sociais; e B25 - Tecnologias com Características Sustentáveis.
IV	B14 - Desafios Políticos e/ou falta de Procedimentos e Acordos sobre o uso de Dados; B22 - Falta de eficácia nos Dados do Meio Rural; e B23 - Restrições Sustentáveis.
V	B12 - Falta de Abordagens Centradas na Fazenda e Centradas no Agricultor; e B24 - Técnicas Limitadas para Coleta de Dados em Fazendas.
VI	B7 - Alto Custo da Mão de Obra Qualificada; B9 - Falta de Soluções Acessíveis aos Agricultores; B11 - Problemas no Aumento da Disponibilidade e Acessibilidade; B17 - Risco de Faixa Etária; B19 - Assimetria de Informação; e B20 - Interrupção do Trabalho Existente.
VII	B6 - Alto Custo de Manutenção das Instalações; B8 - Alto Custo de Componentes Operacionais; e B18 - Falta de Habilidades Digitais e/ou Mão de Obra Qualificada.
VIII	B3 - Problemas de Gerenciamento de Energia; B16 - Problemas na Educação; e B21 - Desafios da Influência do Clima e de Comportamentos do Sistema.
IX	B1 - Complexidade Tecnológica; B2 - Incompatibilidade entre Componentes; e B5 - Preocupações sobre a Confiabilidade dos dados.
X	B4 - Falta de Infraestrutura.

#### 4.4. RESULTADOS

##### 4.4.1. Modelo ISM - *Framework*

Após identificar os níveis de todas as barreiras da agricultura 4.0, a relação entre quaisquer duas delas é traçada indicando a direção das relações por meio de setas. Isso é chamado de “grafo direcionado” ou “dígrafo” (Majumdar, Garg e Jain, 2021). O dígrafo é a primeira saída visual da estrutura direcional hierárquica das variáveis (Ahmad e Qahmash, 2021). Ele é construído arranjando as variáveis vertical e horizontalmente de acordo com o *Level partitioning* e, se a variável *i* influencia a variável *j* no IRM, então uma seta é usada, apontando de *i* para *j*, para mostrar a influência direta entre essas duas variáveis (Senna et al., 2022). Na sequência, sua conversão em um modelo final no ISM ocorre a partir da substituição dos números dos “nós” pelos “nomes das variáveis” e representando os “nós” nas “formas retangulares”. A importância do dígrafo diminuiu depois de eliminar todas as relações transitivas nas variáveis (Ahmad e Qahmash, 2021). O modelo final baseado na aplicação do ISM caracteriza-se por ser o *framework* deste estudo. A Figura 14 demonstra o *framework* das 25 barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola na região Sul do Brasil.

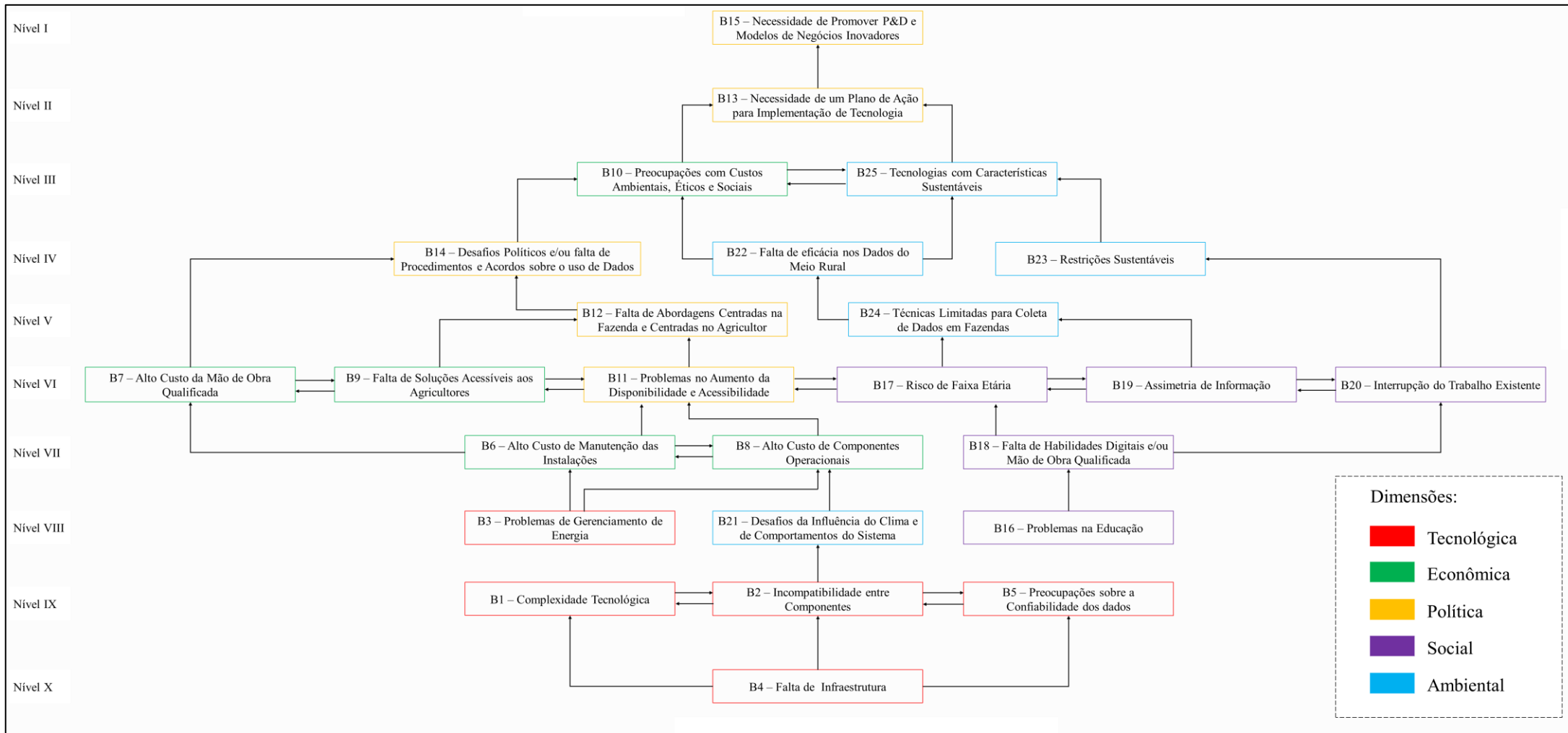


Figura 14 – Framework das barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola.

A partir dos resultados mostrados na [Figura 14](#), a *Falta de Infraestrutura (B4)* está no nível X, encontrando-se na base do *framework* – é a barreira mais significativa. Este resultado indica que esta é a principal barreira que dificulta a expansão da digitalização na cadeia de produção agrícola brasileira. O ponto de partida é o reconhecimento de que o déficit de infraestrutura do Brasil tem efeitos potenciais que comprometem agricultores de diferentes escalas (pequeno, médio e grande) em geral. Além disso, a *Complexidade Tecnológica (B1)*, *Incompatibilidade entre Componentes (B2)* e *Preocupações sobre a Confiabilidade dos dados (B5)* são barreiras que estão situadas no nível IX, as quais dizem respeito a minimizar os desafios tecnológicos para promover a implementação da agricultura 4.0. Estas barreiras também mostram uma relação bidirecional. As barreiras do nível XIII, ou seja, *Problemas de Gerenciamento de Energia (B3)*, *Problemas na Educação (B16)* e *Desafios da Influência do Clima e de Comportamentos do Sistema (B21)*, não possuem relação bidirecional, mas também são fatores limitantes que resultam em problemas nas dimensões tecnológica, social e ambiental.

Já as barreiras do nível VII, ou seja, *Alto Custo de Manutenção das Instalações (B6)*, *Alto Custo de Componentes Operacionais (B8)*, e *Falta de Habilidades Digitais e/ou Mão de Obra Qualificada (B18)*, e do nível VI, ou seja, *Alto Custo da Mão de Obra Qualificada (B7)*, *Falta de Soluções Acessíveis aos Agricultores (B9)*, *Risco de Faixa Etária (B17)*, *Assimetria de Informação (B19)*, e *Interrupção do Trabalho Existente (B20)*, estão relacionadas aos aspectos econômicos e sociais. As barreiras relacionadas a dimensão econômica, no nível VII, possuem relação direta. Apesar de oferecer vários benefícios, o uso de tecnologia por agricultores brasileiros ainda enfrenta diversos problemas de custos que precisam ser superados. Outro pilar da agricultura 4.0 que chama atenção é a falta de profissionalização da mão de obra e das atividades realizadas em campo – barreiras da dimensão social. Isso precisa ser cuidado, pois a agricultura 4.0 só vai fornecer dados e recursos que garantem decisões mais assertivas e seguras se os profissionais estiverem mais bem preparados para tirar proveito de seus benefícios. A barreira *Problemas no Aumento da Disponibilidade e Acessibilidade (B11)*, ainda no nível VI, também chama atenção para a estrutura política da agricultura 4.0. Isto é particularmente crítico porque os agricultores com mais condições socioeconômicas, ou seja, aqueles que são independentes da estrutura política digital agrícola, são mais propensos a implementar as tecnologias da agricultura 4.0.

No nível V está localizada a barreira que trata da *Falta de Abordagens Centradas na Fazenda e Centradas no Agricultor (B12)*, a qual leva a *Desafios Políticos e/ou falta de Procedimentos e Acordos sobre o uso de Dados (B14)*, e também a barreira sobre *Técnicas Limitadas para Coleta de Dados em Fazendas (B24)*, que agrava a *Falta de eficácia nos Dados do Meio Rural (B22)*. Ambas as barreiras que sofrem esta influência, são do nível IV – o qual não possui relação direta e ainda conta com a barreira da dimensão ambiental referente às *Restrições Sustentáveis (B23)*. No tocante as barreiras da dimensão política, os agricultores necessitam de novas medidas que apoiem e incentivem a adoção da agricultura 4.0 para revolucionar a forma de produzir no país. Por isso, é importante iniciar articulações estratégicas regionais e nacionais (por exemplo: cooperativas de agricultores, organizações governamentais rurais, empresas agrícolas privadas) que, em conjunto, podem ter um efeito cascata e melhorar o alcance da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola. No nível III há uma relação bidirecional das barreiras da dimensão ambiental, a saber: *Preocupações com Custos Ambientais, Éticos e Sociais (B10)* e *Tecnologias com Características Sustentáveis (B25)*. Estas barreiras levam a barreira do nível II, ou seja, *Necessidade de um Plano de Ação para Implementação de Tecnologia (B13)*, a qual têm efeito na aceitação social da agricultura 4.0. Por isso, novas diretrizes de expansão e direcionamento da agricultura 4.0 devem ser realizadas para aumentar a difusão de novas tecnologias e serviços inovadores na cadeia de produção agrícola brasileira. Por fim, no nível I está a barreira *Necessidade de Promover P&D e Modelos de Negócios Inovadores (B15)*, que também diz respeito a dimensão social.

Os níveis das barreiras do *framework* (Figura 14) fornecem uma compreensão de seu impacto na implementação da agricultura 4.0. Uma análise MICMAC foi usada para avaliar melhor quais barreiras são a raiz do problema e que precisam ser abordadas primeiro ao implementar a agricultura 4.0. Além disso, as barreiras representadas na Figura 14 são enquadradas dentro das cinco dimensões (tecnológica, econômica, política, social e ambiental) de acordo com a Tabela 16, a fim de apresentar um resultado combinatório de todas as análises realizadas neste estudo.

#### **4.4.2. Análise MICMAC**

Esta etapa examina o Poder de Condução (*Driving Power - DVP*) e o Poder de Dependência (*Dependence Power - DPP*) das barreiras através da análise MICMAC. Os resultados da análise do MICMAC complementam a estrutura hierárquica do *framework*, identificando o DVP e o DPP de cada barreira. A soma desses resultados é construtiva, pois

pode guiar de forma mais eficaz o desenvolvimento e implementação de ações e estratégias para superar as barreiras da agricultura 4.0. No eixo “x” do gráfico (diagrama de clusters - fornecido por essa análise) está representado o DPP e no eixo “y” está representado o DVP. Para obter o DVP das barreiras, todas as entradas de linha (i) da possibilidade de interação são adicionadas, enquanto a adição de entradas de coluna (j) fornece o DPP das barreiras. Os valores da soma das linhas e colunas indicam o impacto de cada barreira na implementação da agricultura 4.0 e fornecem uma base sólida para os atores deste ecossistema em transformação tomarem decisões importantes. O DVP e o DPP foram obtidos a partir da FRM (Tabela 20). Assim, as variáveis analisadas neste estudo foram classificadas em quatro clusters: *Cluster I* - variáveis autônomas (DVP baixo e DPP baixo), *Cluster II* - variáveis dependentes (DVP baixo e DPP alto), *Cluster III* - variáveis de ligação (DVP alto e DPP alto), e *Cluster IV* - variáveis independentes (DVP alto e DPP baixo). A Figura 15 foi obtida a partir da análise MIMAC e apresenta os quatro clusters que retratam os DVP e DPP das barreiras da agricultura 4.0 em relação a si mesmas. Pode-se verificar que nenhuma barreira está incluída no cluster das variáveis autônomas (*Cluster I*), tendo baixos DVP e DPP.

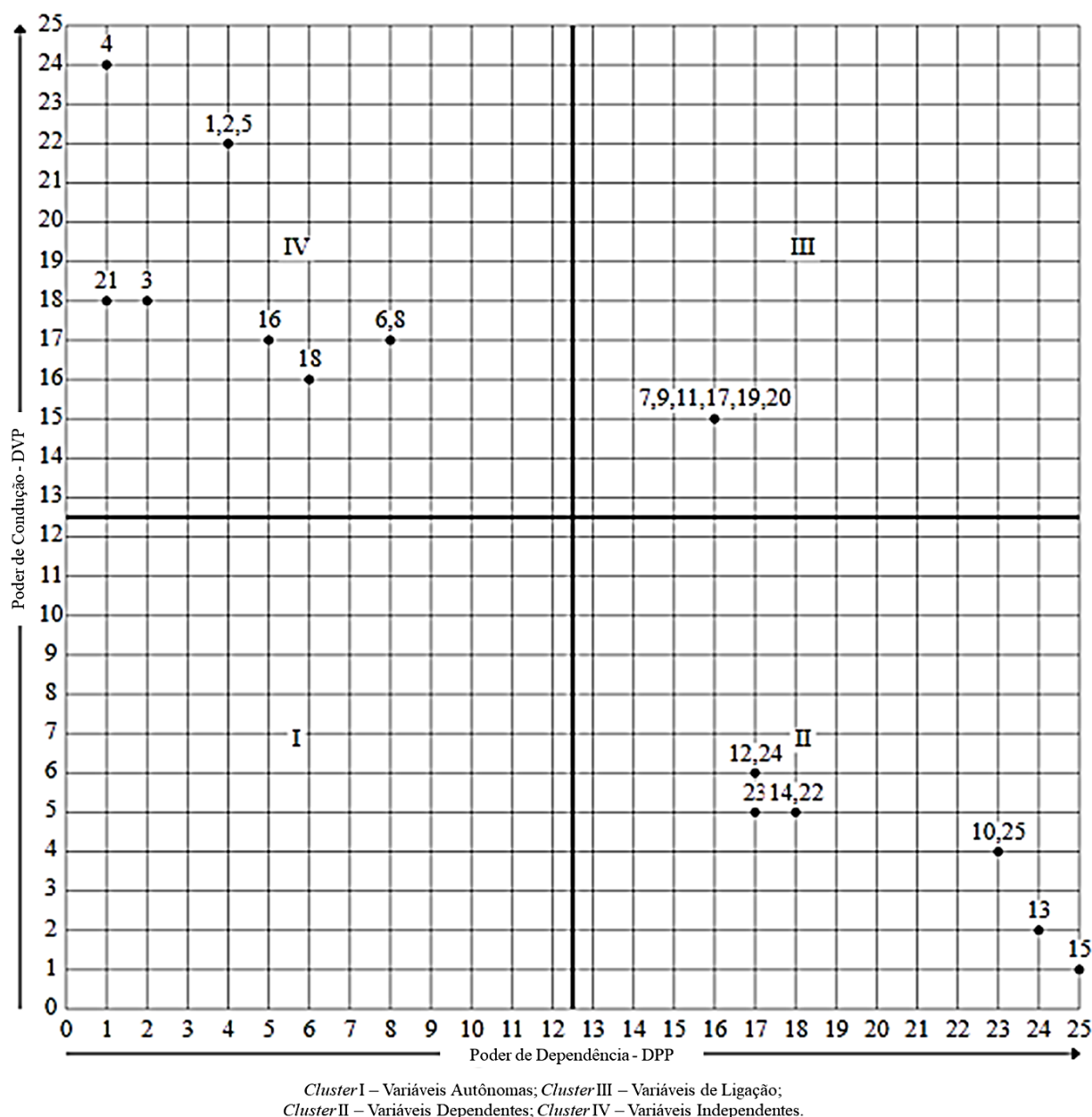


Figura 15 – Análise MICMAC das barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola.

### Cluster I – barreiras autônomas

As barreiras deste cluster são referidas como barreiras autônomas ou barreiras excluídas (Kamble et al., 2018). Plotadas na parte inferior esquerda do gráfico, essas barreiras possuem um DVP e DPP baixo. As barreiras que se enquadram neste cluster são consideradas fora do sistema, desconectadas dos demais elementos. Além disso, essas barreiras não têm nenhum efeito significativo no processo geral de implementação da agricultura 4.0. A Figura 15 mostra que nenhuma barreira está incluída no cluster I. Esse resultado apoia a lista de barreiras

validadas no [Capítulo 3](#) desta tese, onde as 25 barreiras foram consideradas pelo menos moderadamente importantes pelos agricultores da região sul do Brasil. Logo, as evidências deste estudo também indicam que todas as 25 barreiras desempenham um papel significativo no processo de implementação da agricultura 4.0. Pois, todas as barreiras são consideradas como tendo grande influência sobre as demais investigadas e nenhuma em particular está mais isolada do sistema.

### **Cluster II – barreiras dependentes**

As barreiras colocadas neste cluster são referidas como dependentes ou resultantes. Essas barreiras são plotadas na parte inferior direita do gráfico, caracterizadas por ter DVP baixo e DPP alto. Essas barreiras exibem os atributos das variáveis de saída em todo o sistema. Das 25 barreiras consideradas na análise MICMAC, as seguintes foram colocadas neste cluster: *Falta de Abordagens Centradas na Fazenda e Centradas no Agricultor (B12)*, *Técnicas Limitadas para Coleta de Dados em Fazendas (B24)*, *Restrições Sustentáveis (B23)*, *Desafios Políticos e/ou falta de Procedimentos e Acordos sobre o uso de Dados (B14)*, *Falta de eficácia nos Dados do Meio Rural (B22)*, *Preocupações com Custos Ambientais, Éticos e Sociais (B10)*, *Tecnologias com Características Sustentáveis (B25)*, *Necessidade de Promover P&D e Modelos de Negócios Inovadores (B15)*, e *Necessidade de um Plano de Ação para Implementação de Tecnologia (B13)*. As evidências indicam que essas barreiras dependem de quase todas as outras barreiras do sistema para implementar a agricultura 4.0 com sucesso, ou seja, essas barreiras são fortemente influenciadas pelas outras consideradas, mas não têm grande capacidade de influenciar essas barreiras. A descoberta indica ainda que dentre essas barreiras, a B15 e B13 possuem o maior DPP de entrada incluídas no sistema.

### **Cluster III – barreiras de ligação**

As barreiras encontradas neste cluster representam o comportamento harmonizado de ser altamente influente e altamente dependente. Plotados na parte superior direita do gráfico, essas barreiras exibem as características de DVP e DPP alto. Uma pequena modificação em qualquer barreira afetará rapidamente as outras barreiras deste cluster e, também, influenciará outras barreiras de saída no sistema (barreiras do cluster II). Neste estudo, foram encontradas seis barreiras: *Alto Custo da Mão de Obra Qualificada (B7)*, *Falta de Soluções Acessíveis aos Agricultores (B9)*, *Problemas no Aumento da Disponibilidade e Acessibilidade (B11)*, *Risco de Faixa Etária (B17)*, *Assimetria de Informação (B19)*, e *Interrupção do Trabalho Existente*



(B20). É importante acrescentar que todas essas barreiras se encontram no mesmo ponto do gráfico, sendo consideradas voláteis: influenciam fortemente e são influenciadas por outras barreiras. Isso dificulta o desenvolvimento de estratégias que busquem superá-las.

#### **Cluster IV – barreiras independentes**

As barreiras colocadas neste cluster são encontradas na parte superior esquerda do gráfico, as quais exibem DVP alto e DPP baixo. As barreiras no cluster IV atuam como fortes impulsionadores de todas as outras barreiras. Em outras palavras, estas barreiras influenciam significativamente todas as demais barreiras no sistema, ou seja, dificultam consideravelmente o processo de implementação da agricultura 4.0. Neste estudo, as seguintes barreiras foram identificadas: *Falta de Infraestrutura (B4)*, *Complexidade Tecnológica (B1)*, *Incompatibilidade entre Componentes (B2)*, *Preocupações sobre a Confiabilidade dos dados (B5)*, *Desafios da Influência do Clima e de Comportamentos do Sistema (B21)*, *Problemas de Gerenciamento de Energia (B3)*, *Problemas na Educação (B16)*, *Alto Custo de Manutenção das Instalações (B6)*, *Alto Custo de Componentes Operacionais (B8)*, e a *Falta de Habilidades Digitais e/ou Mão de Obra Qualificada (B18)*. Os atores da cadeia de produção agrícola envolvidos no desenvolvimento da agricultura 4.0 ([Tabela 4](#)) devem considerar estas barreiras como prioridade máxima.

É útil reunir os resultados da análise MICMAC de maneira construtiva, pois pode nos instruir a desenvolver e executar planos com mais eficiência para implementar a agricultura 4.0. A [Tabela 23](#) mostra a priorização das barreiras para a agricultura 4.0 com base no DVP e DPP em todas as dimensões analisadas. Uma sugestão de plano de três níveis de prioridade (alto, moderado e baixo) é proposto para melhorar o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola. No nível de prioridade alto, não são identificadas barreiras da dimensão política. No entanto, todas as barreiras da dimensão tecnológica estão neste nível. No nível de prioridade moderado, não são identificadas barreiras da dimensão tecnológica e ambiental. A maioria das barreiras deste nível são da dimensão social. No caso do nível de prioridade baixo, não são identificadas barreiras da dimensão social e tecnológica. Contudo, as barreiras da dimensão ambiental são a maioria.

**Tabela 23** – Priorização das barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola.

<b>Nível de prioridade</b>	<b>Barreiras da agricultura 4.0</b>	<b>Dimensão</b>
Alto	Falta de Infraestrutura (B4)	Tecnológica
	Complexidade Tecnológica (B1)	Tecnológica
	Incompatibilidade entre Componentes (B2)	Tecnológica
	Preocupações sobre a Confiabilidade dos dados (B5)	Tecnológica
	Desafios da Influência do Clima e de Comportamentos do Sistema (B21)	Ambiental
	Problemas de Gerenciamento de Energia (B3)	Tecnológica
	Problemas na Educação (B16)	Social
	Alto Custo de Manutenção das Instalações (B6)	Econômica
	Alto Custo de Componentes Operacionais (B8)	Econômica
Falta de Habilidades Digitais e/ou Mão de Obra Qualificada (B18)	Social	
Moderado	Alto Custo da Mão de Obra Qualificada (B7)	Econômica
	Falta de Soluções Acessíveis aos Agricultores (B9)	Econômica
	Problemas no Aumento da Disponibilidade e Acessibilidade (B11)	Política
	Risco de Faixa Etária (B17)	Social
	Assimetria de Informação (B19)	Social
	Interrupção do Trabalho Existente (B20)	Social
Baixo	Falta de Abordagens Centradas na Fazenda e Centradas no Agricultor (B12)	Política
	Técnicas Limitadas para Coleta de Dados em Fazendas (B24)	Ambiental
	Restrições Sustentáveis (B23)	Ambiental
	Desafios Políticos e/ou falta de Procedimentos e Acordos sobre o uso de Dados (B14)	Política
	Falta de eficácia nos Dados do Meio Rural (B22)	Ambiental
	Preocupações com Custos Ambientais, Éticos e Sociais (B10)	Ambiental
	Tecnologias com Características Sustentáveis (B25)	Econômica
	Necessidade de Promover P&D e Modelos de Negócios Inovadores (B15)	Política
	Necessidade de um Plano de Ação para Implementação de Tecnologia (B13)	Política

#### 4.5. DISCUSSÃO SOBRE AS DESCOBERTAS

A implementação bem-sucedida da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola requer uma compreensão clara das barreiras do *framework* (Figura 14). Para analisar o DVP e o DPP destas barreiras, foi realizada a análise MICMAC (Figura 15). As barreiras na análise MICMAC são classificadas em quatro clusters: *Cluster I* - barreiras autônomas, *Cluster II* - barreiras dependentes, *Cluster III* - barreiras de ligação, e *Cluster IV* - barreiras independentes. Logo, a combinação da estrutura hierárquica do *framework* entre as barreiras e seus DVP e DPP permite direcionar uma discussão pertinente sobre medidas de mitigação que podem ser adotadas para superá-las. Vale ressaltar que os achados desta pesquisa não foram relatados em estudos anteriores que exploram as barreiras da agricultura 4.0.

A *Falta de Infraestrutura (B4)*, barreira da dimensão tecnológica, foi a barreira mais independente em termos de capacidade de direcionar outras barreiras para atingir o objetivo final de implementar a agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola. Esta barreira aparece no nível inferior do *framework*. A ausência de infraestrutura também foi identificada por Bolfe et

al. (2020b) como o maior desafio para implementar a agricultura 4.0 no Brasil. No Canadá, por exemplo, estratégias de investimento em infraestrutura pública estão sendo desenvolvidas. Isso foi uma alternativa adotada para garantir que uma gama maior de agricultores tenha acesso a – e capacidade de fazer uso de – tecnologias da agricultura 4.0 de maneiras que funcionem para sua fazenda (Rotz et al., 2019). Na Austrália, estudos sobre cenários que buscam verificar as expectativas sobre o futuro da agricultura 4.0 apontam que investimentos em infraestrutura são fundamentais para construir a capacidade de uso das tecnologias (Fleming et al., 2021). Além do investimento necessário para obter uma infraestrutura, também é necessário dedicar esforços nas reformas estruturais políticas na agricultura 4.0. Uma alternativa que vêm sendo adotada para garantir o crescimento da infraestrutura necessária para implementar a agricultura 4.0 é o fornecimento de internet em áreas rurais (Birner et al., 2021). A ampliação da cobertura da internet na cadeia de produção agrícola brasileira pode ser via uma combinação de investimentos em diferentes áreas como, por exemplo, investimento em infraestrutura de conectividade rural com investimento em infraestrutura de fornecimento de energia (Marshall et al., 2020). Outra estratégia que pode ajudar a superar a falta de infraestrutura, com efeito imediato, são as reformas de mercado dos provedores de serviços de varejo que compartilham infraestrutura de telecomunicações móveis (por exemplo: ampliação da infraestrutura física, Tang et al., 2021). Uma ideia que está sendo aceita é o gerenciamento flexível de transferência e processamento de dados da internet. Em locais remotos, com pouca ou nenhuma infraestrutura (por exemplo: monitoramento de animais em regiões montanhosas), o processamento de dados pode ser realizado temporariamente em uma máquina em um campo durante períodos de baixa conectividade (Gackstetter et al., 2023). Uma vez restabelecida a conectividade, a transferência e o processamento de dados podem ser alocados para um local remoto (“nuvem”), como um computador no local da fazenda (Aboubakar et al., 2021). O advento do 5G atende aos requisitos e demandas atuais da agricultura 4.0. Porém, os custos para sua implementação ainda precisam ser aprimorados (Tang e He, 2023). Portanto, a infraestrutura ideal da agricultura 4.0 ainda não é totalmente conhecida na literatura (Lioutas et al., 2019; Pivoto et al., 2019; Zambon et al., 2019; Fielke et al., 2020), mas sua importância está aumentando à medida que a sociedade exige cada vez mais informações sobre os produtos e seus processos de produção (Bernhardt et al., 2021).

As evidências deste estudo também mostram que as demais barreiras da dimensão tecnológica (*Complexidade Tecnológica (B1)*, *Incompatibilidade entre Componentes (B2)*, e *Preocupações sobre a Confiabilidade de Dados (B5)*) são vistas como os gargalos iniciais na

transformação digital da cadeia de produção agrícola no Sul do Brasil. Como estas barreiras estão relacionadas diretamente, percebe-se que faltam tecnologias facilitadoras da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola. Isso implicará na decisão de implementação pela maioria dos agricultores (Benjamin et al., 2021), tendo em conta que as características “negativas” das tecnologias da agricultura 4.0 também podem levar a uma divisão digital entre pequenos e grandes agricultores (Xie et al., 2021). Portanto, o foco nas barreiras da dimensão tecnológica pode ser uma boa estratégia de priorização para garantir o desenvolvimento da agricultura 4.0 neste setor.

Outras interações importantes entre as barreiras também são notadas. Por exemplo, a barreira que trata sobre os *Problemas na Educação (B16)* têm um papel fundamental na implementação da agricultura 4.0. Esta barreira provoca a *Falta de Habilidades Digitais e/ou Mão de Obra Qualificada (B18)* na cadeia de produção agrícola (ver Figura 15), a qual tem um efeito cascata nas barreiras sobre o *Risco de Faixa Etária (B17)*, na *Assimetria de Informação (B19)* e na *Interrupção do Trabalho Existente (B20)*. Pesquisadores argumentam que uma forma de enfrentar esses desafios sociais são demonstrações de novas tecnologias e iniciativas educacionais, as quais podem ocorrer em um centro de formação profissional onde os agricultores e consultores devem realizar treinamentos contínuos (Pauschinger e Klauser, 2022). No entanto, para uma geração mais velha de agricultores, aprender essas novas habilidades pode ser mais desafiador do que para uma geração mais jovem com conhecimento de tecnologia, o que pode contribuir para a fragmentação da classe trabalhadora ao longo das faixas etárias (Prause, 2021). Além disso, devido à sua natureza de evitar riscos, os agricultores mais velhos têm muitos anos de experiência na agricultura e são mais conservadores do que os agricultores mais jovens que estão mais dispostos a adotar as tecnologias oriundas do modelo da agricultura 4.0 (Gyawali et al., 2023).

Algumas barreiras da dimensão econômica, ou seja, *Alto Custo de Manutenção das Instalações (B6)* e *Alto Custo de Componentes Operacionais (B8)*, provocam um desconforto na dimensão política, mais especificamente, são responsáveis por desencadear *Problemas no Aumento da Disponibilidade e Acessibilidade (B11)*. Isso é interessante, pois esta barreira possui uma relação bidirecional com os outros desafios econômicos, tais como: *Alto Custo da Mão de Obra Qualificada (B7)* e *Falta de Soluções Acessíveis aos Agricultores (B9)*. Mesmo que essas barreiras sejam consideradas no *framework* como questões de “prioridade moderada”, efeitos estratégicos que busquem contemplá-las, como mudanças na estrutura política-econômica da agricultura 4.0, podem melhorar a decisão de adoção dos agricultores. É o caso

que vem sendo desenvolvido pela Câmara do Agro 4.0 e o Programa Agro 4.0, os quais buscam estimular e fomentar o uso de tecnologias 4.0 na cadeia de produção agrícola brasileira (Link de acesso: <https://agro40.abdi.com.br/>). Tratam-se de estratégias governamentais que contam com a participação de instituições públicas, privadas, empresariais e acadêmicas. Essa articulação entre diferentes atores desempenhará um papel significativo no aumento da adoção da agricultura 4.0 (Hansen et al., 2022).

Embora as barreiras da dimensão política tenham menos interação, ou seja, *Necessidade de Promover P&D e Modelos de Negócios Inovadores (B15)* e *Necessidade de um Plano de Ação para Implementação de Tecnologia (B13)*, assim como as barreiras da dimensão ambiental, no caso, *Técnicas Limitadas para Coleta de Dados em Fazendas (B24)*, *Restrições Sustentáveis (B23)*, *Falta de eficácia nos Dados do Meio Rural (B22)*, e *Preocupações com Custos Ambientais, Éticos e Sociais (B10)*, ambas conjunturas são imprescindíveis neste estudo. Prestar atenção às barreiras menos interativas – de baixa prioridade – terá um efeito notável nas barreiras mais interativas. Portanto, toda barreira abordada nesta pesquisa é considerada imperativa. Outras interações dentro do *framework* são mais claras e fáceis de compreender, facilitando assim o desdobramento de uma abordagem mais ampla e eficaz pelos atores da agricultura 4.0. A partir da discussão acima, pode-se dizer que, embora este estudo forneça uma estrutura geral para identificar e classificar as barreiras na implementação da agricultura 4.0, há oportunidades para estudos adicionais no contexto de outras regiões brasileiras e países. As barreiras consideradas mais críticas em uma região ou país podem não ser tão influentes em outras regiões ou países.

#### 4.6. CONCLUSÃO

A agricultura 4.0 é amplamente considerada nos debates científicos uma alternativa promissora que permitirá à sociedade enfrentar uma série de desafios ambientais, socioeconômicos e de produção. Porém, a agricultura 4.0 no Brasil é uma área pouco explorada em termos de definição de quais barreiras são para a cadeia de produção e com que efeito. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um *framework* das barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil. Para atingir este objetivo, foram selecionadas 25 barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 através de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). As barreiras identificadas na RSL foram validadas por meio de uma análise fatorial confirmatória que considerou às percepções dos agricultores do setor em investigação. Posteriormente,

especialistas desenvolveram relações contextuais entre elas. Foi aplicado o método *Interpretive Structural Modeling* (ISM), bem como realizada a análise *Matrix Impact of Cross Multiplication Applied to Classification* (MICMAC), que permitiu identificar as barreiras da agricultura 4.0 que possuem alto poder de condução e as que são dependentes. Isso é fundamental, pois essas informações podem oferecer apoio aos formuladores de política envolvidos no desenvolvimento da agricultura 4.0 no Brasil.

O *framework* proposto nesta pesquisa foi dividido em dez níveis, o qual mostra a hierarquia entre as barreiras da agricultura 4.0, evidenciando suas diferentes relações, e destacando quais devem ser priorizadas para que ocorra uma implementação mais bem-sucedida. A partir da análise MICMAC, foram identificadas as seguintes barreiras com maior nível de prioridade: dimensão tecnológica - *Falta de Infraestrutura (B4)*, *Complexidade Tecnológica (B1)*, *Incompatibilidade entre Componentes (B2)*, *Preocupações sobre a Confiabilidade dos dados (B5)*, e *Problemas de Gerenciamento de Energia (B3)*; dimensão econômica - *Alto Custo de Manutenção das Instalações (B6)*, e *Alto Custo de Componentes Operacionais (B8)*; dimensão social - *Problemas na Educação (B16)*, e *Falta de Habilidades Digitais e/ou Mão de Obra Qualificada (B18)*; e dimensão ambiental: *Desafios da Influência do Clima e de Comportamentos do Sistema (B21)*.

Este estudo é o primeiro que analisa de forma abrangente as barreiras da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil, uma das mais importantes regiões do agronegócio do País. No contexto internacional, o estudo tem relevância pois não há relatos que forneçam informações sobre as inter-relações das barreiras à implementação da agricultura 4.0. Além disso, é também o primeiro trabalho a abordar especificamente tais barreiras no ISM. As contribuições resultantes deste estudo fornecem uma melhor compreensão da literatura existente acerca da agricultura 4.0, bem como aponta as implicações práticas que dificultam e atrapalham sua implantação. Espera-se que este estudo oriente os atores da área na implementação da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola, ajudando a concentrar seus esforços na remoção das barreiras mais importantes, conforme exemplificado no *framework*, e seguindo os critérios de priorização da [Tabela 23](#). Uma vez eliminadas estas barreiras, o sucesso no processo de adoção da agricultura 4.0 torna-se possível.

#### **4.6.1. Implicações para o conhecimento teórico**

A pesquisa contribui para o conhecimento teórico da agricultura 4.0, explorando as barreiras à sua implementação em geral e na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil

em particular, fornecendo assim melhores *insights* sobre o futuro da digitalização neste setor. A abordagem ISM adotada serve para descrever as complexas relações entre as barreiras à implementação da agricultura 4.0 para os tomadores de decisão. O significado teórico do *framework* baseado no modelo ISM é que ele permite analisar detalhadamente as barreiras com base em uma hierarquia em multinível interpretável. Este artigo também abordou as barreiras para adoção da agricultura 4.0 sob as percepções da literatura acadêmica, dos agricultores e de especialistas da área. Conclui-se que a *Falta de Infraestrutura (B4)*, é a barreira mais significativa no desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola do Sul do Brasil considerando a análise do *framework*. Porém, todas as barreiras do MICMAC no cluster IV (barreiras independentes) são classificadas como de alta prioridade e precisam ser abordadas primeiramente para se ter sucesso na implementação da agricultura 4.0. Nesse sentido, os resultados revelam que estas barreiras são as barreiras de condução, as quais desencadeiam barreiras dependentes na cadeia de produção agrícola.

#### **4.6.2. Implicações para o conhecimento prático**

Embora este estudo seja baseado no contexto da região Sul do Brasil, há implicações gerenciais significativas para a agricultura 4.0 em nível global. Inicialmente, a pesquisa demonstra que não é possível generalizar o conjunto de barreiras que dificultam à implementação da agricultura 4.0, ou seja, as barreiras desta pesquisa não são iguais em todos os contextos dadas as suas características. Isso significa que diferentes contextos socioeconômicos podem apresentar outras e/ou diferentes inter-relações entre as barreiras no *framework*. Com base nesta descoberta, outros países emergentes, desenvolvidos, ou demais regiões brasileiras, podem usar o método ISM para investigar suas próprias barreiras de implementação da agricultura 4.0. Além disso, é proposto um plano de priorização das barreiras em três níveis para promover a agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil. No tocante a falta de infraestrutura da agricultura 4.0 – barreira do nível de prioridade mais alto – os tomadores de decisão devem se concentrar em questões essenciais para removê-la. Isso vai impulsionar a adoção de tecnologias oriundas do modelo da quarta revolução agrícola pelos agricultores desta região. A solução desenvolvida para superar esta barreira afetará automaticamente as demais, provocando uma mudança benéfica em todo o sistema.

### 4.6.3. Limitações e estudos futuros

Este estudo tem duas limitações que não podem ser negligenciadas. Em primeiro lugar, baseia-se nas opiniões dos especialistas, que podem diferir de seus conhecimentos. A abordagem do ISM conta com o julgamento subjetivo de especialistas em várias etapas do processo de pesquisa, incluindo a definição das relações entre diferentes variáveis, o que significa que os resultados não são isentos de viés. Logo, as descobertas do *framework* podem diferir da realidade. Além disso, as quantificações da influência das barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola não estão incluídas na pesquisa. Assim, trabalhos futuros podem adotar métodos quantitativos para validar os resultados do *framework* proposto neste estudo. Estes incluem, mas não estão limitados a *Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL), *Structural Equation Modeling* (SEM), e *Analytic Network Process* (ANP).

### REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 4

- Aboubakar, M., Kellil, M., Roux, P., 2022. A review of IoT network management: Current status and perspectives. **Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences**. 34. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.03.006>
- Ahmad, N., Ayman, Q., 2021. SmartISM: Implementation and Assessment of Interpretive Structural Modeling. **Sustainability**. 13. <https://doi.org/10.3390/su13168801>
- Ali, S.M., Hossen, Md.A., Mahtab, Z., Kabir, G., Paul, S.K., Adnan, Z.H., 2020. Barriers to lean six sigma implementations in the supply chain: An ISM model. **Computers & Industrial Engineering**. 149. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106843>
- Ancin, M., Pindado, E., Sanchez, M., 2022. New trends in the global digital transformation process of the agri-food sector: An exploratory study based on Twitter. **Agricultural Systems**. 203. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103520>
- Anderegg, J., Tschurr, F., Kirchgessner, N., Treier, S., Schmucki, M., Bernhard, R., Walter, A., 2023. On-farm evaluation of UAV-based aerial imagery for season-long weed monitoring under contrasting management and pedoclimatic conditions in wheat. **Computers and Electronics in Agriculture**. 204. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107558>



- Azevedo, S.G., Sequeira, T., Santos, M., Mendes, L., 2019. Biomass-related sustainability: A review of the literature and interpretive structural modeling. **Energy**. 171. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.068>
- Balducci, F., Impedovo, D., Pirlo, G., 2018. Machine learning applications on agricultural datasets for smart farm enhancement. **Machines**. 6. <https://doi.org/10.3390/machines6030038>
- Barrett, H., Rose, D.C., 2020. Perceptions of the Fourth Agricultural Revolution: What's In, What's Out, and What Consequences are Anticipated? **Sociologia Ruralis**. <https://doi.org/10.1111/soru.12324>
- Belaud, J. P., Prioux, N., Vialle, C., Sablayrolles, C., 2019. Big data for agri-food 4.0: Application to sustainability management for by-products supply chain. **Computers in Industry**. 111, 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.06.006>
- Benjamin, A.A., Soma, T., Fraser, E., 2021. Digital agricultural technologies for food loss and waste prevention and reduction: Global trends, adoption opportunities and barriers. **Journal of Cleaner Production**. 323. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129099>
- Benyam, A.A., Soma, T., Fraser, E., 2021. Digital agricultural technologies for food loss and waste prevention and reduction: Global trends, adoption opportunities and barriers. **Journal of Cleaner Production**. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129099>
- Bernhardt, H., Schumacher, L., Zhou, J., Treiber, M., Shannon, K., 2021. Digital Agriculture Infrastructure in the USA and Germany. **Engineering Proceedings**. <https://doi.org/10.3390/engproc2021009001>
- Bolfe, E.L., Castro Jorge, L.A., Del'Arco, I.S., Luchiari Júnior, A., Costa, C.C., Victoria, D.C., Inamasu, R.Y., Grego, C.R., Ferreira, V.R., Ramirez, A.R., 2020a. Precision and digital agriculture: adoption of Technologies and perception of Brazilian farmers. **Agriculture**. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120653>
- Bolfe, É.L., Jorge, L.A.D.C., Sanches, I.D., Luchiari Júnior, A., Da Costa, C.C., Victoria, D.D.C., Inamasu, R.Y., Grego, C.R., Ferreira, V.R., Ramirez, A.R., 2020b. **Agricultura Digital no Brasil: tendências, desafios e oportunidades**. 45p. (Relatório Técnico). Disponível em: <https://www.embrapa.br/agropensa/produtos-agropensa>. Acesso em: 10 Jan. 2023.
- Braun, A.T., Colangelo, E., Steckel, T., 2018. Farming in the Era of Industrie 4.0. **In Procedia CIRP**. 72, 979–984. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.176>

- Calafat-Marzal, C., Sánchez-García, M., Marti, L., Portas, A., 2023. Agri-food 4.0: Drivers and links to innovation and eco-innovation. **Computers and Electronics in Agriculture**. 207. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107700>
- Chen, T., Sun, H., Tai, K.F., Heng, C.K., 2022. Analysis of the barriers to implementing building integrated photovoltaics in Singapore using an interpretive structural modelling approach. **Journal of Cleaner Production**. 365. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132652>
- Colezea, M., Musat, G., Pop, F., Negru, C., Dumitrascu, A., Mocanu, M., 2018. CLUeFARM: Integrated web-service platform for smart farms. **Computers and Electronics in Agriculture**. 154, 134–154. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.015>
- Cook, S., Jackson, E.L, Fisher, M.J., Baker, D., Diepeveen, D., 2021. Embedding digital agriculture into sustainable Australian food systems: pathways and pitfalls to value creation. **International Journal of Agricultural Sustainability**. <https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1937881>
- Corallo, A., Latino, M. E., Menegoli, M., 2018. From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: A Framework to Manage Product Data in Agri-Food Supply Chain for Voluntary Traceability. **International Scholarly and Scientific Research & Innovation**. 12. <http://doi.org/10.5281/zenodo.1316618>
- da Silveira, F., Lermen, F.H., Amaral, F.G., 2021. An overview of agriculture 4.0 development: Systematic review of descriptions, technologies, barriers, advantages, and disadvantages. **Computers and Electronics in Agriculture**. 189. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106405>
- da Silveira, F., Amaral, F.G., 2023. Agriculture 4.0. In: Zhang, Q. (eds). **Encyclopedia of Smart Agriculture Technologies**. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-89123-7\\_207-3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-89123-7_207-3)
- Daum, T., Adegbola, P.Y., Adegbola, C., Daudu, C., Issa, F., Kamau, G., Kergna, A.O., Mose, L., Ndirpaya, Y., Fatunbi, O., Zossou, R., Kirui, O., Birner, R., 2022. Mechanization, digitalization, and rural youth - Stakeholder perceptions on three mega-topics for agricultural transformation in four African countries. **Global Food Security**. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100616>

- Drewry, J.L., Shutske, J.M., Trechter, D., Luck, B.D., Pitman, L., 2019. Assessment of digital technology adoption and access barriers among crop, dairy and livestock producers in Wisconsin. **Computers and Electronics in Agriculture**. 165. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104960>
- Ehlers, M-H., Finger, R., Benni, N.E., Gocht, A., Sorensen, C.A.G., Gusset, M., Pfeifer, C., Poppe, K., Regan, Á., Rose, D.C., Wolfert, S., Huber, R., 2022. Scenarios for European agricultural policymaking in the era of digitalisation. **Agricultural Systems**. 196. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103318>
- Elijah, O., Rahman, T.A., Orikumhi, I., Leow, C.Y., Hindia, M.N., 2018. An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges. **IEEE Internet of Things Journal**. 5 (5), 3758–3773. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2844296>
- Engås, K.G., Raja, J.Z., Neufang, I.F., 2023. Decoding technological frames: An exploratory study of access to and meaningful engagement with digital technologies in agriculture. **Technological Forecasting and Social Change**. 190. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122405>
- Fanzo, J., Haddad, L., Schneider, K.R., Béné, C., Covic, N.M., Guarin, A., Herforth, A.W., Herrero, M., Sumaila, U.R., Aburto, N.J., Amuyunzu-Nyamongo, M., Barquera, S., Battersby, J., Beal, T., Molina, P.B., Brusset, E., Cafiero, C., Campeau, C., Caron, P., Cattaneo, A., Conforti, P., Davis, C., DeClerck, F.A.J., Elouafi, I., Fabi, C., Gephart, J.A., Golden, C.D., Hendriks, S.L., Huang, J., Laar, A., Lal, R., Lidder, P., Loken, B., Marshall, Q., Masuda, Y.J., McLaren, R., Neufeld, L.M., Nordhagen, S., Remans, R., Resnick, D., Silverberg, M., Cullen, M.T., Tubiello, F.N., Vivero-Pol, J.L., Wei, S., Moncayo, J.R., 2021. Viewpoint: Rigorous monitoring is necessary to guide food system transformation in the countdown to the 2030 global goals. **Food Policy**. 104. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102163>
- Ferrández-Pastor, F.J., García-Chamizo, J.M., Nieto-Hidalgo, M., Mora-Pascual, J., Mora-Martínez, J., 2016. Developing ubiquitous sensor network platform using internet of things: Application in precision agriculture. **Sensors**. 16 (7). <https://doi.org/10.3390/s16071141>
- Fielke, S. J., Garrard, R., Jakku, E., Fleming, A., Wiseman, L., Taylor, B. M., 2019. Conceptualising the DAIS: Implications of the ‘Digitalisation of Agricultural Innovation Systems’ on technology and policy at multiple levels. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. 90. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.002>

- Fielke, S., Taylor, B., Jakku, E., 2020. Digitalisation of agricultural knowledge and advice networks: A state-of-the-art review. **Agricultural Systems**. 180. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.102763>
- Fleming, A., Jakku, E., Fielke, S., Taylor, B.M., Lacey, J., Terhorst, A., Stitzlein, C., 2021. Foresighting Australian digital agricultural futures: Applying responsible innovation thinking to anticipate research and development impact under different scenarios. **Agricultural Systems**. 190. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2021.103120>
- FAO. 2022. **The future of food and agriculture** – Drivers and triggers for transformation. The Future of Food and Agriculture, no. 3. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc0959en>
- Gackstetter, D., Von Bloh, M., Hannus, V., Meyer, S.T., Weisser, W., Luksch, C., Asseng, S., 2023. Autonomous field management – An enabler of sustainable future in agriculture. **Agricultural Systems**. 206. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2023.103607>
- Gadekar, R., Sarkar, B., Gadekar, A., 2022. Model development for assessing inhibitors impacting Industry 4.0 implementation in Indian manufacturing industries: an integrated ISM-Fuzzy MICMAC approach. **International Journal of System Assurance Engineering and Management**. <https://doi.org/10.1007/s13198-022-01691-5>
- Gan, H., Lee, W.S., 2018. Development of a Navigation System for a Smart Farm. **IFAC – Papers OnLine**. 51 (17), 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.051>
- Gan, X., Chang, R., Zuo, J., Wen, T., Zillante, G., 2018. Barriers to the transition towards off-site construction in China: An Interpretive structural modeling approach. **Journal of Cleaner Production**. 197. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.184>
- Gil, G., Casagrande, D.E., Cortés, L.P., Verschae, R., 2023. Why the low adoption of robotics in the farms? Challenges for the establishment of commercial agricultural robots. **Smart Agricultural Technology**. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100069>
- Giua, C., Materia, V.C., Camazi, L., 2022. Smart farming technologies adoption: Which factors play a role in the digital transition?. **Technology in Society**. 68. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101869>
- Gonella, F., Almeida, C.M.V.B., Fiorentino, G., Handayani, K., Spanò, F., Testoni, r., Zucaro, A., 2019. Is technology optimism justified? A discussion towards a comprehensive narrative. **Journal of Cleaner Production**. 223. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.126>

- Goodrich, P., Betancourt, O., Arias, A.C., Zohdi, T., 2023. Placement and drone flight path mapping of agricultural soil sensors using machine learning. **Computers and Electronics in Agriculture**. 205. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107591>
- Grieve, B. D., Duckett, T., Collison, M., Boyd, L., Weste, J., Yin, H., Arvin, F., Pearson, S. 2019. The challenges posed by global broadacre crops in delivering smart agri-robotic solutions: A fundamental rethink is required. **Global Food Security**. 23, 116-124. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.04.011>
- Gyawali, B.R., Paudel, K.P., Jean, R., Banerjee, S.B., 2023. Adoption of computer-based technology (CBT) in agriculture in Kentucky, USA: Opportunities and barriers. **Technology in Society**. 72. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102202>
- Haberli Junior, C., Oliveira, T., Yanaze, M., Spers, E.E., 2019. Performance, farmer perception, and the routinisation (RO) moderation on ERP post-implementation. **Heliyon**. 5. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01784>
- Hang, L., Ullah, I., Kim, D-H., 2020. A secure fish farm platform based on blockchain for agriculture data integrity. **Computers and Electronics in Agriculture**. 170. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105251>
- Hansen, B.D., Leonard, E., Mitchell, M.C., Easton, J., Shariati, N., Mortlock, M.Y., Schafer, M., Lamb, D.W., 2022. Current status of and future opportunities for digital agriculture in Australia. **Crop & Pasture Science**. <https://doi.org/10.1071/CP21594>
- Hradecká, M., 2019. Robotic internal audit - Control methods in the selected company. **Agris On-line Papers in Economics and Informatics**. 11, 31-42. <https://doi.org/10.7160/aol.2019.110204>
- Huh, J.H., Kim, K.Y., 2018. Time-based trend of carbon emissions in the composting process of swine manure in the context of agriculture 4.0. **Processes**. 6 (9). <https://doi.org/10.3390/pr6090168>
- Irfan, M., Sathvik, S., Krishnaraj, L., Li, H., Awuzie, B., Ma, J., 2022. Prioritizing causal factors of sleep deprivation among construction workers: An interpretive structural modeling approach. **International Journal of Industrial Ergonomics**. 92. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2022.103377>

- Jakku, E., Fleming, A., Espig, M., Fielke, S., Finlay-Smiths, S.C., Turner, J.A., 2023. Disruption disrupted? Reflecting on the relationship between responsible innovation and digital agriculture research and development at multiple levels in Australia and Aotearoa New Zealand. **Agricultural Systems**. 204. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103555>
- Janc, K., Czapiewski, K., Wójcik, M., 2019. In the starting blocks for smart agriculture: The internet as a source of knowledge in transitional agriculture. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100309>
- Jawad, H.M., Nordin, R., Gharghan, S.K., Jawad, A.M., Ismail, M., 2017. Energy-efficient wireless sensor networks for precision agriculture: A review. **Sensors**. <https://doi.org/10.3390/s17081781>
- Junior, C.H., Oliveira, T., Yanaze, M., 2019. The adoption stages (Evaluation, Adoption, and Routinisation) of ERP systems with business analytics functionality in the context of farms. **Computers and Electronics in Agriculture**. 156, 334–348. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.11.028>
- Kamble, S., Gunasekaran, A., Sharma, R., 2018. Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. **Computers in Industry**. 101. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.06.004>
- Khatri-Chhetri, A., Pant, A., Aggarwal, P.K., Vasireddy, V.V., Yadav, A., 2019. Stakeholders' prioritization of climate-smart agriculture interventions: Evaluation of a framework. **Agricultural Systems**. 174, 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.002>
- Kieti, J., Waema, T.M., Baumüller, H., Ndemo, E.B., Omwansa, T.K., 2022. What really impedes the scaling out of digital services for agriculture? A Kenyan users' perspective. **Smart Agricultural Technology**. 2. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100034>
- Klerkx, L., Jakku, E., Labarthe, P., 2019. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. 90. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>
- Klerkx, L., Rose, D., 2020. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?. **Global Food Security**. 24. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>

- Kodan, R., Parmar, P., Pathania, S., 2019. Internet of Things for Food Sector: Status Quo and Projected Potential. **Food Reviews International**. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1657442>
- Kong, Q., Kuriyan, K., Shah, N., Guo, M., 2019. Development of a responsive optimisation framework for decision-making in precision agriculture. **Computers & Chemical Engineering**. 131. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106585>
- Kukk, M., Pöder, A., Viira, A.-H., 2022. The role of public policies in the digitalisation of the agri-food sector. A systematic review. *NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences*. <https://doi.org/10.1080/27685241.2022.2147870>
- Kumar, S., Raut, R.D., Nayal, K., Kraus, S., Yadav, V.S., Narkhede, B.E., 2021. To identify industry 4.0 and circular economy adoption barriers in the agriculture supply chain by using ISM-ANP. **Journal of Cleaner Production**. 293. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126023>
- Lard, R., Ruin, Q., Veissier, I., 2023. Discriminating pathological, reproductive or stress conditions in cows using machine learning on sensor-based activity data. **Computers and Electronics in Agriculture**. 204. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107556>
- Lee, S.G., Yang, A., Jeon, B.H., Park, H.D., 2019. A structure of scalable and configurable interface for sensor and actuator devices in smart farming system. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering**.
- Leng, X., 2022. Digital revolution and rural family income: Evidence from China. **Journal of Rural Studies**. 94. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.07.004>
- Li, X., Xiang, Y., Li, S., 2023. Combining convolutional and vision transformer structures for sheep face recognition. **Computers and Electronics in Agriculture**. 205. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107651>
- Lioutas, E., Charatsari, C., De Rosa, M., 2021. Digitalization of agriculture: A way to solve the food problem or a trolley dilemma?. **Technology in Society**. 67. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101744>
- Lioutas, E. D., Charatsari, C., La Rocca, G., De Rosa, M., 2019. Key questions on the use of big data in farming: An activity theory approach. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*. 90. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.003>

- Maffezzoli, F., See, M.A., Bacchetti, A., Perona, M., Renga, F., 2022. Agriculture 4.0: A systematic literature review on the paradigm, technologies and benefits. **Futures**. 142. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.102998>
- Magalhães, V.S.M., Ferreira, L.M.D.F., Silva, C., 2021. Using a methodological approach to model causes of food loss and waste in fruit and vegetable supply chains. *Journal of Cleaner Production*. 283. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124574>
- Majumdar, A., Garg, H., Jain, R., 2021. Managing the barriers of Industry 4.0 adoption and implementation in textile and clothing industry: Interpretive structural model and triple helix framework. **Computers in Industry**. 125. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103372>
- Maria, K., Maria, B., Andrea, K., 2021. Exploring actors, their constellations, and roles in digital agricultural innovations. **Agricultural Systems**. 186. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102952>
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. MAPA. 2021. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2020/21 a 2030/31 - Projeções de Longo Prazo**. Recuperado em 25 de Outubro de 2021: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2020-2021-a-2030-2031.pdf/view>
- Marshall, A., Dezuanni, M., Burgess, J., Thomas, J., Wilson, C.K., 2020. Australian farmers left behind in the digital economy – Insights from the Australian Digital Inclusion Index. **Journal of Rural Studies**. 80, 195-210. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.09.001>
- Mathivathanan, D., Mathiyazhagan, K., Rana, N.P., Khorana, S., Dwivedi, Y.K., 2021. Barriers to the adoption of blockchain technology in business supply chains: a total interpretive structural modelling (TISM) approach. **International Journal of Production Research**. 59. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1868597>
- Miranda, J., Ponce, P., Molina, A., Wright, P., 2019. Sensing, smart and sustainable technologies for Agri-Food 4.0. **Computers in Industry**. 108, 21-36. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.02.002>
- Mistry, I., Tanwar, S., Tyagi, S., Kumar, N., 2020. Blockchain for 5G-enabled IoT for industrial automation: A systematic review, solutions, and challenges. **Mechanical Systems and Signal Processing**. 135. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2019.106382>



- Moon, A., Kim, J., Zhang, J., Son, S.W., 2018. Evaluating fidelity of lossy compression on spatiotemporal data from an IoT enabled smart farm. **Computers and Electronics in Agriculture**. 154, 304–313. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.045>
- Mohr, S., Höhler, J., 2023. Media coverage of digitalization in agriculture - an analysis of media content. **Technological Forecasting and Social Change**. 187. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122238>
- Muangprathub, J., Boonnam, N., Kajornkasirat, S., Lekbangpong, N., Wanichsombat, A., Nillaor, P., 2019. IoT and agriculture data analysis for smart farm. **Computers and Electronics in Agriculture**. 156, 467–474. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.011>
- Musat, G.A., Colezea, M., Pop, F., Negru, C., Mocanu, M., Esposito, C., Castiglione, A., 2018. Advanced services for efficient management of smart farms. **Journal of Parallel and Distributed Computing**. 116, 3–17. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2017.10.017>
- Mühl, D.D., Oliveira, L., 2022. A bibliometric and thematic approach to agriculture 4.0. **Heliyon**. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09369>
- Nawandar, N.K., Satpute, V.R., 2019. IoT based low cost and intelligent module for smart irrigation system. **Computers and Electronics in Agriculture**. 162, 979-990. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.05.027>
- Oluleye, B.I., Chan, D.W.M., Olawumi, T.O., 2022. Barriers to circular economy adoption and concomitant implementation strategies in building construction and demolition waste management: A PRISMA and interpretive structural modeling approach. **Habitat International**. 126. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2022.102615>
- O'Malley, A.L., Bronson, K., Van der Burg, S., Klerkx, L., 2020. The future(s) of digital agriculture and sustainable food systems: An analysis of high-level policy documents. **Ecosystem Services**. 45. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101183>
- Ozdogan, B., Gacar, A., Aktas, H., 2017. Digital agriculture practices in the context of agriculture 4.0. **Journal of Economics, Finance and Accounting (JEFA)**. 4, 184-191. <http://doi.org/10.17261/Pressacademia.2017.448>
- O'Grady, M.J., O'Hare, G.M.P., 2017. Modelling the smart farm. **Information Processing in Agriculture**. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.05.001>

- Ollerenshaw, A., Murphy, A., Walters, J., Robinson, N., Thompson, H., 2023. Use of digital technology for research data and information transfer within the Australian grains sector: A case study using Online Farm Trials. **Agricultural Systems**. 206. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103591>
- Pauschinger, D., Klauser, F.R., 2022. The introduction of digital technologies into agriculture: Space, materiality and the public–private interacting forms of authority and expertise. **Journal of Rural Studies**. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.06.015>
- Phillips, P.W.B., Relf-Eckstein, J.-A., Jobe, G., Wixted, B., 2019. Configuring the new digital landscape in western Canadian agriculture. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.001>
- Pimentel, M., Arantes, A., Cruz, C.O., 2022. Barriers to the Adoption of Reverse Logistics in the Construction Industry: A Combined ISM and MICMAC Approach. **Sustainability**. <https://doi.org/10.3390/su142315786>
- Pivoto, D., Waquil, P.D., Talamini, E., Finocchio, C.P.S., Dalla Corte, V.F., Mores, G.V., 2018. Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. **Information Processing in Agriculture**. 5, 21-32. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.12.002>
- Pivoto, D., Barham, B., Waquil, P.D., Foguesatto, C.R., Zhang, D., Talamini, E., 2019. Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers. **International Food and Agribusiness Management Review**. 22. <https://doi.org/10.22434/IFAMR2018.0086>
- Ponraj, A.S., Vigneswaran, T., 2019. Machine learning approach for agricultural IoT. **International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)**. 7, p. 383-392.
- Porciello, J., Coggins, S., Mabaya, E., Otunba-Payne, G., 2022. Digital agriculture services in low- and middle-income countries: A systematic scoping review. **Global Food Security**. 34. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100640>
- Prause, L., 2021. Digital Agriculture and Labor: A Few Challenges for Social Sustainability. **Sustainability**. <https://doi.org/10.3390/su13115980>
- Quiroz, I.A., Alférez, G.H., 2020. Image recognition of Legacy blueberries in a Chilean smart farm through deep learning. **Computers and Electronics in Agriculture**. 168. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105044>

- Raj, M., Gupta, S., Chamola, V., Elhence, Anubhav, Garg, T., Atiquzzaman, M., Niyato, D., 2021. A survey on the role of Internet of Things for adopting and promoting Agriculture 4.0. **Journal of Network and Computer Applications.** 187. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103107>
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., Jabbour, A.B.L.S., Rajak, S., 2020. Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. **International Journal of Production Economics.** 224. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107546>
- Ramli, M.R., Daely, P.T., Kim, D- S., Lee, J.K., 2020. IoT-based adaptive network mechanism for reliable smart farm system. **Computers and Electronics in Agriculture.** 170, 105287. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105287>
- Raungpaka, V., Savetpanuvong, P., 2017. Information orientation of small-scale farmers' community enterprises in Northern Thailand. **Kasetsart Journal of Social Sciences.** 38. <https://doi.org/10.1016/j.kjss.2016.08.018>
- Ravi, V., Shankar, R., 2005. Analysis of interactions among the barriers of reverse logistics. **Technological Forecasting and Social Change.** 72. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2004.07.002>
- Righi, R.R., Goldschmidt, G., Kunst, R., Deon, C., Costa, C.A., 2020. Towards combining data prediction and internet of things to manage milk production on dairy cows. **Computers and Electronics in Agriculture.** 169. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105156>
- Rose, D.C., Chilvers, J., 2018. Agriculture 4.0: Broadening Responsible Innovation in an Era of Smart Farming. **Frontiers in Sustainable Food Systems.** 2. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087>
- Rijswijk, K., Klerkx, L., Bacco, M., Bartolini, F., Bulten, E., Debruyne, L., Dessen, J., Scotti, I., Brunori, G., 2021. Digital transformation of agriculture and rural areas: A socio-cyber-physical system framework to support responsabilisation. **Journal of Rural Studies.** 85, 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.05.003>
- Rotz, S., Duncan, E., Small, M., Botschner, J., Dara, R., Mosby, I., Reed, M., Fraser, E.D.G., 2019. The Politics of Digital Agricultural Technologies: A Preliminary Review. **Sociologia Ruralis.** <https://doi.org/10.1111/soru.12233>

- Schmidt J.R., Cheein, F.A., 2019. Assessment of power consumption of electric machinery in agricultural tasks for enhancing the route planning problem. **Computers and Electronics in Agriculture**. 163. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104868>
- Senna, P.P., Ferreira, L.M.D.F., Barros, A.C., Roca, J.B., Magalhães, V., 2022. Prioritizing barriers for the adoption of Industry 4.0 technologies. *Computers & Industrial Engineering*. 171. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108428>
- Shahabadkar, P., Hebbal, S.S., Prashant, S., 2012. Deployment of interpretive structural modeling methodology in supply chain management e an overview. **International Journal of Industrial Engineering & Production Research**.
- Shen, L., Song, X., Wu, Y., Liao, S., Zhang, X., 2016. Interpretive Structural Modeling based factor analysis on the implementation of Emission Trading System in the Chinese building sector. **Journal of Cleaner Production**. 127. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.151>
- Shepherd, M., Turner, J.A., Pequeno, B., Wheeler, D., 2020. Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the ‘digital agriculture’ revolution. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9346>
- Singh, R.K., Garg, S.K., Deshmukh, S.G., 2007. Interpretive structural modelling of factors for improving competitiveness of SMEs. **International Journal of Productivity and Quality Management**. <https://doi.org/10.1504/IJPQM.2007.013336>
- Sittón-Candanedo, I., Alonso, R.S., Corchado, J.M., Rodríguez-González, S., Casado-Vara, R. 2019. A review of edge computing reference architectures and a new global edge proposal. **Future Generation Computer Systems**. 99. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.04.016>
- Tan, T., Chen, K., Xue, F., Lu, W., 2019. Barriers to Building Information Modeling (BIM) implementation in China's prefabricated construction: An interpretive structural modeling (ISM) approach. **Journal of Cleaner Production**. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.141>
- Tang, Y., Dananjayan, S., Hou, C., Guo, Q., Luo, S., He, Y., 2021. A survey on the 5G network and its impact on agriculture: Challenges and opportunities. **Computers and Electronics in Agriculture**. 180. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105895>
- Tang, Y., He, Y., 2023. Application of 5G Communication Technology in Precision Agriculture. In: Zhang, Q. (eds). **Encyclopedia of Smart Agriculture Technologies**. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-89123-7\\_95-1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-89123-7_95-1)

- Tuni, A., Rentizelas, A., Chipula, G., 2022. Barriers to commercialise produce for smallholder farmers in Malawi: An interpretive structural modelling approach. **Journal of Rural Studies**. 93. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.05.003>
- UK Parliament, 2022. AGR0001 - Unlocking the potential of agricultural science and technology. Recuperado em 17 de Novembro de 2022 em: [https://app.overton.io/document.php?policy\\_document\\_id=ukparliament\\_select-594a5af0f439c9e290a536f998865ce4&funder\\_highlight=UKRI%20\(Special%20project.%20May%202022\)](https://app.overton.io/document.php?policy_document_id=ukparliament_select-594a5af0f439c9e290a536f998865ce4&funder_highlight=UKRI%20(Special%20project.%20May%202022))
- Van der Burg, S., Bogaardt, M.J., Wolfert, S., 2019. Ethics of smart farming: Current questions and directions for responsible innovation towards the future. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. 90. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.01.001>
- Venkatesh, V., Brown, S.A., Bala, H., 2013. Bridging the Qualitative-Quantitative Divide: Guidelines for Conducting Mixed Methods Research in Information Systems. **Mis Quarterly**. 37 (1), 21-54. <https://doi.org/10.25300/misq/2013/37.1.02>
- Vuran, M.C., Salam, A., Wong, R., Irmak, S., 2018. Internet of underground things in precision agriculture: Architecture and technology aspects. **Ad Hoc Networks**. 81, 160–173. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2018.07.017>
- Wang, X., Kang, H., Zhou, H., Au, W., Wang, M.Y., Chen, C., 2023. Development and evaluation of a robust soft robotic gripper for apple harvesting. **Computers and Electronics in Agriculture**. 204. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107552>
- Warfield, J.N., 1974. Developing Subsystem Matrices in Structural Modeling. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1974.5408523>
- Wolfert, S., Verdouw, C., van Wassenae, L., Dolfsma, W., Klerkx, L., 2023. Digital innovation ecosystems in agri-food: design principles and organizational framework. **Agricultural Systems**. 204. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103558>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., Bogaardt, M.J., 2017. Big Data in Smart Farming – A review. **Agricultural Systems**. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- Wu, C., Li, D., Zhang, X., Pan, J., Quan, L., Yang, L., Yang, W., MA, q., Su, C., Zhai, W., 2023. China’s agricultural machinery operation big data system. **Computers and Electronics in Agriculture**. 205. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107594>
- Xie, L., Luo, B., Zhong, W., 2021. How Are Smallholder Farmers Involved in Digital Agriculture in Developing Countries: A Case Study from China. **Land**. <https://doi.org/10.3390/land10030245>

- Yadav, V.S., Singh, A., Raut, R.D., Mangla, S.K., Luthra, S., Kimar, A., 2022. Exploring the application of Industry 4.0 technologies in the agricultural food supply chain: A systematic literature review. **Computers & Industrial Engineering**. 169. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108304>
- Yang, Q., Du, X., Wang, Z., Meng, Z., Ma, Z., Zhang, Q., 2023. A review of core agricultural robot technologies for crop productions. **Computers and Electronics in Agriculture**. 206. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107701>
- Zambon, I., Cecchini, M., Egidi, G., Saporito, M.G., Colantoni, A., 2019. Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a future development for SMEs. **Processes**. <https://doi.org/10.3390/pr7010036>
- Zeng, Z., Li, S., Lian, J.-W., Li, J., Chen, T., Li, Y., 2021. Switching behavior in the adoption of a land information system in China: A perspective of the push–pull–mooring framework. **Land Use Policy**. 109. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105629>
- Zhai, Z., Martínez, J.F., Beltran, V., Martínez, N.L., 2020. Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. **Computers and Electronics in Agriculture**. 170. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>
- Zhao, G., Liu, S., Lopez, C., Lu, H., Elgeta, S., Chen, H., Boshkoska, B.M., 2019. Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions. **Computers in Industry**. 109, 83-99. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.002>

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As crescentes preocupações com a segurança alimentar em nível global levaram ao desenvolvimento de estratégias que buscam seu enfrentamento. Desde então, avanços consideráveis foram alcançados na cadeia de produção agrícola. Este setor tem passado por grandes modificações, algumas delas de caráter transformador, como as mudanças associadas à introdução de novas tecnologias emergentes em todas as suas etapas e processos. Isso impõe a necessidade de mudar de métodos agrícolas tradicionais para práticas agrícolas inteligentes e/ou digitais, as quais permitirão à sociedade enfrentar uma série de desafios ambientais e de produção durante os próximos anos. Essa mudança é conhecida como a quarta revolução agrícola, também chamada de agricultura 4.0. No entanto, para se beneficiar das potencialidades da agricultura 4.0, é importante identificar, compreender e enfrentar os problemas, desafios ou barreiras a ela associados.

Existem diversos estudos que exploram as tendências tecnológicas da agricultura 4.0, trazendo breves informações sobre as principais aplicações, vantagens e desafios de pesquisa nesta área. O foco dessas investigações limita-se a explicar aspectos técnicos mais genéricos das tecnologias da agricultura 4.0, não abrangendo todas as etapas da cadeia de produção agrícola e sem a utilização de uma estrutura metodológica adequada para esse tipo de coleta de informações. Além disso, não envolvem uma discussão explícita da teoria da agricultura 4.0. O conhecimento na literatura acadêmica sobre as barreiras que podem dificultar o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola também carece de uma visão holística e sistematizada. Devido a essas lacunas teóricas, a implementação da agricultura 4.0 não é uma tarefa fácil e vem causando preocupação em diversos países. Essa situação é ainda mais complexa em países emergentes como o Brasil, um dos principais *players* do setor agrícola no mundo.

O desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola brasileira está em curso e, como tal, é caracterizado por muitas incógnitas. Há muitos espaços vazios sobre os efeitos colaterais que a implementação da agricultura 4.0 no País pode ter. Desvendar os efeitos sistêmicos dessa mudança radical na cadeia de produção agrícola pode impulsionar o desenvolvimento de soluções voltadas para promovê-la. No entanto, identificar a melhor direção para a agricultura 4.0 no contexto brasileiro não é uma tarefa fácil. A heterogeneidade cultural, econômica e política das regiões agrícolas brasileira é o problema mais significativo que restringe a aceitação uniforme da agricultura 4.0. Assim, esta tese fornece uma abordagem holística para analisar as barreiras que estão dificultando o avanço da agricultura 4.0 na região

Sul do Brasil, com foco na cadeia de produção agrícola. Seus resultados indicam o caminho para mitigar os possíveis *trade-offs* existentes na implementação da agricultura 4.0 nesta região. Além disso, também contribuem como *insights* para agricultores, *agtechs*, formuladores de política, instituições públicas e privadas de todo o País, que buscam ter mais informações sobre a agricultura 4.0 para explorar todas as suas vantagens.

Para que a cadeia de produção agrícola avance na era digital, primeiro é preciso entender o cenário internacional quanto às barreiras para a adoção da agricultura 4.0. Dessa forma, o [Artigo 1](#) identificou o panorama da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola no mundo e abordou as descrições relacionadas ao termo, suas tecnologias, barreiras, vantagens e desvantagens. Posteriormente, o [Artigo 2](#) validou essas barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola através da percepção dos agricultores da região Sul do Brasil, buscando auxiliar no embasamento para a condução do último artigo proposto por esta tese. Apoiado nos trabalhos anteriores, o [Artigo 3](#) possibilitou explorar estas barreiras e suas inter-relações, fornecendo direcionamentos para preenchimentos de lacunas e amadurecimento da agricultura 4.0 neste setor.

Por meio dos estudos descritos acima, esta tese respondeu às questões de pesquisas propostas e atendeu ao objetivo geral de propor o gerenciamento das barreiras que dificultam o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil, através de um *framework*. As descobertas trazem contribuições adicionais aos estudos anteriores sobre o tema da agricultura 4.0, constituindo assim um projeto original, único e relevante para acadêmicos, pesquisadores, formuladores de políticas, entre outros atores envolvidos neste ecossistema em mudança. A pesquisa contém análises complexas e estruturadas do setor agrícola brasileiro, em particular, da cadeia de produção agrícola da região Sul, que até então não haviam sido analisadas de forma abrangente e detalhada. Esta tese também aponta quais barreiras da agricultura 4.0 precisam ser priorizadas no desenvolvimento de estratégias que possam superá-las.

Os resultados mostram que as barreiras para a adoção da agricultura 4.0 estão inerentemente interligadas. Ao examinar essas barreiras em diversas situações, constatou-se que a agricultura 4.0 bem-sucedida não se trata apenas da funcionabilidade das tecnologias, mas está relacionada a fatores mais amplos, como questões que contemplam as dimensões: ambientais, sociais, políticas, econômicas e tecnológicas. No futuro, a tecnologia desempenhará um papel cada vez maior neste setor. Dessa forma, abordar as barreiras para a adoção da agricultura 4.0 é uma maneira de estar ciente dos problemas que precisam ser resolvidos para



que haja maior difusão entre os atores da cadeia de produção agrícola que buscarão adotá-la. Uma lente teórica bem estabelecida pode ajudar a atingir esse objetivo. Portanto, esta tese pode servir como material de referência para estudos futuros que visem desenvolver estratégias para superar as barreiras da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola da região Sul do Brasil.

Por fim, fica claro que o conjunto de barreiras desestimula a implementação da agricultura 4.0 na região Sul do Brasil, o que acaba interferindo na produtividade nacional e no crescimento digital dessa importante região – visto que é a segunda maior área plantada do País. Assim, para uma inserção mais forte no mercado agrícola no contexto internacional, devem ser criadas condições para um ambiente favorável aos agricultores. O progresso será necessário em todos os níveis, desde a implementação em pequena escala (para culturas especializadas) até a implementação em larga escala (para culturas tradicionais), para uma ampla introdução da agricultura 4.0. Isso implicará na valorização e legitimação social da agricultura 4.0, ambas necessárias para evitar uma desigualdade socioeconômica neste setor. O Brasil carece de um envolvimento mais auspicioso que possa transformar a agricultura 4.0, acelerando o processo de adoção das tecnologias e direcionando maiores investimentos públicos e privados para ciência e tecnologia, que terão papel estratégico em sua expansão.

#### OPORTUNIDADES PARA PESQUISAS FUTURAS

A partir dos resultados encontrados nesta tese, surgem oportunidades para pesquisas futuras. É importante destacar que faltam maiores detalhes sobre como podem ser iniciadas as estratégias para superar as barreiras que dificultam a implementação da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola no Sul do Brasil. Por isso, estudos que busquem preencher essa lacuna devem ser realizados. O desenvolvimento de um modelo de tripla hélice de inovação, que combina a interação entre as partes interessadas da agricultura, academia e governo, pode facilitar, por exemplo, o processo de mitigação das barreiras da agricultura 4.0 neste setor.

Mais pesquisas são necessárias para explorar plenamente o potencial e progredir no conceito e na prática o desenvolvimento da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola brasileira. Isso resultará no fornecimento abrangente de informações sobre o estado atual da agricultura 4.0 no Brasil, o qual será útil para enfrentar vários desafios de produção de alimentos agrícolas associados à produtividade, impacto ambiental, segurança alimentar, perdas de safras e sustentabilidade. Além disso, pela heterogeneidade cultural dos agricultores brasileiros, esses estudos podem contribuir com discussões sobre os diferentes níveis de maturidade que o País possui em relação a agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola.

Finalmente, há necessidade de mais evidências empíricas sobre os impactos das barreiras da agricultura 4.0 na cadeia de produção agrícola. Somente com mais evidências empíricas das barreiras, seria possível traçar um roteiro para implementação da agricultura 4.0 no Brasil. O desenvolvimento deste roteiro precisa dar ênfase as barreiras que dificultam à adoção de tecnologias e, não somente na aplicação tecnológica como a maioria dos estudos propostos na literatura (Weber et al., 2020; Calixto et al., 2022; Pott et al., 2022; Santos et al., 2022; Andrade et al., 2023). Desse modo, isso seria uma alternativa para o Brasil se manter competitivo e atuante na era da agricultura 4.0.

## REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 5

- Andrade, A.C., Silva, L.O., Souza, V.F., Rufino, L.M.A., Silva, T.E., Santos, A.D.F., Gomes, D.A., Rodrigues, J.P.P., 2023. Identifying pregnancy in cows using ovarian ultrasound images and convolutional neural networks - a proof-of-concept study. **Computers and Electronics in Agriculture**. 206. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107674>
- Calixto, R.R., Neto Pinheiro, L.G., Cavalcante, T.S., Lopes, F.G.N., Alexandria, A.R., Silva, E.O., 2022. Development of a computer vision approach as a useful tool to assist producers in harvesting yellow melon in northeastern Brazil. **Computers and Electronics in Agriculture**. 192. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106554>
- Pott, L.P., Amado, T.J.C., Schwalbert, R.A., Corassa, G.M., Ciampitti, I.A., 2022. Crop type classification in Southern Brazil: Integrating remote sensing, crop modeling and machine learning. **Computers and Electronics in Agriculture**. 201. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107320>
- Santos, A., Biesseck, B.J.G., Latte, N., Santos, I.C.L., Santos, W.P., Zanetti, R., Zanuncio, J.C., 2022. Remote detection and measurement of leaf-cutting ant nests using deep learning and an unmanned aerial Vehicle. **Computers and Electronics in Agriculture**. 198. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107071>
- Weber, F.L., Weber, V.A.M., Menezes, G.V., Junior, A.S.O., Alves, D.A., Oliveira, M.V.M., Matsubara, E.T., Pistori, H., Abreu, U.G.P., 2020. Recognition of Pantaneira cattle breed using computer vision and convolutional neural networks. **Computers and Electronics in Agriculture**. 175. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105548>