



## ARTIGO DE POSICIONAMENTO

# PERSPECTIVAS DA DIGITALIZAÇÃO DA AGROPECUÁRIA

Uma análise dos elementos que influenciam a transformação digital do campo, com enfoque no desenvolvimento de um ecossistema de inovação agrícola digital<sup>1</sup>

**Martha Delphino Bambini** – Analista na Embrapa Agricultura Digital

**E-mail:** [martha.bambini@embrapa.br](mailto:martha.bambini@embrapa.br)

**Maria Angelica de Andrade Leite** – Pesquisadora na Embrapa Agricultura Digital

**E-mail:** [angelica.leite@embrapa.br](mailto:angelica.leite@embrapa.br)

**Stanley Robson de Medeiros Oliveira** – Pesquisador e Chefe-geral na Embrapa Agricultura Digital

**E-mail:** [stanley.oliveira@embrapa.br](mailto:stanley.oliveira@embrapa.br)

**Maria Beatriz Machado Bonacelli** – Professora Livre-docente do Departamento de Política Científica e Tecnológica do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (DPCT/IG/Unicamp).

**E-mail:** [biabona@unicamp.br](mailto:biabona@unicamp.br)

## Resumo

**Objetivo:** investigar fatores que influenciam o desenvolvimento da Transformação Digital da Agropecuária (TDA), evidenciando aspectos de infraestrutura e a perspectiva de ecossistema de inovação agrícola.

**Estado da arte:** a agropecuária é uma indústria “a céu aberto”, e, portanto, a TDA ocorre em condições nem sempre controláveis. Além disso, há enormes desafios relacionados às desigualdades rurais que dificultam uma transformação digital abrangente.

**Originalidade:** o artigo promove uma análise da TDA sob uma perspectiva ampla, a fim de apoiar a condução de políticas públicas e orientar ações da iniciativa privada na promoção da digitalização abrangente do campo.

**Impactos:** o artigo evidencia as condições estruturais da TDA e aponta caminhos para fortalecer um ecossistema de inovação agrícola digital, a partir das interações entre governo, academia e setor produtivo.

**Palavras-chave:** inovação, agricultura, tecnologia de informação, digital, tecnologia agrícola, ecossistema de inovação.

**T**ransformação Digital da Agropecuária (TDA) oferece a promessa de aumentar eficiência, produtividade e sustentabilidade, reduzindo o uso de insumos e mitigando os riscos relacionados às atividades agrícola e pecuária. Existe uma expectativa de que a inovação digital transforme toda a cadeia produtiva agrícola, o que em inglês se costuma indicar pelo termo “*from farm to fork*” (algo como “da fazenda à mesa do consumidor”)<sup>2</sup>.

No entanto, para que a expectativa se concretize, há que se superar obstáculos nada triviais<sup>3</sup>, como a grande diversidade de cadeias produtivas não integradas; a dispersão geográfica da atividade em locais ermos e com pouca infraestrutura (seja elétrica, de conectividade ou de logística de transporte); a resistência à adoção pelos produtores, seja por custo ou desconfiança; as exigências do mercado internacional em relação à qualidade e à procedência; além, obviamente, de se tratar de uma “indústria a céu aberto”, que opera em condições nem sempre controláveis.

Ainda que o caminho para digitalização da agropecuária seja bastante desafiador, a promoção de políticas e ações orquestradas – envolvendo órgãos governamentais, institutos de pesquisa, organizações da sociedade civil e empresas privadas – têm o potencial para lidar com esse ambiente complexo. Este artigo pretende contribuir para essa orquestração, ao apresentar os fatores que influenciam a TDA.

Além dos benefícios econômicos diretos, esforços para uma transformação digital abrangente podem ajudar a equacionar três problemáticas contemporâneas destacadas pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)<sup>4</sup>: garantir a segurança alimentar e a nutrição de uma população crescente; prover meios de subsistência para aqueles atuando na cadeia de abastecimento alimentar, de modo a contribuir para o desenvolvimento rural; e colaborar para a sustentabilidade da agropecuária, tendo em vista as limitações ambientais relacionadas à crescente escassez de recursos naturais e às mudanças climáticas globais causadas pela ação humana.

### **APLICAÇÕES DA TDA**

Ainda que estudos tenham apresentado o setor agropecuário como um dos menos digitalizados<sup>5</sup>, intensa revolução digital ocorreu a partir de 2019, embora desigual entre países e localidades<sup>6</sup>. Tecnologias digitais como Internet das Coisas, Inteligência Artificial e *Blockchain* vêm transformando significativamente o setor. Sensores, *drones*, satélites e sistemas informatizados vêm contribuindo para estabelecer uma agricultura baseada em dados, de modo a apoiar a tomada de decisão ao longo das cadeias produtivas<sup>7</sup>.

Esse movimento vem sendo chamado por pesquisadores de Agricultura Digital ou Agricultura 4.0, a partir de analogia com o termo Indústria 4.0, referindo-se a uma quarta revolução industrial baseada em tecnologias disruptivas<sup>8</sup>. A Agricultura Digital caracteriza-se pelo uso de conteúdo digital, tecnologia emergentes e conectividade em todos os elos da cadeia produtiva (pré-produção, produção, pós-produção).

A agropecuária é um dos setores com maiores oportunidades de implementação das novas tecnologias digitais, oferecendo benefícios imediatos para consumidores, produtores e o meio ambiente. A promessa oferecida pela adoção de tecnologias digitais avançadas às cadeias agropecuárias é incrementar resiliência, produtividade e sustentabilidade, oferecendo maior transparência e confiabilidade às atividades de toda a cadeia, desde a produção na fazenda até a mesa do consumidor.

A Figura 1 descreve os elos da cadeia produtiva agropecuária, apresentando aplicações de tecnologias digitais no contexto de cada elo. Por exemplo, no elo de pré-produção (insumos), despontam serviços financeiros digitais customizados para produtores e modelos de compartilhamento de equipamentos que possibilitam o acesso de produtores menos capitalizados. Entre os benefícios esperados dessas aplicações, estão a redução de assimetrias de informação, a transparência relacionada às etapas da cadeia produtiva, a elevação da produtividade, com aumento de eficiência e redução de desperdícios, e a redução de margens de distribuidores e *traders*.

O aproveitamento de todo esse potencial de aplicações no setor agropecuário de um país depende de uma série de condições e fatores de influência.

### **FATORES DE INFLUÊNCIA DA TDA**

Visando apontar caminhos para uma transformação digital abrangente na agropecuária, foi realizado levantamento da literatura acadêmica e técnica sobre o tema. Tendo em vista a novidade do fenômeno, verificou-se que há poucas pesquisas e bases de dados organizadas e oficiais e, em alguns países, mesmo as informações sobre políticas públicas e estratégias dos governos em relação à agricultura digital não estão amplamente disponíveis. Relatórios técnicos gerados por organismos e empresas internacionais foram re-

Figura 1.

## Aplicações da Agricultura 4.0 nos diferentes elos da cadeia produtiva agropecuária

Insumos	Produção	Processamento	Logística & Comercialização	Empórios & Restaurantes	Consumidores
<ul style="list-style-type: none"> <li>Serviços financeiros (AgroFintechs)</li> <li>Economia de Compartilhamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Smart farming &amp; Agropecuária de Precisão</li> <li>Data-driven agriculture (dados locais e remotos)</li> <li>Sistema/Plataforma de gestão da fazenda</li> <li>Ferramentas de suporte à decisão em tempo real análise preditiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indústria 4.0</li> <li>Produtos de qualidade e seguros</li> <li>Gestão e resíduos</li> <li>Gestão de dados de mercado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Smart Logistics</li> <li>Estreabilidade</li> <li>Experiência do cliente aprimorada</li> <li>Dados de mercado</li> <li>Redução de desperdício</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Restaurantes Online &amp; Kit Refeição</li> <li>Marketplace de restaurantes</li> <li>Mercearia online</li> <li>Sistemas de gestão de restaurantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estratégia omnichannel para interação com cliente</li> <li>Produtos saudáveis e de qualidade</li> <li>Experiência aprimorada no consumo</li> </ul>

Fonte: Autores<sup>9</sup>

visados, a fim de mapear os fatores que influenciam e direcionam a transformação digital, com foco especial no ambiente da agropecuária<sup>10</sup>.

Foram identificados, nesse mapeamento, dois níveis de fatores direcionadores: (i) as condições necessárias para a digitalização da agropecuária; e (ii) os fatores contribuintes, que aumentam a probabilidade de ocorrência da transformação digital do setor, ainda que não torne certa a sua ocorrência<sup>11</sup>. Para que ocorra a transformação digital, as condições necessárias precisam estar presentes; no entanto, a sua simples existência não garante que o processo se desenvolva e se fortaleça. Em muitos casos, torna-se essencial a ocorrência de mais de um fator contribuinte para que o fenômeno se manifeste. Os fatores contribuintes podem ocorrer conjuntamente ou alternativamente, e também podem existir interações entre eles.

### CONDIÇÕES NECESSÁRIAS

A Tabela 1 apresenta as principais condições necessárias mapeadas, juntamente aos indicadores a elas associados.

Tabela 1 .

### Condições necessárias para a digitalização da agropecuária

Condições necessárias	Indicadores relacionados
Condições básicas de vida no País.	Expectativa de vida, mortalidade infantil, acesso à rede elétrica, acesso à água.
Desenvolvimento do capital humano no País.	Taxa de letramento, anos de escolaridade, testes internacionais de educação, participação da força de trabalho.
Infraestrutura digital disponível e acesso financeiro.	Subscrições de banda larga móvel, fixa, servidores seguros e acesso no domicílio.
Políticas públicas de infraestrutura, regulação e incentivos para agricultura digital.	Criação de um ambiente favorável para a maximização dos dividendos digitais advindos da adoção de tecnologias digitais na agropecuária.

Fontes: Dados da pesquisa<sup>12</sup>.

As condições necessárias são as fundações e pré-requisitos para a transformação digital da agropecuária. Ainda que a TDA seja, em grande medida, conduzida por ações da iniciativa privada, ressalta-se o papel-chave dos governos nacionais em prover os direcionadores essenciais à digitalização do campo, em especial: instalar infraestrutura, fomentar o desenvolvimento de competências digitais, coordenar a distribuição de benefícios digitais entre os atores e prover regulação que garanta o cumprimento a preceitos éticos e sustentáveis, garantindo confiança em relação ao ambiente digital<sup>13</sup>.

Dois objetivos são essenciais na atuação do governo: (i) maximizar a obtenção de dividendos digitais, buscando potencializar a obtenção de benefícios associados à utilização mais efetiva de tecnologias digitais no setor; e (ii) atuar para reduzir desigualdades, tanto no acesso às tecnologias digitais quanto em relação aos benefícios auferidos a partir delas, buscando uma distribuição mais equânime dos dividendos digitais<sup>14</sup>.

A análise do contexto brasileiro, em relação à infraestrutura para digitalização do campo, evidencia que apenas cerca de 5% da área agricultável do País possui conectividade 4G com qualidade para aplicações de agricultura digital<sup>15</sup>. Além disso, existe grande desigualdade de cobertura nas diferentes regiões do País, com localidades centrais sem cobertura, chamadas “desertos digitais”. Várias iniciativas vêm sendo empreendidas para superar esses desafios, em diferentes ministérios, contribuindo para prover as condições básicas da TDA.

Tabela 2 .

### Fatores contribuintes para a Transformação Digital da Agropecuária

Fatores contribuintes	Indicadores relacionados
Adoção e promoção de tecnologias digitais no campo.	Penetração de tecnologias digitais na agropecuária ( <i>smartphones</i> , uso de internet, acesso a dados suficientes para atividades diárias, velocidade de conexão adequada, serviços públicos de cloud, plataformas digitais, sistemas de pagamento digital).
Desenvolvimento de habilidades digitais para produtores e profissionais do setor agropecuário.	Desenvolvimento de habilidades e talentos digitais.
Facilidade em fazer negócios.	Indicadores de facilidade do ambiente de negócios do País.
Investimento privado e governamental.	Investimento estrangeiro em ciência e tecnologia e liberdade de investir.
Cultura de inovação e promoção do empreendedorismo digital.	Presença de ambientes de inovação e startups, montante de investimento de venture capital, sistema de propriedade intelectual e densidade de novos negócios, fomento ao empreendedorismo digital e agrícola, desenvolvimento de uma cultura de inovação no setor.

Fontes: Dados da pesquisa<sup>16</sup>.

### FATORES CONTRIBUINTES

Às condições necessárias para a digitalização da agropecuária, somam-se alguns fatores contribuintes, envolvendo o provimento de elementos mais avançados. A Tabela 2 apresenta e descreve esses fatores, assim como indicadores representativos.

Os fatores contribuintes estão principalmente relacionados ao fortalecimento do ecossistema de inovação agrícola. A Figura 2 apresenta esse ecossistema. Um ecossistema de inovação agrícola efetivo permite que empreendedores, grandes empresas, universidades e institutos de pesquisa, investidores e órgãos do governo promovam interações de modo eficiente para gerar resultados relevantes, estruturando-se a partir de uma cultura de inovação base-

ada em colaboração, abertura a oportunidades externas e à mudança<sup>17</sup>.

A dimensão governamental de um ecossistema tem papel preponderante não só de oferecer as condições básicas para TDA, como também de promover políticas e programas de fomento e incentivo, a fim de promover interações entre os atores; ofertar recursos para desenvolvimento de projetos e tecnologias; e promover recursos para pesquisa agrícola disruptiva, aumentando a geração de novos conhecimentos e tecnologias digitais para o setor. Além disso, o governo tem importante papel de orquestração, no sentido de alinhar as ações promovidas por vários grupos de atores do ecossistema por intermédio de fóruns sobre agricultura digital e conectividade no campo, assim como no monitoramento de demandas das cadeias produtivas.

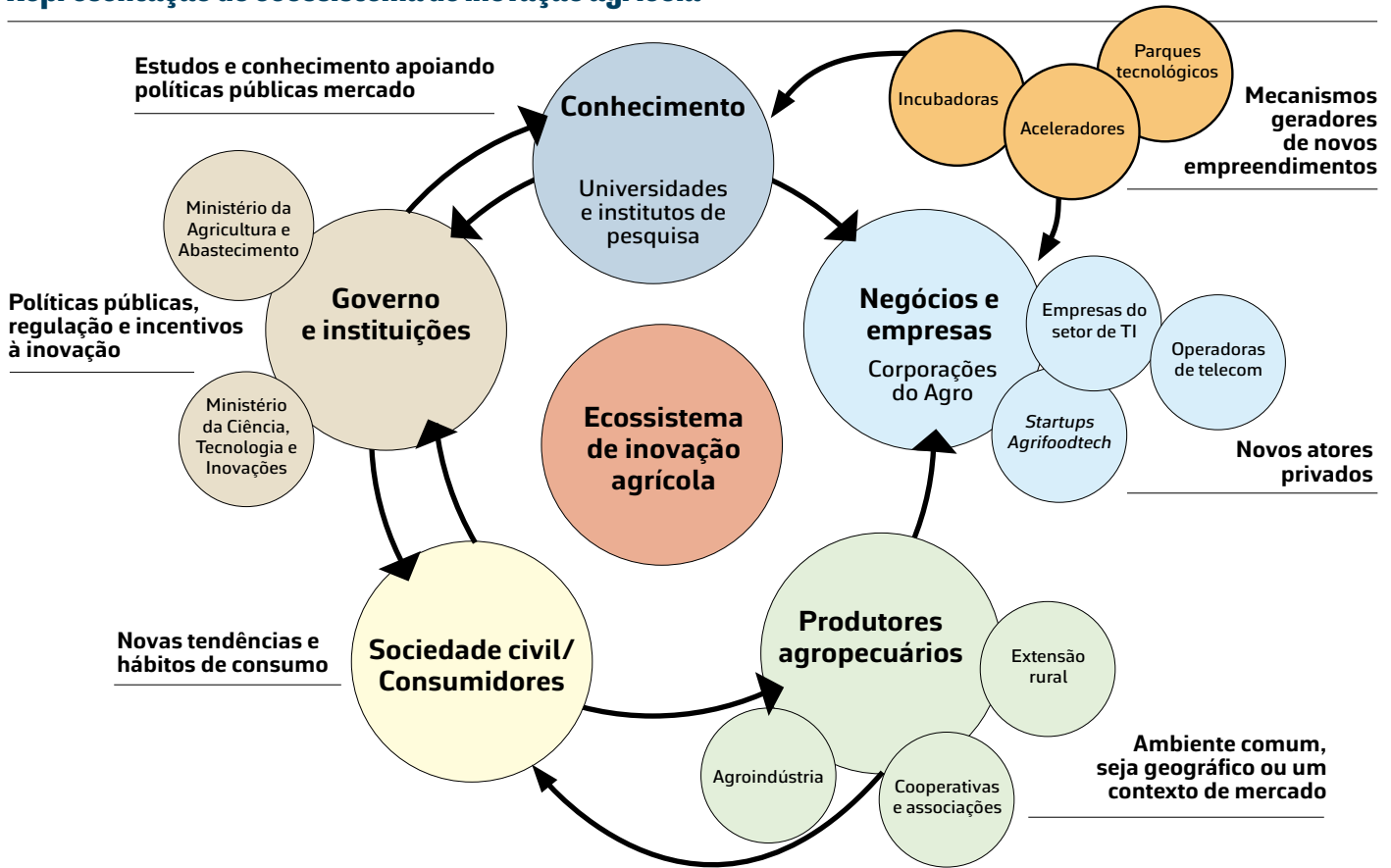
O investimento em Ciência e Tecnologia fortalece o papel de universidades e institutos de pesquisa na geração de novos conhecimentos e tecnologias de ponta, e no fortalecimento de um ecossistema empreendedor no qual se desenvolvem as *startups agtech*. Universidades e institutos interagem entre si, com organizações internacionais, com governos, com organizações da sociedade civil e com corporações e *agtechs*. Esse movimento contribui para antecipar desafios e tendências globais na agropecuária, e para compartilhar competências e recursos científicos.

Nesse ambiente de fomento à TDA, a dimensão negócios e empresas do ecossistema é estimulada a aproveitar as oportunidades que surgem. Novas categorias de atores entram no ecossistema<sup>19</sup>, como grandes empresas do setor de tecnologia de informação, operadoras de telecomunicações, *startups agtech* e organizações de apoio à inovação e novos empreendimentos (como aceleradoras, incubadoras de empresas, parques tecnológicos, *hubs* de inovação e investidores de risco). As *agtechs* são fundamentais para criar inovações digitais e novas condições de mercado e empregos, mas dependem de iniciativas de apoio por parte do governo ou de agentes privados (como desenvolvimento de competências, investimentos, mentorias e ações de desenvolvimento regional).

As grandes corporações, que fornecem insumos e equipamentos, passam a estabelecer novas agendas estratégicas e parcerias com outros atores do ecossistema, como institutos de pesquisa, *startups*, cooperativas, produtores e associações, para criar produtos e serviços<sup>20</sup>. O contexto de TDA incentiva as ações de

Figura 2 .

## Representação do ecossistema de inovação agrícola



.Fonte: Adaptado de Bambini (2021)<sup>18</sup>.

inovação colaborativa entre grandes empresas e *startups*, no sentido de cooperações com foco tecnológico e cocriação de produtos e de investimentos e aceleração das *agtechs*.

Os produtores agropecuários são importantes agentes nesse processo, uma vez que são os potenciais usuários da nova oferta de tecnologias. No processo de desenvolvimento de habilidades digitais e de adoção tecnológica, eles necessitam de orientação técnica que possa apoiar a escolha de soluções digitais mais adequadas ao seu contexto e à cadeia produtiva em que atuam. Esse tipo de assistência pode ser oferecida por cooperativas ou eventualmente pela extensão rural. É importante considerar a chamada Desigualdade Digital Rural<sup>21</sup>, levando recursos aos pequenos produtores. Sua inclusão no ecossistema digital pode contribuir não apenas no sustento de suas famílias como também para o desenvolvimento econômico e social das regiões rurais.

Ações colaborativas entre governo, empresas, setor produtivo agropecuário, instituições de pesquisa e órgãos de fomento e incentivo e investidores estão no cerne do fortalecimento de e estruturação de um ecossistema de inovação agrícola digital.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

As tecnologias digitais oferecem possibilidades e oportunidades de inovação e negócios, mas não são um fim em si mesmas nem são infalíveis. O contexto da Agricultura Digital envolve outras dimensões além da tecnologia que necessitam ser ponderadas, a fim de que modos desiguais de produção não sejam propagados e que os dividendos derivados da digitalização agrícola possam ser mais bem distribuídos entre os atores participantes do ecossistema. Esse desafio é significativo, pois o movimento de inovação digital criou, em pouco tempo, uma enorme riqueza que está altamente concentrada em um pequeno número de países, empresas e indivíduos.

Para mudar esse cenário, é necessário que as condições básicas para a TDA estejam estabelecidas com energia elétrica disponível, alfabetização e letramento, acesso a infraestrutura digital e recursos financeiros para aquisição de serviços, assim como existência de regulação e políticas públicas de incentivos para agricultura digital. O investimento governamental é fundamental nesse sentido.

O passo seguinte é promover um ecossistema de inovação agrícola robusto – mas flexível e interativo. É preciso permitir a inserção e expansão de tecnologias na agropecuária de maneira transversal, viabilizando resultados de alto impacto e levando a agricultura digital aos mais diferentes elos do setor agropecuário.

O fato de um produtor rural adotar uma tecnologia não reflete por si só uma transformação digital da agropecuária; esse fenômeno envolve movimento mais amplo de inclusão de atores e de disseminação tecnológica. Para que ocorra uma transformação digital profunda da agropecuária, o agricultor ou o pecuarista necessitam adquirir visão abrangente de tecnologias e precisam ser orientados na escolha das melhores soluções para cada caso, pois o ecossistema de inovação oferece uma miríade de opções. De modo complementar, há necessidade de mapear as necessidades de capacitação digital no campo como forma de disseminar o uso das tecnologias digitais.

A conexão entre governo, academia e o setor produtivo é o ponto-chave para o desenvolvimento da agricultura digital em um país. Nessa articulação, a geração de soluções e as pesquisas acabam sendo direcionadas às demandas e necessidades das cadeias produtivas. Além desses atores, é essencial frisar a participação de diferentes representantes da sociedade, como associações de classe e fóruns setoriais, para captar as necessidades dos produtores rurais, percepções e validação de soluções, de modo abrangente. Arranjos sólidos e inclusivos têm o potencial de fazer com que a TDA contribua para o desenvolvimento econômico e social de um país.

### NOTAS

1. A pesquisa que originou parte desse conteúdo foi conduzida no contexto do projeto de doutoramento da primeira autora. O conteúdo foi complementado a partir de revisões documentais posteriores. Agradecemos à editora da GV-Executivo a edição deste texto.
2. Connoly, A. (2018). Digital agriculture. *Research World*, 2018(72), 34-36.
3. Ramos, P. (2007). Referencial teórico e analítico sobre a agropecuária brasileira. In: P. Ramos (Org.), *Dimensões do agronegócio brasileiro: Políticas, instituições e perspectivas* (pp. 18-47). MDA.
4. Organization for Economic Co-operation and Development. (2021). *Making better policies for food systems*. OECD Publishing.
5. Calvino, F., Criscuolo, C., Marcolin, L., & Squicciarini, M. (2018). A taxonomy of digital intensive sectors. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers* [No. 2018/14]. OECD Publishing; Manyika, J., Ramaswamy, S., Khanna, S., Sarrazin, H., Pinkus, G., Sethupathy, G., & Yaffe, A. (2015). *Digital America: A tale of the haves and have-mores*. McKinsey Global Institute.
6. Trendov, N. M., Varas, S., & Zeng, M. (2019). *Digital technologies in agriculture and rural areas: Status report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations; Đuric, I. (2020). *Digital technology and agricultural markets*. Background paper for The State of Agricultural Commodity Markets (SOCO). FAO.
7. Dutta, S., Lanvin, B., & Wunsch-Vincent, S. (Eds.). (2017). *The global innovation index 2017: Innovation feeding the world* (10a ed.). Cornell University, INSEAD, World Intellectual Property Organization.
8. Dias, E. M., Dourado, D., Neto, Scoton, M. L. R. P. D., Oliveira, D. H. de V., Santos, I. M. G. L. dos, & Menezes, J. H. V. (Orgs.). (2023). *Agro 4.0: Fundamentos, realidades e perspectivas para o Brasil*. Autografia.
9. Kosior, K. (2018). Digital transformation in the agri-food sector—opportunities and challenges. *Roczniki Naukowe SERIA XX (Annals)*; World Bank – International Bank for Reconstruction and Development. (2019). *Future of food: Harnessing digital technologies to improve food system outcomes*. World Bank Group.
10. United Nations Conference on Trade and Development (Unctad). (2021). *Technology and innovation report 2021*. UN; Schroeder, K., Lampietti, J., & Elabed, G. (2021). *What's cooking: Digital transformation of the agrifood system*. World Bank; Cisco. (2020). *Cisco global digital readiness index 2019*. White Paper Cisco Public, 2020; Ziegler, S., Segura, J. A., Bosio, M., & Camacho, K. (2020). *Conectividad rural en América Latina y el Caribe*. IICA, BID, Microsoft; Trendov et al. (2019); World Bank (2019).
11. Selltiz, C., Jahoda, M., Deutsch, M., & Cook, S. W. (1975). *Pesquisa nas relações sociais*. Editora Pedagógica da Universidade de São Paulo.
12. A partir de Trendov et al. (2019); Cisco (2020); Schroeder et al. (2021).
13. Schroeder et al. (2021); Unctad (2019).
14. World Bank – International Bank for Reconstruction and Development. (2016). *Development report 2016: Digital dividends*. The World Bank Group.
15. Maule, R. F. (2020). *Método multidisciplinar de análise territorial para o fortalecimento da agricultura irrigada: Aplicação em políticas públicas* (Tese de doutorado em Ciências – Fitotecnia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo).
16. A partir de Trendov et al. (2019); Cisco (2020); Ziegler et al. (2020); Schroeder et al. (2021).
17. Bambini, M. D. (2021) *Transformação digital do campo: Contribuição dos ecossistemas de inovação agrícola e das agtechs no Estado de São Paulo* (Tese de doutorado em Política Científica e Tecnológica – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas).
18. Adaptado de Bambini (2021).
19. Kosior (2018).
20. Annosi, M. C., & Brunetta, F. (Eds.). (2020). *How is digitalization affecting agri-food? New business models, strategies and organizational forms*. Routledge.
21. Food and Agriculture Organization of the United Nation; Commission Económica para América Latina y Caribe. (2020). *Sistemas alimentarios y COVID-19 en América Latina y el Caribe: La oportunidad de la transformación digital* [Boletín FAO/Cepal N°8]. FAO.