

3) Agro 4.0: o papel da pesquisa e perspectivas para a transformação digital na agricultura

Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá, Maria Angelica de Andrade Leite, Édson Luis Bolfe

Introdução

O rápido crescimento populacional tem impulsionado a demanda por mais alimentos, fibras, energia e água, o que está associado ao aumento da necessidade de uso dos recursos naturais de forma mais sustentável. Essas demandas do mercado agropecuário global, aliadas às tendências alimentares baseadas em novas exigências do consumidor final, muito mais empoderado e preocupado com nutrição e saúde, têm imposto crescentes desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável da agricultura brasileira nas três dimensões (ambiental, econômica e social).

É importante ressaltar ainda a pressão sobre o mercado para a adoção de melhores práticas de governança corporativa, ambiental e social (em inglês ESG — Environmental, Social and Governance) (PACTO GLOBAL; STILINGUE, 2021).

Por outro lado, as tecnologias digitais têm surgido para apoiar o setor produtivo e as organizações em relação às políticas de ESG, bem como o desenvolvimento de sistemas que visam proporcionar uma vida híbrida pós-pandemia (presencial e online). Surgem também

novos paradigmas como metaverso, citado pela primeira vez na obra *Nevasca* de Neal Stephenson (1992), que visa a integração do mundo físico e virtual em um espaço coletivo e compartilhado a partir de uma combinação de tecnologias já existentes, como a realidade virtual e realidade aumentada, aliadas a outros conceitos como as tecnologias de redes sociais, gêmeos virtuais, robôs e *cyberboots*.

O cenário que desponta na agricultura com essa nova revolução tecnológica se insere na chamada quarta revolução industrial (SCHWAB, 2018). Suas bases conceituais abordam aspectos associados à Agricultura 4.0 (ROSE; CHILVERS, 2018), que deriva da Indústria 4.0, e refere-se ao uso das tecnologias disruptivas na produção de alimentos. É importante ressaltar que essas tecnologias disruptivas englobam a biotecnologia, a engenharia genética, a nanotecnologia, a agricultura de precisão e robótica, além das tecnologias da informação e comunicação que são transversais e habilitadoras para todas elas.

Desde o seu surgimento, a agricultura se modernizou passando por várias fases. Na Agricultura 1.0 a força de trabalho era provida pela mão de obra das famílias, utilizando instrumentos manuais, ajudada pela tração animal. Na Agricultura 2.0 ocorreu a revolução verde, que trouxe inovações com o objetivo de aumentar a produtividade por meio da modificação genética de sementes, da introdução de novas técnicas de fertilização dos solos, da utilização de produtos e máquinas agrícolas. Na Agricultura 3.0 intensificou-se a mecanização agrícola com o surgimento da agricultura de precisão. O uso de máquinas e equipamentos na agricultura, desde a década de 1990, proporcionou importantes ganhos produtivos e maximizou o uso de insumos agrícolas.

A crescente conectividade no meio rural abriu caminho para transformação digital a partir da maior integração de dados de sistemas de sensores de campo, orbitais e também embarcados em Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), sistemas de posicionamento global, equipamentos e smartphones aliados ao uso das novas

tecnologias digitais como inteligência artificial, computação em nuvem, blockchain, IoT (Internet das Coisas), realidade aumentada e virtual, aprendizado de máquina e robótica entre outras. O processo culminou na etapa denominada Agricultura 4.0.

Neste contexto, a Agricultura 4.0 pode ser definida como uma produção agrícola mais baseada em conteúdo digital, tecnologia de ponta e conectividade em todos os elos da cadeia produtiva (pré-produção, produção, pós-produção), visando garantir a segurança alimentar, a segurança dos alimentos e a sustentabilidade. As tecnologias digitais passam a ser determinantes para auxiliar a tomada de decisão na gestão, a agregação de valor, a otimização no uso de insumos e de recursos naturais, a rastreabilidade e transparência do processo de produção, bem como o aumento da rentabilidade, eficiência e competitividade no mercado nacional e internacional.

Em geral, a base conceitual da Agricultura 4.0 é uma extensão do conceito de observar, medir e conectar máquinas da agricultura de precisão, evoluindo para o conceito de agricultura de decisão ou digital englobando plataformas de aprendizado de máquina e análise de dados oriundos de vários implementos agrícolas ou equipamentos como sensores, drones e robôs. O uso intensivo de inteligência artificial e de robôs agrícolas autônomos para atuar na agricultura levará a uma nova fase, a Agricultura 5.0, como apresentado por Massruhá *et al.* (2021).

A agricultura digital consiste na inserção de tecnologias digitais em todas as fases da cadeia de valor, promovendo vantagens competitivas e benefícios socioambientais, seja na denominada Agricultura 4.0, 5.0 ou em suas sucessoras ondas de progresso. Ela se baseia em conteúdo digital, por meio da aquisição e do processamento do grande volume de dados que vem sendo produzido em todas as etapas da cadeia produtiva, desde a pré-produção até a fase de pós-produção, passando pela produção (MASSRUHÁ *et al.*, 2020) com o uso de agricultura de precisão. Engloba tecnologias de comunicação, informação e

análise espacial que permitem ao produtor rural planejar, monitorar e gerenciar as atividades operacionais e estratégicas do sistema produtivo, desde a aquisição de insumos até a comercialização da produção.

Este capítulo objetiva apresentar análises que considerem o contexto mais amplo sobre as principais tecnologias digitais, aplicações e demandas do setor produtivo agrícola da Agricultura Digital no Brasil (antes, dentro e fora da porteira); o papel da Embrapa e parceiros em ecossistema de inovação aberta; e os principais desafios e expectativas da agricultura digital, que são insumos importantes para construir cenários de consolidação de uma agricultura mais sustentável no Brasil.

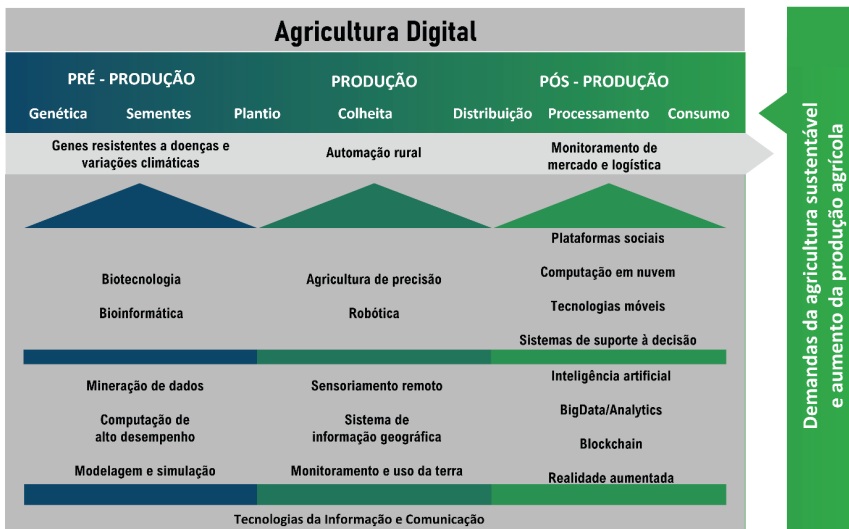
Agricultura Digital: difusão e megatendências

Atenta aos sinais e tendências globais e nacionais sobre as transformações sociais, econômicas, ambientais e tecnológicas na agricultura, a Embrapa estabeleceu desafios de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) associados ao futuro da agricultura brasileira dentro de um grupo de sete megatendências: Mudanças Socioeconômicas e Espaciais na Agricultura; Intensificação e Sustentabilidade dos Sistemas de Produção Agrícolas; Mudança do Clima; Riscos na Agricultura; Agregação de Valor nas Cadeias Produtivas Agrícolas; Protagonismo dos Consumidores; e Convergência Tecnológica e de Conhecimentos na Agricultura (EMBRAPA, 2018). Assim, a Embrapa tem envidado esforços para promover a automação, agricultura de precisão e digital como um dos pilares estratégicos do seu VII Plano Diretor (PDE 2020-2030) (EMBRAPA, 2020).

Nesse contexto, a agricultura digital tem assumido grande protagonismo, tornando-se um importante fio condutor de demandas de mercados consumidores atentos à sustentabilidade da produção no campo. Essa transformação se baseia na geração e no processamento de grandes volumes de dados digitais com potencial de inovação em

biotecnologia, mudança do clima, geotecnologias, mercados digitais, distribuição e logística, certificação, entre outros (Figura 1).

Figura 1. A agricultura digital na cadeia produtiva agrícola.



Fonte: MASSRUHÁ *et al.* (2020).

A busca por serviços e tecnologias digitais, iniciada a partir do processo da Indústria 4.0 (SCHWAB, 2018), tem moldado agendas de desenvolvimento em várias escalas. Internacionalmente, essa busca mostra-se presente na Agenda 2030, que envolve os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas. Projeta-se que a transformação digital para uma agricultura cada vez mais sustentável contribuirá sobremaneira para o alcance desses objetivos. Considere, por exemplo, o objetivo 2.4 da pauta ODS, dobrar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos. Segundo Alves *et al.* (2020), 66% dos estabelecimentos agrícolas são muito pobres (renda bruta mensal de 0,5 salário-mínimo por estabelecimento) e 22,6% são pobres (renda bruta mensal de 4,66 salários mínimos por estabelecimento). Ainda segundo Alves *et al.*

(2020), tal condição de pobreza se deve essencialmente a imperfeições de mercado, isto é, a falta de acesso à informação e ao financiamento diminuem a competitividade e a eficiência. As tecnologias digitais podem impactar este quadro de diversas maneiras, a depender dos modelos de governança e de estímulos adotados. Esforços de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) podem gerar inovações com grande valor de mercado, mas que atendem preferencialmente grandes produtores, o que acentua as imperfeições de mercado. Nesse sentido, é importante buscar soluções digitalmente inclusivas para pequenos e médios produtores, mitigando as imperfeições de mercado causadas por assimetrias de acesso à informação e recursos financeiros, provendo soluções tecnológicas acessíveis que promovam a sustentabilidade sócio-econômica e ambiental.

Como apontado por Kruk *et al.* (2021), para os pequenos produtores a falta de recursos e capacitação, a distância e a desconexão limitam o alcance de iniciativas de sustentabilidade não digitais (ou “analógicas”), incluindo programas de responsabilidade social corporativa, certificação, rastreabilidade e serviços de extensão que se baseiam em métodos onerosos de amostragem e documentação. Tecnologias digitais inclusivas têm sido apontadas como alternativa para a superação de tais limitações, permitindo a coleta de dados sobre a interação entre produtores e o meio ambiente, tornando essas informações acessíveis a agentes da cadeia, como certificadores e clientes.

Além de mitigar assimetrias de mercado e adequar agendas de governança, as tecnologias digitais inclusivas têm potencial de promover ganhos em termos de escala, qualidade e eficiência de produção, ampliando a competitividade de produtos e serviços agropecuários brasileiros também no cenário mundial. Nessa perspectiva, o Brasil apresenta grande potencial de ofertar soluções tecnológicas em agricultura tropical digital para outros países, além de soluções para o controle sanitário de commodities agropecuárias por meio de sistemas de rastreamento. O McKinsey Global Institute

estima ser de US\$ 11,1 trilhões por ano, até 2025, o potencial de impacto na economia global de inovações em tecnologias digitais, em específico de IoT (MANYIKA *et al.*, 2015). Para o Brasil, o ganho econômico projetado é de US\$ 5,5 a US\$ 21,1 bilhões (PRODUTO 7C, 2017).

Contexto e demandas do setor produtivo

Projeções do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento indicam que a produção de grãos deverá atingir 333,1 milhões de toneladas no próximo decênio. Em relação ao que o país produziu em 2020–2021, o acréscimo até 2030–31 deverá ser de 71,0 milhões de toneladas. Em valores relativos, representa uma elevação de 27,1%, ou uma taxa anual de crescimento de 2,4%. A área de grãos deve expandir-se dos atuais 68,7 milhões de hectares para 80,8 milhões de hectares em 2030/31. A produção de carnes (bovina, suína e aves) entre 2020/21 e 2030/31 deverá aumentar em 6,6 milhões de toneladas, o que representa um acréscimo de 24,1% (MAPA, 2021). A agricultura de precisão e a transformação digital ocorrida no meio rural podem contribuir para que o Brasil atinja ou supere essas expectativas, fortalecendo a posição do País como um dos líderes mundiais na produção e exportação de alimentos, com base no aumento da produtividade e no uso sustentável dos recursos naturais.

Zhai *et al.* (2020) apontam que o futuro da utilização de sistemas de apoio à decisão na agricultura digital está na capacidade dos pesquisadores de melhor compreender os desafios desta tomada de decisão por parte dos produtores, incluindo suas aplicações no planejamento de atividades agrícolas, gestão de recursos hídricos, adaptação às mudanças climáticas e controle do desperdício de alimentos.

Para entender melhor a visão e a percepção dos produtores rurais e também das empresas, startups e prestadores de serviços em tecnologias digitais no Brasil foi realizada a pesquisa “Agricultura

Digital no Brasil: tendências, desafios e oportunidades: resultados de pesquisa online” numa parceria entre a Embrapa, o Sebrae e o INPE (BOLFE *et al.*, 2020a). A consulta teve abrangência nacional e um total de 504 questionários respondidos na íntegra por produtores rurais de todas as regiões, incluindo 154 da região Sul; 150 da região Sudeste; 137 do Nordeste; 39 do Centro Oeste; e 24 do Norte. Os cinco estados com maior número de respondentes foram: Rio Grande do Sul (19%), Minas Gerais (14%), São Paulo (12%), Bahia (11%) e Paraná (8%) que representam 64% dos entrevistados. Esses Estados fazem parte de regiões agrícolas consolidadas e, juntamente com Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul, integram os oito Estados com maior valor de produção agrícola bruta do Brasil.

Em relação às tecnologias digitais utilizadas, observou-se que aproximadamente 84% utilizam pelo menos uma das tecnologias elencadas na Figura 2 em seu processo produtivo e, consequentemente, 16% dos produtores rurais indicaram que ainda não utilizam nenhuma dessas tecnologias. Dentre as tecnologias utilizadas, destacam-se as de baixa complexidade, envolvendo acesso à internet e conectividade na propriedade (70%), aplicativos móveis, plataformas digitais e softwares para obtenção de informações gerais da propriedade (58%). Michels *et al.* (2020) destacam que há um aumento crescente de aplicativos de smartphones disponíveis para melhorar a tomada de decisão dos agricultores, do qual 95% deles já usam smartphone e destes, 71% possuem aplicativos específicos que fornecem informações sobre uma cultura específica, detecção e previsão de pragas ou doenças.

Tecnologias de média complexidade, aplicativos móveis, plataformas digitais e softwares de gestão de sistemas produtivos específicos (22%), sistemas de posicionamento global (20%), dados ou imagens de sensores remotos — satélite, avião, VANT (17%) e sensores de campo — planta, animal, solo, água, clima, doenças ou pragas (16%) são utilizados por uma parcela menor dos agricultores. Aqui,

destaca-se a consolidada tecnologia de sistemas de posicionamento global por satélite (GPS), que desde o início da implantação da agricultura de precisão tem apoiado uma gama cada vez maior de atividades e gerado inúmeros benefícios no meio rural.

Figura 2. Principais tecnologias digitais utilizadas pelos agricultores brasileiros nos sistemas de produção.



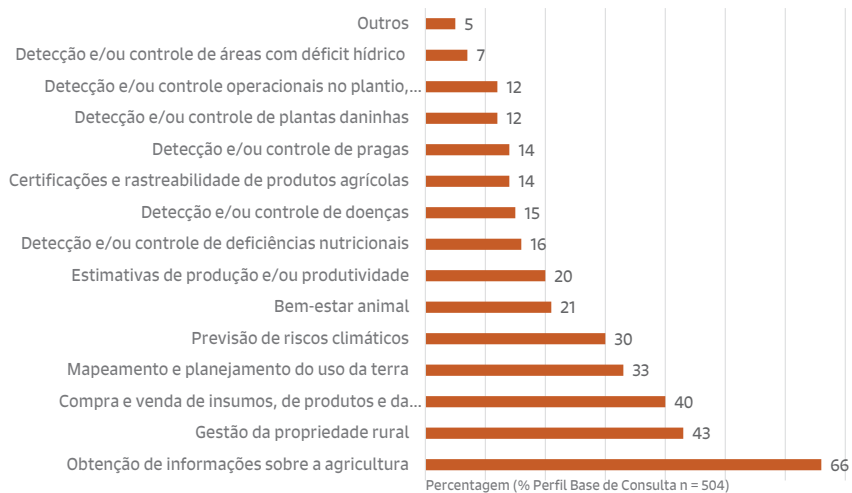
Fonte: Bolfe *et al.* (2020a).

As tecnologias mais complexas, associadas a máquinas ou equipamentos com eletrônica embarcada — por exemplo, piloto automático, telemetria e aplicativos em taxas variáveis (9%), sistemas automatizados ou robóticos (7%) e mapas digitais — por exemplo, a variabilidade espacial do solo, relevo, monitor de colheita, índices de vegetação e produtividade (5%), com alto potencial de retorno econômico, apresentam percentual de utilização relativamente baixo pelos agricultores entrevistados em relação às demais tecnologias.

Ao analisar as funções das tecnologias digitais utilizadas pelos agricultores na atualidade, a pesquisa realizada aponta que um primeiro grupo (entre 40% e 65%) apresentou um uso amplo e não específico de aplicações na produção; ou seja, aplicativos voltados para a obtenção de informações gerais, gestão de propriedades, aquisição de insumos e comercialização de uma produção ou produtos específicos (Figura 3). Um segundo grupo de aplicações

(entre 20% e 40%) tem como foco o mapeamento e planejamento do uso do solo, prevendo riscos climáticos, como geadas, granizo, verão e chuvas intensas, dependendo da região brasileira; implementam processos de bem-estar animal e estimativas de produção e produtividade agrícola. Um terceiro grupo de aplicações (abaixo de 20%), principalmente relacionado a processos de maior nível de complexidade tecnológica, envolve processos de detecção e controle de déficit nutricional, doenças, pragas, plantas daninhas, falhas operacionais e déficit hídrico, além de aplicações associadas com certificação e rastreabilidade.

Figura 3. Funções atuais no uso das tecnologias digitais utilizadas pelos agricultores brasileiros nos sistemas de produção.

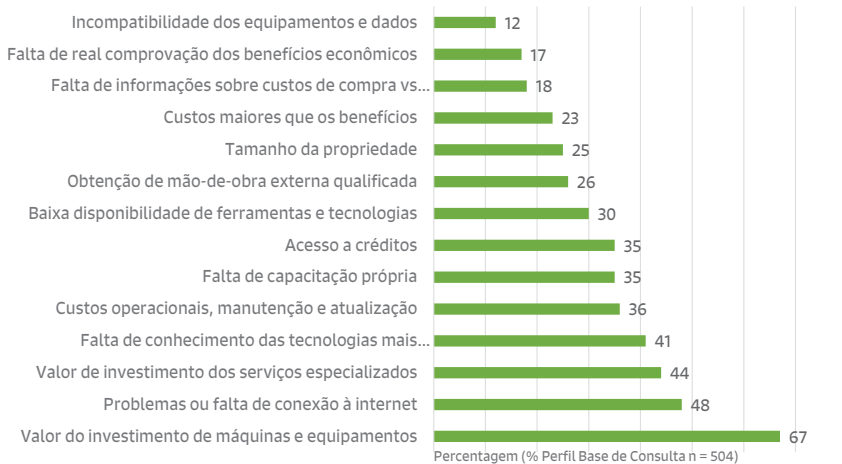


Fonte: Bolfe *et al.* (2020a).

Dentre os principais desafios associados ao uso das tecnologias digitais, os agricultores reportaram o alto valor de investimentos para aquisição de máquinas, equipamentos e aplicativos (67%), problemas ou falta de acesso à internet (48%), valor de investimentos para aquisição de serviços especializados em agricultura digital e de

precisão (44%) e falta de conhecimento sobre quais são as tecnologias mais adequadas para o perfil da propriedade rural (41%) (Figura 4).

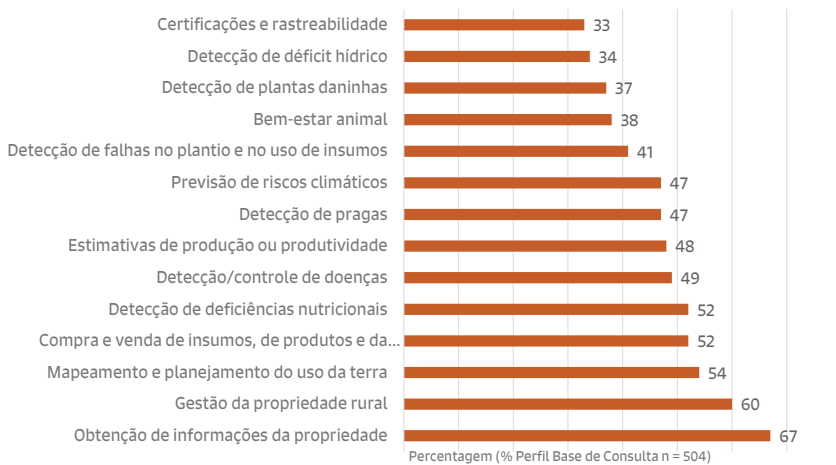
Figura 4. Principais desafios no uso das tecnologias digitais pelos agricultores brasileiros nos sistemas de produção.



Fonte: Bolfe *et al.* (2020a).

Em relação às expectativas futuras, observou-se que os agricultores possuem elevado interesse em iniciar ou fortalecer as aplicações em diversas etapas do sistema de produção (Figura 5). No entanto, ao comparar com as aplicações atuais (Figura 3), observa-se que as aplicações com maior diferença percentual entre o uso atual e futuro estão em atividades mais complexas envolvendo a detecção no controle de deficiências nutricionais, doenças, pragas, falhas operacionais, déficit hídrico, ervas daninhas, e as aplicações nas estimativas de produção e produtividade (25% a 35%). Ressalta-se ainda que 95% do total de respondentes indicou ter interesse em receber mais informações sobre a agricultura digital e suas aplicações.

Figura 5. Expectativas de aplicações futuras das tecnologias digitais utilizadas pelos agricultores brasileiros nos sistemas de produção.



Fonte: Bolfe *et al.* (2020a).

Outro aspecto levantado na pesquisa foi a percepção dos agricultores sobre os impactos positivos obtidos em seu processo produtivo considerando o uso de tecnologias digitais agregadas em três grupos: 1) sensores remotos; 2) sensores de campo, máquinas e equipamentos, e 3) aplicativos móveis, plataformas digitais e software. Todos os impactos indicados foram acima de 50% positivos, sendo observado que essa percepção pode estar associada à amplitude de possibilidades de aplicação de tecnologias digitais em todo o processo produtivo do agricultor. Como destaques, houve a percepção de aumento da produtividade agrícola, apontada por 65% dos agricultores, seguida de percepções de comercialização facilitada e melhor planejamento do dia a dia da propriedade (63%); a redução dos custos de produção (62%) e o aumento da receita obtida (61%). O resultado indica que o potencial aumento da produtividade agrícola associado à comercialização é um fator-chave na tomada de decisão gerencial sobre as aplicações das tecnologias digitais.

Nesse sentido, os produtores têm demandado novas soluções digitais para os vários desafios aqui apresentados, em que observa-se a crescente expansão de pequenas e médias empresas (PME) e startups com atuação em agricultura tropical (DIAS *et al.*, 2019).

Ecossistema de inovação aberta

Inserida dentro de um ecossistema de inovação pujante, que envolve universidades, institutos de pesquisa públicos e privados, empresas, startups e aceleradoras, a Embrapa vem mapeando e monitorando as demandas dos produtores rurais e como pode melhor atendê-los.

Na área de agricultura digital, pode-se destacar projetos para suporte tecnológico de alto desempenho voltados para bioinformática e biotecnologia; para o avanço do conhecimento em inteligência artificial, visão computacional e *blockchain*, IoT e computação em nuvem que visam o desenvolvimento de sistemas para melhorar a eficiência dos processos produtivos; para monitoramento e detecção de fatores bióticos e abióticos; identificação e incorporação de características genéticas e biotecnológicas; gestão de risco agrícola e monitoramento de uso e cobertura da terra; e, ainda, soluções digitais em apoio a políticas públicas.

Alinhada às necessidades do campo, a Embrapa tem aprimorado sua infraestrutura computacional a fim de otimizar a gestão de dados e informação e a computação de alto desempenho, aumentando sua capacidade de processamento e armazenamento de grandes volumes de dados.

A Empresa tem se posicionado como um grande facilitador deste ecossistema (Figura 6), que atualmente contempla mais de 1.574 startups, conforme apresentado no último estudo Radar Agtech Brasil 2020/2021 (DIAS *et al.*, 2019) atuando não exclusivamente em uma área, mas distribuídas em pré-produção (200), produção (657) e pós-produção (717).

De modo a estimular a inovação e o desenvolvimento de tecnologias digitais, criou a Plataforma AgroAPI (EMBRAPA AGRICULTURA DIGITAL, 2022), que disponibiliza dados, informações, algoritmos

e modelos gerados pela Empresa, de maneira ágil e segura via API (*Application Programming Interface*), podendo ser incorporados em outras plataformas digitais, aplicativos e implementos agrícolas, fomentando a parceria público-privada e novos modelos de negócios.

Tem-se também trabalhado na proposta de um corredor para inovação aberta na agricultura visando a expansão do desenvolvimento tecnológico, o crescimento do setor agropecuário no Brasil e o fortalecimento da liderança em inovação e empreendedorismo em agricultura. No estudo elaborado pela Embrapa Agricultura Digital em parceria com o Ministério da Agricultura, numa extensão de 250 km que abrange Campinas, Piracicaba, São Carlos e Ribeirão Preto (SP), ficou evidente o potencial de um corredor tecnológico no estado de São Paulo. Ele contempla mais de mil profissionais formados na área de ciências agrárias, além das formações em engenharia e ciências exatas, 112 instituições de ensino e pesquisa, 52 ambientes de inovação, 5 centros de pesquisa da Embrapa e 168 agtechs.

Figura 6. Ecossistema de Inovação.



Fonte: Embrapa Informática Agropecuária (2018).

Neste ecossistema, a Embrapa também lançou um dos primeiros laboratórios vivos para inovação e empreendedorismo, o AgNest (<https://www.agnest-farm.cnptia.embrapa.br/>), um *farm lab* com foco em experimentação em campo, agricultura digital e sustentabilidade, que dará suporte para empresas, agtechs e foodtechs atuarem na criação, validação e demonstração de novas soluções.

O desafio de manter o Brasil como referência mundial em agricultura sustentável envolve vários atores de diferentes elos da cadeia produtiva (produtores rurais, fornecedores de insumos, processadores, distribuidores e o consumidor final) e diferentes áreas de especialidade (agronomia, biologia, economia, engenharias, computação, matemática, física e estatística).

Considerações finais e perspectivas futuras

Existem importantes desafios científicos e tecnológicos a serem superados para que a transformação digital da agricultura brasileira possa integrar as diferentes classes e regiões agrícolas. A pandemia vinculada ao Covid-19 está acelerando e moldando a digitalização de todos os elos das cadeias produtivas agrícolas. A necessidade de maior segurança dos alimentos, com as possibilidades de uso de tecnologias que reduzem o contato físico, impulsiona novas aplicações dos fornecedores de insumos aos produtores rurais. No novo normal, pós-pandemia, a conectividade digital e os serviços de conteúdo associados aos elos das cadeias deverão se expandir na medida em que crescem as preocupações com a saúde das populações e a segurança sanitária e nutricional dos alimentos (BOLFE *et al.*, 2020b). Essas e outras condições estão antecipando o futuro da digitalização da agricultura brasileira, quando a pesquisa, a inovação e os negócios deverão se amplificar rapidamente em infraestruturas e serviços como:

- Inteligência artificial e computação cognitiva para acompanhamento da produção.

- Análises multiescalares e multifontes dos riscos agrícolas.
- Monitoramento das propriedades em tempo real por sensoriamento remoto e proximal.
- Sistemas de previsão de manutenção de máquinas e equipamentos.
- Processamento de *big data* e *small data* agrícolas em nuvem.
- Plataformas de comercialização via circuitos curtos integrando os produtores aos consumidores.
- Aplicativos de ensino e trabalho a distância com segurança de procedimentos administrativos e interação social de equipes.
- Tecnologias de blockchain e criptografia digital para a segurança de transações comerciais e a rastreabilidade de produtos e alimentos.
- Segurança e privacidade de dados e informações geradas em todos os processos digitais.
- Sistemas de informação sobre a origem, qualidade, métodos de produção, impactos ambientais e sociais da produção agrícola para o novo mercado consumidor.

O aumento do impacto de sistemas digitais integrados passa por alguns grandes desafios, destacando:

- Integrar de forma apropriada os dados advindos de diferentes fontes como: dados climáticos, biológicos, provenientes das ciências ômicas, de sensores no sistema solo-planta-animal-atmosfera, satélites, câmeras, máquinas e equipamentos agrícolas, mercado, gestão, logística e distribuição entre outros.
- Criar mecanismos para visualização dos dados heterogêneos através de uma interface amigável aos usuários, considerando suas características e diferenças no tipo e no nível de informação que cada usuário espera receber.
- Diminuir o custo de aquisição de máquinas, equipamentos e aplicações.

- Melhorar a conectividade na zona rural.
- Prover valores competitivos para contratação de serviços digitais no campo.
- Diminuir os custos operacionais para a implantação e uso das novas tecnologias.
- Aumentar a oferta de mão de obra qualificada no campo.
- Fomentar os ecossistemas de inovação em agricultura digital para integrar múltiplos atores da cadeia de negócios.
- Promover o empreendedorismo para que cada vez mais empresas e startups possam oferecer serviços digitais de qualidade em todo o território nacional.
- Fomentar políticas de incentivo à implantação da agricultura digital.

As tecnologias emergentes poderão causar grandes mudanças, que ainda não podem ser previstas, como a computação quântica, que pode acelerar o cálculo em sistemas que envolvam cálculos massivos, tais como simulação de cenários sobre impactos climáticos em diferentes áreas, volatilidade de preços e flutuações no mercado (PRESKILL, 2018; WOERNER; EGGER, 2019), e a robótica de enxame, em que um grande número de robôs age de forma integrada para a coleta de dados (BAYINDIR, 2016). Essas e outras tecnologias são capazes de alterar significativamente o cenário atual, abrindo novas possibilidades visando ao aumento da produtividade e à sustentabilidade da agricultura.

Referências Bibliográficas

ALVES, E.; SOUZA, G.; MELLO, P.; MARRA, R. Imperfeições de mercado e pobreza rural. *Revista de Política Agrícola, Local de publicação (editar no plugin de tradução o arquivo da citação ABNT)*, 28, mai. 2020. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1528>. Acesso em: 12 jan. 2022.

BAYINDIR, L. A review of swarm robotics tasks. *Neurocomputing*, v. 172, pp. 292–321, jan. 2016. Disponível em: DOI: 10.1016/j.neucom.2015.05.116.

BOLFE, É.; BARBEDO, J.; MASSRUHÁ, S.; SOUZA, K. de; ASSAD, E. Desafios, tendências e oportunidades em agricultura digital no Brasil. In: MASSRUHÁ, S.; LEITE, M.; OLIVEIRA, S. de M.; MEIRA, C.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. (Ed.). *Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas*. Brasília, DF: Embrapa, 2020b. cap. 16, p. 380-406. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1126283/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap16.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2021.

BOLFE, É.; JORGE, L.; SANCHES, I.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; DA COSTA, C.; VICTORIA, D.; INAMASU, R.; GREGO, C.; FERREIRA, V.; RAMIREZ, A. Precision and Digital Agriculture: Adoption of Technologies and Perception of Brazilian Farmers. *Agriculture*, 2020a, 10, 653. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture10120653>

DIAS, C. N.; JARDIM, F.; SAKUDA, L. O. (coord.). *Radar Agtech Brasil 2019: mapeamento das startups do setor agro brasileiro*. Brasília, DF: Embrapa; São Paulo: VP Ventures: Homo Ludens, 2019. 80 p. Equipe técnica: Embrapa Informática Agropecuária: Martha Delfino Bambini. SP Ventures: Murilo Gonçalves. Homo Ludens Research and Consulting: Elias Eduardo Bernardo da Silva, Camila Martins Godinho, Eliane de Oliveira.

EMBRAPA. AGRICULTURA DIGITAL. AgroAPI. Campinas. 2022. Disponível em: <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/>. Acesso em: 24 mai. 2022.

EMBRAPA. INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. Relatório de gestão 2015-2018: pesquisa e inovação em tecnologia da informação e comunicação para a agricultura. Campinas, 2018. 67 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/198785/1/relatoriodegestao-trienio-2015-2018.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2022.

EMBRAPA. Visão 2030: O Futuro da Agricultura Brasileira, 2018. 312p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/o-futuro-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 17 fev. 2022.

EMBRAPA. VII Plano Diretor da Embrapa 2020-2030. Brasília-DF, 2020. 31p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217274/1/VII-PDE-2020.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2022.

KRUK, S. R. L.; KLOPPENBURG, S.; HILDE M. T.; BUSH, S. R. Digitalizing environmental governance for smallholder participation in food systems, Earth

System Governance, Volume 10,2021,100125, ISSN 2589-8116. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esg.2021.100125>.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. PROJEÇÕES DO AGRONEGÓCIO — Projeções de longo prazo Brasil 2020-21 a 2030-31. Secretaria de Política Agrícola. Brasília: 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-crescera-27-nos-proximos-dez-anos-chegando-333-milhoes-de-toneladas/NotadasProjeesdoAgronegocio20202021a20302031.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2022.

MANYIKA, J.; CHUI, M.; BISSON, P.; WOETZEL, J.; DOBBS, R.; BUGHIN, J.; AHARON, D. Unlocking the potential of the Internet of Things. McKinsey Global Institute. 2015. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world>. Acesso em: 30 mai. 2022.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; EVANGELISTA, S. R. M. A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; OLIVEIRA, S. R. de M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. (Ed.). Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Brasília, DF: Embrapa, 2020. cap. 1, pp. 20–45. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1126214/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap1.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2020.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; MENDES, C. I. Agricultura digital: tendências, oportunidades e desafios. In: GIACOBBO, D. G.; FROTA, L. M. (Ed.). AGRO: O Papel do Agronegócio Brasileiro nas Novas Relações Econômicas Mundiais. Porto Alegre, RS: Synergia:2021. 364p. cap. 6, 20p.

MICHELS, M.; BONKE, V.; MUSSHOFF, O. Understanding the adoption of smartphone apps in crop protection. Precision Agriculture, v. 21, n. 6, pp. 1209–1226, Dec. 2020. Disponível em: DOI: 10.1007/s11119-020-09715-5.

PACTO GLOBAL; Stilingue. A evolução do ESG no Brasil, abril 2021. Disponível em: <https://conteudos.stilingue.com.br/estudo-a-evolucao-do-esg-no-brasil>. Acesso em: 17 fev. 2022.

PRESKILL, J. Quantum computing in the NISQ era and beyond. Quantum, v. 2, pp. 1–20, Aug. 2018. Disponível em: DOI: 10.22331/q-2018-08-06-79.

PRODUTO 7C: aprofundamento de verticais — rural. Brasília, DF: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social; Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão; Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e

Comunicações, dez. 2017. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/2fa8f7d1-9939-441d-b8ce-ed3459fcfd4d/relatorio-aprofundamento-das-verticais-rural-produto-7C.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m3rPopG>. Acesso em: 30 mai. 2022.

ROSE, D. C.; CHILVERS, J. Agriculture 4.0: broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 2, pp. 1–7, Dec. 2018. Disponível em: DOI: 10.3389/fsufs.2018.00087.

SCHWAB, K. *The Fourth Industrial Revolution*. (2018). [Online]. Disponível em: <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolutionby-klaus-schwab> [12 February 2018].

STEPHENSON, N. *Snow Crash* (1993 paperback ed.). New York: Bantam Books. 1992. p. 440.

ZHAI, Z.; MARTÍNEZ, J. F.; BELTRAN, V.; MARTINEZ, N. L. Decision support systems for agriculture 4.0: survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 170, pp. 1–16, Mar. 2020. DOI: [10.1016/j.compag.2020.105256](https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256).

WOERNER, S; EGGER, D. J. Quantum risk analysis. *NPJ Quantum Information*, v. 5, pp. 1–8, Feb. 2019. Disponível em: DOI: 10.1038/s41534-019-0130-6.