



1 A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente

Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá
Maria Angelica de Andrade Leite
Ariovaldo Luchiari Junior
Sílvio Roberto Medeiros Evangelista

1 Introdução

A agricultura mundial tem o desafio de garantir a segurança alimentar fornecendo alimentos, fibras e energia limpa de forma sustentável. O cenário global previsto é crítico: população mundial atingindo nove bilhões de habitantes em 2050; crescente escassez dos recursos terra e água; mudanças climáticas e eventos extremos; níveis de renda per capita e urbanização ascendentes; novos consumidores digitalizados demandando alimentos mais nutritivos e funcionais; e ganhos de produtividade em ritmo decrescente em alguns países. Projeções baseadas em padrões de crescimento populacional e consumo de alimentos indicam que a produção agrícola precisará aumentar em pelo menos 70% para atender às demandas até 2050. A maioria das estimativas também indica que as mudanças climáticas provavelmente reduzirão a produtividade agrícola, a estabilidade da produção e a renda em algumas áreas que já apresentam altos níveis de insegurança alimentar. O desenvolvimento de agricultura inteligente, portanto, torna-se crucial para alcançar as metas futuras de segurança alimentar. (FAO, 2010).

Consoante com a sustentabilidade do planeta, em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) visando promover uma sociedade mais justa e que respeitasse o meio ambiente. Os 17 ODS constituem um apelo universal para proteger o planeta e garantir que todas as pessoas tenham dignidade, visando

conduzir governos, empresas e sociedades para um mundo mais sustentável e inclusivo. Eles servem como uma orientação para os países superarem os desafios ambientais, políticos e econômicos mais urgentes. Dentre os 17 ODS, alguns podem ser atendidos por ações diretamente relacionadas com a agricultura, como ilustra a Figura 1. Assim, o ODS 2, de Fome Zero, pode ser minimizado por meio do aumento na produção agrícola; o ODS 6, de Água Potável e Saneamento, remete ao uso sustentável de água nas atividades de irrigação e na agricultura de forma geral; o ODS 8, de Trabalho Decente e Crescimento Econômico, pode ser atendido pela promoção de ações de melhoria das condições dos pequenos produtores rurais e agricultores familiares e pela ampliação do acesso à informação; o ODS 9, de Indústria, Inovação e Infraestrutura, pode ser amparado pelo aperfeiçoamento das cadeias produtivas; o ODS 11, de Cidades e Comunidades Sustentáveis, é apoiado pela maior integração entre campo e cidade; o ODS 12, de Consumo e Produção Responsáveis, pode ser alcançado pelo controle de perdas de safras e desperdícios de alimentos; o ODS 13, de Ação Contra a Mudança Global do Clima, pode ser atingido pela mitigação dos riscos das mudanças climáticas e pela redução de emissão de gases de efeito estufa nas atividades da pecuária; o ODS 14, de Vida na Água, é suportado por meio do aperfeiçoamento da produção aquícola; o ODS 15, de Vida Terrestre, pode ser monitorado pelo mapeamento do uso de cobertura da terra e pela produção agrícola sustentável; e, por fim, o ODS 17, de Parcerias e Meios de Implementação, é suportado pelo maior compartilhamento de informações entre parceiros agrícolas (Project Breakthrough, 2017).



Figura 1. Objetivos de desenvolvimento sustentável relacionado com a agricultura.

Fonte: Adaptado de Project Breakthrough (2017).

Em meio a todos esses desafios, surge a mais nova adversidade, representada pela pandemia causada pelo Coronavírus, atingindo a saúde de milhões

de pessoas, abalando toda forma de convivência social, interrompendo a educação nas escolas e causando graves prejuízos em todos os setores da economia – inclusive na cadeia de produção e distribuição do agronegócio, afetando o preço das commodities agrícolas. Prins (2020) relata que a Covid-19 está direcionando a transformação de dados agrícolas em três aspectos: 1) aumento da digitalização; 2) aumento da colaboração digital; e 3) visibilidade, principalmente devido às disrupções na cadeia de valor, que tornam o planejamento uma ferramenta fundamental no processo de suprimento de produtos agrícolas. Os prejuízos causados pela pandemia ainda estão sendo calculados, e serão necessárias novas políticas e estratégias, não só de mitigação de riscos, integração nacional e cooperação internacional, mas também de incentivos fiscais e econômicos para que o mundo retorne ao seu curso de desenvolvimento.

O Brasil é o maior exportador mundial de soja, café, açúcar, suco de laranja, etanol de cana-de-açúcar, carne bovina e frango. Em 2019, as exportações do agronegócio foram da ordem de US\$ 96,8 bilhões, representando 43,2% do total exportado pelo país. A agricultura brasileira é baseada em mais de 300 espécies de cultivos e envia para o mundo 350 tipos de produtos, que chegam a 200 mercados do planeta. O Brasil é grande produtor de grãos, carne e frutas, e o setor agropecuário contribui com 21,1% do PIB e 20% da força de trabalho (Embrapa, 2019). A atual safra de grãos no país (2019/2020) está sendo indicada como novo recorde histórico, estimada em 250,5 milhões de toneladas, 3,5% (ou 8,5 milhões de toneladas) superior ao colhido em 2018/19 (Acompanhamento da Safra Brasileira [de] Grãos, 2020).

No país, a agricultura familiar é responsável por parte importante da produção nacional de alimentos. Cerca de 50% dos estabelecimentos da agricultura familiar concentram-se na região Nordeste, 19% na região Sul, 16% na região Sudeste, 10% na região Norte e 5% na região Centro-Oeste. A Bahia é o estado com maior número de estabelecimentos familiares (15%), seguida por Minas Gerais (10%). Esses dois estados possuem também as maiores áreas com estabelecimentos familiares, cerca de 10 milhões e 9 milhões de hectares, respectivamente (Embrapa, 2019).

Diante de todos esses desafios apresentados na agricultura, principalmente o de aumentar a produção agrícola sem ampliar significativamente a área plantada, torna-se premente o uso cada vez mais intenso de novas tecnologias para permitir os ganhos de produtividade de forma sustentável. Nesse contexto surgiu um novo fator de produção que está modificando a base de crescimento econômico para os países em todo o mundo. Trata-se da transformação digital, uma nova abordagem em que as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) desempenham papel-chave na transformação da estratégia, da estrutura, da cultura e dos processos das organizações, utilizando o alcance e o poder da internet.

Por meio de novos investimentos em tecnologias e modelos de negócios, espera-se melhorar o engajamento dos clientes digitais em todos os pontos de contato no ciclo de vida de sua experiência. A transformação digital consiste no uso das TIC para aumentar de forma significativa a performance e o alcance das empresas por meio da mudança na maneira como os negócios são feitos. São três os elementos da transformação digital: transformação da experiência do cliente, dos modelos de negócios e dos processos operacionais (Transformação Digital, 2020).

Algumas tecnologias apontadas como críticas na transformação digital são: computação em nuvem, internet das coisas, mídias sociais, mobilidade, *Big Data* e ciência de dados, inteligência artificial, realidade aumentada e realidade virtual, robótica, conectividade ubíqua, aprendizado de máquina, gêmeos digitais (*digital twins*, em inglês) e automação, além dos avanços na biotecnologia e na bioinformática e a nanotecnologia. Essas áreas, agindo de forma sinérgica e complementar, têm o poder de transformação da nova ordem mundial, culminando no que tem sido apontado como a quarta revolução industrial, também chamada Indústria 4.0. Além disso, a queda do custo dessas tecnologias avançadas desempenha um papel importante na aceleração da inovação (World Economic Forum, 2017).

As tecnologias disruptivas, aliadas às inovações mais recentes, prometem alavancar as pesquisas na agricultura. A convergência das áreas de Nanociência, Biotecnologia, TIC e Ciência Cognitiva (NBIC) irá propiciar um grande salto qualitativo na forma como o mundo da agricultura pode ser transformado. A evolução da abordagem de sistemas, matemática e computação, em conjunto com o trabalho em áreas NBIC, permitirá, pela primeira vez, compreender o mundo natural e a cognição em termos de sistemas complexos e hierárquicos. Aplicada tanto para problemas específicos de pesquisa quanto para a organização geral de instituições de ciência e tecnologia, essa abordagem de sistemas complexos fornece consciência holística e oportunidades de integração, a fim de obter o máximo de sinergia ao longo das principais direções do avanço científico e tecnológico para a agricultura (Kim et al., 2012).

O Fórum Econômico Mundial lançou a Iniciativa de Transformação Digital, em 2015, em colaboração com a empresa Accenture (2020), para servir de ponto focal para novas oportunidades e temas emergentes relacionados aos últimos desenvolvimentos na área da digitalização de negócios e da sociedade. Essa iniciativa suporta as ações do Fórum em torno dos temas relacionados à Quarta Revolução Industrial. Desde a sua criação, a iniciativa analisou o impacto da transformação digital em diversos setores como: Agricultura, Aviação, Viagens e Turismo, Química e Materiais Avançados, Mineração e Metais, Óleo e Gás, Serviços profissionais, Varejo, Telecomunicações, Automotivo, Consumidor, Eletricidade, Cuidados de saúde, Logística, e Mídia (World Economic Forum, 2017).

A partir da transformação digital, houve a proliferação das startups, cuja definição mais utilizada é um grupo de pessoas à procura de um modelo de negócios repetível e escalável, trabalhando em condições de extrema incerteza, conforme Yuri Gitahy, investidor-anjo e fundador da empresa Aceleradora (2020) e conselheiro da Associação Brasileira de Startups (ABStartups) (Associação Brasileira de Startups, 2019). As startups são altamente flexíveis em relação às empresas tradicionais e têm um objetivo claro e rapidez para adaptar-se, mudar, criar, reformular estratégias, enxergar e gerar novos mercados e novas possibilidades de monetização. Em 2020, a ABStartups contabiliza mais de 13 mil startups entre suas filiadas (StartupBase, 2020).

Nesse cenário, surgem novas oportunidades para a utilização dessas inovações na agricultura. Para que o Brasil possa garantir, ou mesmo ampliar, sua capacidade de produção com sustentabilidade, ao mesmo tempo que atende à demanda global por segurança alimentar e nutricional como um grande exportador de commodities agrícolas, tornam-se necessárias a modernização, a tecnificação e a inovação em toda a cadeia de produção agrícola, convergindo para a agricultura digital, como resultado da transformação digital do setor.

De acordo com o documento de Visão 2030 da Embrapa (2018), as TIC e seus acelerados avanços, como as mídias sociais e as plataformas digitais, transformaram as formas de relacionamento, interação e comunicação entre empresas e consumidores. Os computadores e os celulares cada vez mais acessíveis, a internet de baixo custo e a tecnologia Wi-Fi possibilitam acesso à informação e propiciam crescente protagonismo do consumidor na tomada de decisão na hora de comprar, bem como no compartilhamento de experiências e no controle de produtos e marcas. O avanço da economia digital e colaborativa incrementa, além do nível de informações, as habilidades e o engajamento dos consumidores, bem como as condições necessárias para que eles sejam crescentemente protagonistas nas decisões nos processos produtivos, promovendo o seu empoderamento (Gazzola et al., 2017).

Não é de se surpreender que, nessa era de amplas e profundas transformações ocasionadas pelas TIC, uma das principais forças formadoras da visão de futuro da agricultura brasileira seja a influência exercida pelo novo consumidor, cada vez mais conectado por meio das redes sociais para promover suas escolhas de consumo e influenciar seus pares e os sistemas de produção agrícola. Munido de mais informação e maior conhecimento acerca dos produtos oferecidos e seus preços, esse agente econômico se torna cada vez mais um determinante dos atributos que deseja, potencializado pelas oportunidades e ferramentas digitais. Indivíduos crescentemente interligados com seus aparelhos continuamente conectados à rede (web) e com acesso a qualquer tipo de informação em tempo real são fortes formadores de opinião em seus círculos de influência, o que demonstra que a confiança

que eles depositam nas organizações (fornecedores) impacta fortemente a sobrevivência delas. (Embrapa, 2018).

A mais recente pesquisa brasileira da TIC Domicílios do Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br), realizada em 2019, mostra que 50% da população brasileira já usou computador, 74% usa a internet e 99% possui telefone celular (Comitê Gestor da Internet no Brasil, 2019). Conforme o Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), realizado em 2017, o número de produtores que declararam ter acesso à internet cresceu 1.900%, passando de 75 mil, em 2006, para 1.430.156 em 2017, sendo 659 mil através de banda larga e 909 mil via internet móvel (IBGE, 2019). No estudo “A mente do Agricultor Brasileiro na Era Digital”¹, da empresa McKinsey & Company, os pioneiros na adoção de agricultura de precisão no Brasil e conhecedores de tecnologias são jovens produtores de cultivo de larga escala, como grãos (32%) e algodão (62%). Entre eles, 47% usam pelo menos uma tecnologia de agricultura de precisão, ao passo que 33% usam duas ou mais. Ainda, segundo o estudo, a aplicação em taxa variável e os drones são as tecnologias mais adotadas, sendo que a internet das coisas, a telemetria e o sensoriamento remoto também encontram vários adeptos.

Uma outra pesquisa foi realizada numa parceria entre a Embrapa, o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Santin, 2020), constatando-se que 84,1% dos agricultores entrevistados utilizam pelo menos uma tecnologia digital em seu processo produtivo. As principais funções das tecnologias digitais utilizadas pelos agricultores são: obtenção de informações e planejamento das atividades da propriedade (66,1%); gestão da propriedade rural (43,3%); compra e venda de insumos, produtos e da produção (40,5%); mapeamento e planejamento do uso da terra (32,7%); e previsão de riscos climáticos como geada, granizo, veranico e chuvas intensas (30,2%).

Este capítulo vai explorar os principais aspectos da transformação digital na agricultura. A seção 2 abordará a evolução da agricultura e da automação na agricultura, enquanto a seção 3 discutirá o rumo para a agricultura 5.0, totalmente automatizada, e os principais fatores envolvidos, e a seção 4 apresentará as iniciativas para impulsionar a agricultura digital no Brasil. A seção 5 indicará como incorporar as megatendências da transformação digital na agricultura e, finalmente, a seção 6 apresentará as principais contribuições deste capítulo.

¹ Apresentação do estudo feita por Nelson Ferreira no webinar *A agricultura digital na era pós-Covid*, em 7 de maio de 2020. Disponível em: <https://www.insper.edu.br/agenda-de-eventos/a-agricultura-na-era-digital-pos-covid/>.

2 Evolução da agricultura: do agro 1.0 para o agro 4.0

A história agrícola no mundo deve ser comemorada como uma das grandes conquistas da humanidade. No início do século 20 tinha-se a agricultura 1.0, em que a força de trabalho era provida pela mão de obra das famílias, utilizando instrumentos manuais, ajudada pela tração animal. Era uma agricultura com baixa produção. Esses produtores, além de cultivarem para consumo próprio, geravam um excedente de alimentos que sustentava um número sempre crescente de pessoas.

Com a Revolução Industrial e o crescimento da população urbana, a demanda por alimentos aumentou, exigindo que os diversos processos da produção agrícola também evoluíssem. Nessa época o método científico e as tecnologias avançadas foram aplicados à agricultura, e foram sendo criadas e implementadas máquinas para auxiliar nas diferentes etapas de adubação, plantio e colheita.

A agricultura brasileira era rudimentar em meados do século passado, por volta de 1950 e 1960. Prevalencia o trabalho braçal na produção agropecuária. Naquela época, menos de 2% das propriedades rurais contavam com máquinas agrícolas. Homens e mulheres do campo sofriam com escassez de tecnologia e de informação. O resultado era baixo rendimento por hectare e pouca produção. O crescimento da agricultura exigia que extensas áreas naturais fossem convertidas em lavouras e pastagens. Práticas inadequadas causaram severos impactos ambientais, como erosão e assoreamento. Mas as fazendas não produziam o suficiente para atender à demanda interna. A ineficiência no campo gerava problemas em todo o país. O Brasil vivia um momento de forte industrialização, com cidades em crescimento, aumento da população e maior poder aquisitivo. O contexto era de escassez de alimentos. (Embrapa, 2020a).

Nessa época ocorreu a revolução verde, que trouxe uma série de inovações tecnológicas no setor agropecuário. Essas inovações tinham como objetivo aumentar a produtividade através da modificação genética de sementes, de novas técnicas de fertilização dos solos, da utilização de produtos industrializados, tais como os agrotóxicos, e do intenso uso de máquinas, o que diminuiu, consideravelmente, o tempo gasto para a colheita. Criação cuidadosa de gado, rotação deliberada de culturas e melhores equipamentos, com a introdução do motor a combustão, ajudaram a aumentar a produção. A mecanização no campo tornou-se uma tendência no início do século XX. Mas foi somente após a Segunda Guerra Mundial que a tração manual foi totalmente substituída pela força mecânica nas lavouras da América do Norte e da Europa (Jacto, 2018). O uso de todas essas novas tecnologias culminou na implantação da agricultura 2.0.

Nessa fase o Brasil era um grande importador de alimentos. Foi a época de criação da Embrapa, em 1973, que tinha como uma de suas principais

atribuições garantir a segurança alimentar, investindo em pesquisas para consolidar diversas cadeias produtivas e tornar o Cerrado produtivo. A agricultura era predominantemente baseada em monocultura e a pesquisa tinha uma visão monodisciplinar e adaptativa. As respostas surgiram depois de anos de pesquisas realizadas pela Embrapa, por universidades, por instituições estaduais de pesquisa agropecuária e, mais tarde, pela iniciativa privada. Com técnicas de melhoramento genético, foram desenvolvidas plantas adequadas às condições de solo e clima do Brasil. Eram cultivares menos sensíveis aos dias longos e mais tolerantes às pragas do mundo tropical. Uma contribuição radical tem relação com correção e adubação de solos. As pesquisas apontaram os caminhos para otimizar o uso de corretivos e de fertilizantes, permitindo o plantio nos solos de Cerrados, até então considerados improdutivos. (Embrapa, 2020a).

Posteriormente, a intensificação agrícola fortaleceu-se e a monocultura cedeu lugar aos sistemas integrados e rotacionados de produção. São sistemas mais demandantes de conhecimentos envolvendo múltiplas disciplinas. As pesquisas tornaram-se sistêmicas, pois havia a necessidade de entendimento de toda a cadeia dos sistemas produtivos. (Pillon, 2017).

Plantio direto, zoneamento de riscos climáticos, manejo de pragas e de plantas daninhas, mecanização, sucessão de até três cultivos anuais na mesma área e integração da lavoura com a pecuária e a floresta são outras abordagens e tecnologias de grande impacto. São resultados diretamente relacionados com investimento em pesquisa, extensão rural, políticas públicas e empreendedorismo. (Embrapa, 2020a).

Desde então, as tecnologias evoluíram de um modo inimaginável para a época, com máquinas e implementos para aumentar a eficiência das atividades do campo, uma tendência que ficou conhecida como agricultura de precisão, inaugurando a agricultura 3.0. De acordo com a Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão, a agricultura de precisão é:

[...] uma estratégia de gestão que coleta, processa e analisa dados temporais, espaciais e individuais e os combina com outras informações para apoiar as decisões de gerenciamento de acordo com a variabilidade estimada para melhorar a eficiência no uso de recursos, produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade da produção agropecuária (Springer, 2020).

A agricultura de precisão, por meio de máquinas com sensores embutidos, uso de imagens de satélites, aeronaves remotamente pilotadas, como drones, e mesmo sensores implantados nos animais e na lavoura, possibilitou a coleta de inúmeros tipos de dados, como informações de solos, clima, características das plantas e dos animais, aplicação de insumos, colheita, produção, entre

outras. O grande volume de dados levantados por meio da agricultura de precisão constitui uma fonte de informação do campo. (Bernardi et al., 2014).

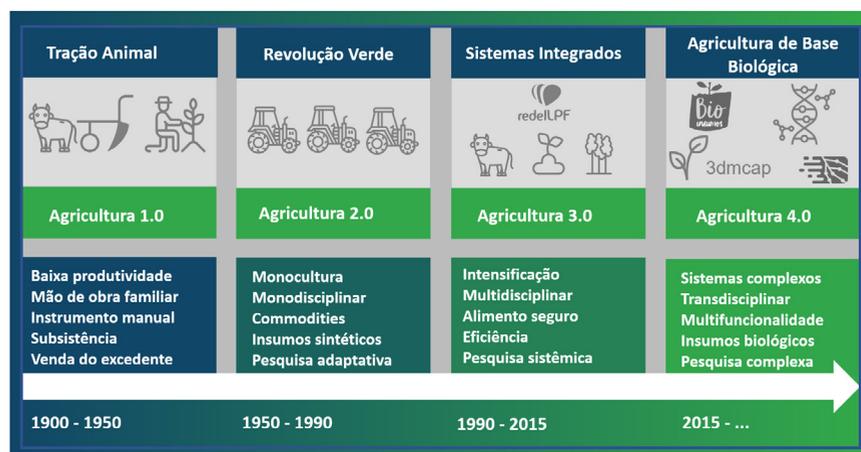
Atualmente, forças motrizes apontam para vertentes tecnológicas que consolidem: sistemas de produção limpos, com balanço positivo de carbono, baseados na sustentabilidade; agricultura de base biológica; avanços na biologia sintética; exigência de maior eficiência no uso da água pela agropecuária; atuação num novo ciclo de desenvolvimento de energia; rupturas tecnológicas; aumento da demanda por alimentos, fibras e bioenergia com uso mais eficiente dos recursos naturais e serviços ambientais. Os sistemas tornam-se complexos, envolvendo muitas variáveis. É a era da bioeconomia, que diz respeito à atividade econômica movida pela pesquisa e pela inovação em ciências biológicas (National. ..., 2012), envolvendo desde a produção de recursos biológicos renováveis até a conversão desses recursos e resíduos em produtos alimentares e não alimentares, valendo-se da integração de conhecimentos e tecnologias gerados em diferentes áreas do conhecimento (European Commission, 2012). Envolve três grandes elementos: uso avançado de genes e processos celulares complexos para desenvolver novos processos e produtos; uso de biomassa renovável e eficiente bioprocessamento para dar suporte à produção; integração de conhecimentos e aplicação de biotecnologia entre setores da economia (Organisation for Economic Co-Operation and Development, 2009).

Paralelamente a essas novas demandas da agricultura, surge a transformação digital, conforme abordado na seção de Introdução, trazendo as novas tecnologias disruptivas, que passaram a ser utilizadas provocando o surgimento da agricultura digital e levando a mais uma fase da revolução tecnológica, ou seja, a agricultura 4.0. A agricultura 4.0 é uma analogia à Indústria 4.0, como resultado da transformação digital do setor agrícola por meio da coleta massiva de dados para ajudar na tomada de decisão. A Figura 2 ilustra a evolução da agricultura e suas respectivas fases.

Figura 2.

Fases da evolução da agricultura.

Fonte: Adaptado de Pillon (2017).



A transformação digital na era da bioeconomia vai aliar os avanços tecnológicos das tecnologias disruptivas com os avanços das áreas biotecnológicas, produzindo soluções para uma agricultura que envolve o estudo de sistemas complexos, em que se torna cada vez mais necessário fazer análises, monitoramento e predições, levando em consideração os aspectos social, biológico, ambiental e econômico do uso dessas novas tecnologias.

3 Agricultura digital: do agro 4.0 rumo à agricultura 5.0

A agricultura digital consiste na inserção de tecnologias digitais em todas as fases da cadeia de valor tendo em vista a promoção de vantagens competitivas e benefícios socioambientais. Ela se baseia em conteúdo digital, por meio 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, conforme ilustra a Figura 3. Na pré-produção podemos citar os dados para melhoramento genético de plantas e animais. Na produção tem-se os dados que vêm sendo coletados na agricultura de precisão por drones, satélites, sensores colocados em plantas, animais, solo, atmosfera, máquinas, equipamentos e veículos conectados remotamente entre si e com central de coleta de dados. Por fim, na pós-produção os dados são provenientes de análises de mercado e das etapas de armazenamento, distribuição, logística, rastreabilidade e consumo, entre outros.

Na fase de pré-produção, o uso das tecnologias de mineração de dados, computação de alto desempenho e modelagem e simulação, junto com a

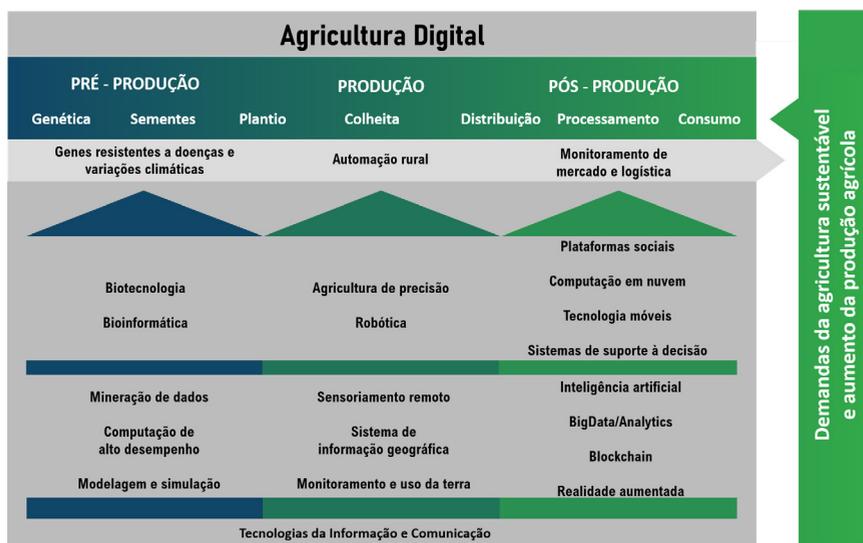


Figura 3. A agricultura digital na cadeia produtiva nas fases de pré-produção, produção e pós-produção.

biotecnologia e a bioinformática, proporcionará a descoberta de genes que controlam características complexas e suas funções. Em conjunto com estudos de interações gênicas, essas tecnologias promoverão avanços para impactar diversas áreas da produção animal e vegetal, como o manejo, a nutrição, a resistência a doenças e ao estresse hídrico, a sanidade e o melhoramento genético, resultando em produtos mais sustentáveis, com melhor qualidade nutricional e segurança. Integrar os dados heterogêneos e o grande volume de informações geradas pelas ciências “ômicas” é um grande desafio na área de genômica integrativa. Ao lidar com dados armazenados em diferentes locais e formatos, e combinando isso com a utilização de estratégias de aprendizagem de máquina, matemática, algoritmos computacionais e supercomputadores, será possível explorar de maneira inovadora os dados gerados pelas diferentes ciências ômicas (Boyle, 2013; May, 2014). Essa inovação acontece na forma de predição de funções biológicas e na compreensão de mecanismos biológicos, tais como aqueles responsáveis por doenças e pela definição de características de interesse agrônomo e de produtividade.

Nesse sentido, a bioinformática surgiu a partir da necessidade de organizar, gerenciar, visualizar e trocar dados biológicos de sequências. Com a disponibilização dessa informação, a bioinformática evoluiu para a criação de ferramentas de análise, interpretação e modelagem de sequências, estruturas, genomas, redes metabólicas, criando uma rede cada vez mais complexa de informações. Por meio da bioinformática, hoje é possível realizar análises em diferentes níveis de complexidade, a partir de conjuntos de dados que permitem revelar os aspectos da organização complexa dos sistemas biológicos mediante estudos em genômica, transcriptômica, proteômica, metabolômica, além da análise fenotípica em larga escala dos mais variados organismos (Varshney et al., 2014).

Já a biotecnologia traz inovações como a biologia sintética, que possibilita o desenho de um organismo, permitindo a criação de máquinas genéticas com novas propriedades e funcionamento, por exemplo a geração de plantas como matérias-primas de biomassa para biocombustíveis e as biofábricas para a produção de insumos para setor industrial e farmacêutico. Uma outra tecnologia é a edição genômica, que permite realizar modificações genéticas precisas e específicas nas cadeias de DNA ou gerar rearranjos genômicos para melhorar características como resistência às doenças e tolerância à seca (Vasconcelos; Figueiredo, 2015).

Outras áreas relacionadas com a fase de pré-produção que irão se beneficiar das tecnologias da agricultura digital são: desenvolvimento e produção de métodos, equipamentos e insumos para análise laboratorial; insumos químicos e biológicos para manejo da saúde e nutrição de plantas e animais; sementes e mudas, além de serviços financeiros.

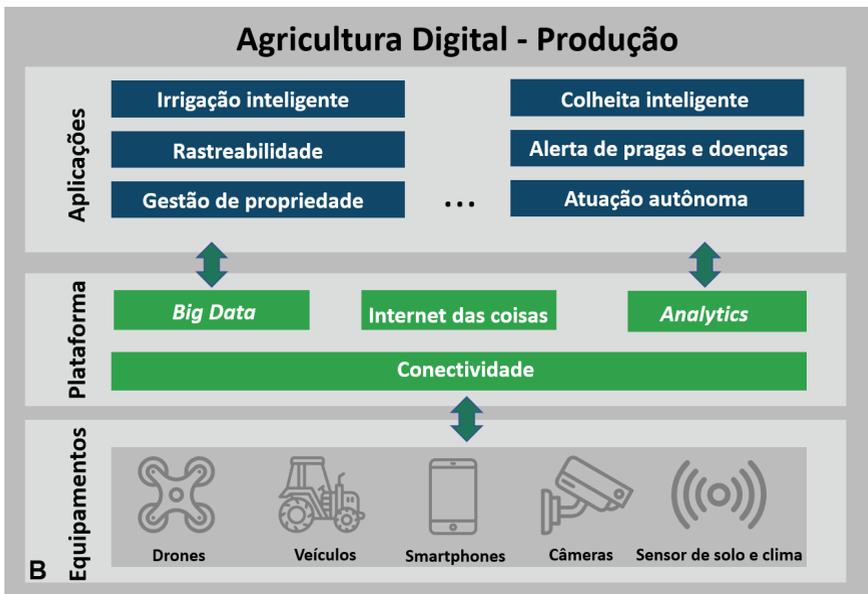
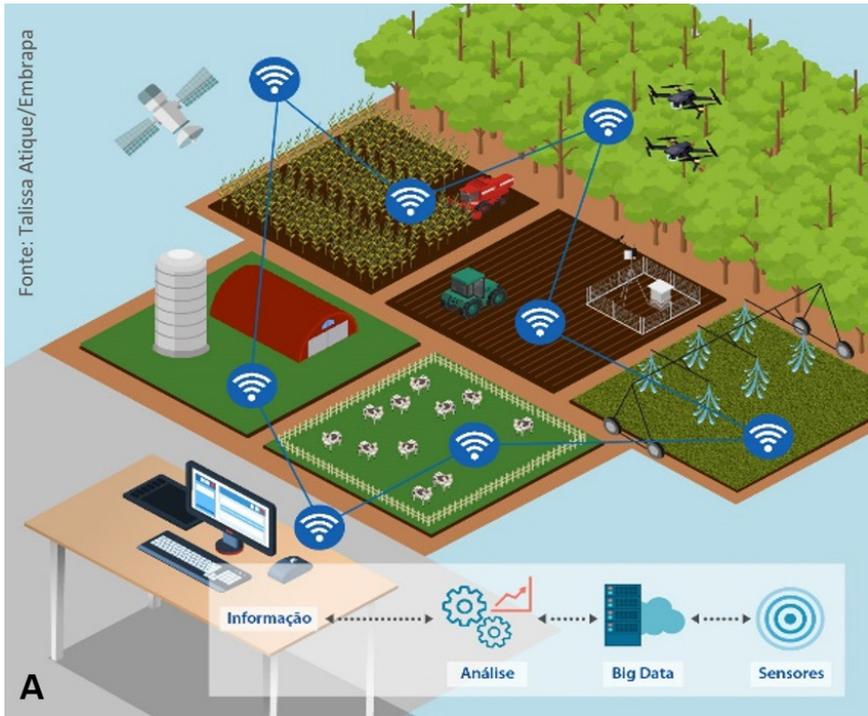
Na fase da produção, a agricultura de precisão e a robótica, amparadas por tecnologias como sensoriamento remoto, sistema de informação geográfica e monitoramento do uso da terra, permitem o uso de sensores sem fio, localizados no solo, na planta, na atmosfera ou em máquinas e equipamentos, que em conjunto com softwares de análise de dados possibilitam um mapeamento do campo mais preciso. Esse mapeamento propicia o plantio inteligente de sementes e a aplicação otimizada de insumos químicos ou biológicos para o manejo nutricional e sanitário da cultura. Sensores que medem a umidade no solo levam à indicação da necessidade de irrigação; imagens de plantas capturadas por câmeras, drones e satélites podem auxiliar na detecção de pragas, levando à aplicação de defensivos específicos e em quantidade adequada; dispositivos podem capturar informações sobre a colheita e mapear a produtividade de cada parte do terreno; sensores embarcados em máquinas agrícolas podem indicar a necessidade da sua manutenção; equipamentos instalados em silos podem indicar as condições de estocagem, evitando perdas no armazenamento; sensores inseridos em animais podem auxiliar no monitoramento de sua saúde, bem-estar e estresse e na previsão de datas de parto, visando o manejo e a melhoria do desempenho.

No contexto da agricultura digital, na fase de produção estão emergindo as fazendas digitais ou fazendas inteligentes (*smart farms*) (Pivoto et al., 2018). Nessas fazendas, o estabelecimento agropecuário será massivamente conectado, monitorado e automatizado em uma infraestrutura totalmente integrada, conforme ilustrado na Figura 4. Por meio da agricultura de precisão, sensores dispersos por toda a propriedade e interligados à internet (internet das coisas) gerarão dados em grande volume (*Big Data*) que necessitarão ser filtrados, armazenados (computação em nuvem) e analisados. A força de trabalho humana não será capaz de gerenciar essa quantidade de dados e necessitará do auxílio de algoritmos mais aprimorados por técnicas de inteligência computacional (*Analytics*). Após a análise, o ciclo é fechado por meio de comandos remotos aos tratores e implementos agrícolas que, munidos de sistema de posicionamento global (GPS), farão intervenções pontuais apenas onde necessário para otimizar custo, produção e impacto ao meio ambiente. A sociedade, por meio das redes sociais, poderá obter informações detalhadas do processo produtivo, dos impactos e das propriedades nutricionais em seus dispositivos móveis. Nas fazendas inteligentes, o conceito atual de agricultura de precisão é aprimorado pelo reconhecimento de contexto, situação e localização, serviços de TIC ricos em dados, integração de dados, comunicação de dados, padronização, processamento de sinais e tecnologias de automação, além de planejamento e controle de automação de alto nível (Sorensen, 2020).

Na fase de pós-produção, as novas tecnologias proporcionarão a comunicação altamente integrada e a automação das mais variadas atividades nos

Figura 4.

A agricultura digital na fase de produção: A fazenda inteligente conectada (A); Equipamentos, plataforma tecnológica e aplicações na fase da produção (B).



setores agroalimentar e agroindustrial: sistemas de predição preverão as safras agrícolas e os riscos envolvidos; sistemas avançados de monitoramento e controle informarão aos consumidores sobre segurança e sustentabilidade dos alimentos; sistemas de rastreabilidade propiciarão o acompanhamento

do escoamento da produção desde a fazenda até os centros de distribuição, evitando perdas; informações de mercado e variações econômicas serão processadas e orientarão os processos de comercialização; o armazenamento, a infraestrutura e a logística se tornarão mais eficientes, além dos *marketplaces*, que permitirão conexão virtual entre vários atores das cadeias produtivas oferecendo soluções de negociação e vendas. Algumas áreas adicionais que serão impactadas são os setores de embalagens, meio ambiente e reciclagem, restaurantes on-line e consultoria.

No contexto da agricultura digital, a etapa de coleta e gerenciamento dos dados, por meio das tecnologias de agricultura de precisão, da internet das coisas e da telemática, com o consequente armazenamento em nuvem, está sendo expressa como agricultura 4.0. Uma vez que os dados estejam armazenados em nuvem, é necessária grande capacidade de análise, utilizando ferramentas de inteligência artificial para processar seu grande volume e extrair conhecimento relevante que não só ajude a tomada de decisão na gestão da propriedade e da produção como conduza a atuação das máquinas autônomas no campo (Saiz-Rubio; Rovira-Más, 2020).

A habilidade de utilizar as tecnologias digitais para converter os dados precisos em conhecimento para apoiar e impulsionar a complexa tomada de decisões na fazenda e ao longo da cadeia de valor permitirá a mudança da agricultura de precisão para a agricultura de decisão (Shepherd et al., 2018). O uso de inteligência artificial e de robôs agrícolas autônomos para atuar na agricultura leva a uma nova fase, que é a agricultura 5.0 (European Agricultural Machinery Association, 2017). Como os robôs operam a partir do solo, a distância entre os sensores e o alvo diminui para menos de 2 metros, aumentando a precisão dos dados capturados e permitindo, por exemplo, registrar intensidade de luz, grau de umidade do solo, da planta e da atmosfera e de severidade de doenças, o que vai possibilitar uma atuação mais específica para a necessidade de cada planta ou animal (Saiz-Rubio; Rovira-Más, 2020).

Além de abranger as inovações tecnológicas, a agricultura 5.0 precisa englobar, também, características como possibilitar a produção de mais alimentos em menos área e com menos insumos; fomentar políticas públicas e estratégias para abordar os aspectos sociais e políticos dos sistemas agrícolas; contribuir para reduzir as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo as perdas pós-colheita e o desperdício global de alimentos per capita no varejo e no consumo, além de promover o entendimento das necessidades do consumidor e suas dietas, procurando mitigar o impacto no uso dos recursos naturais e no ambiente (Fraser; Campbell, 2019).

O Brasil já está em sintonia com a transformação digital na agricultura, em especial pela incorporação de processos de automação. Práticas e processos de precisão, amplo uso de sensores e mecanismos sofisticados de previsão e resposta a variações de clima, por exemplo, estão entre as melhorias

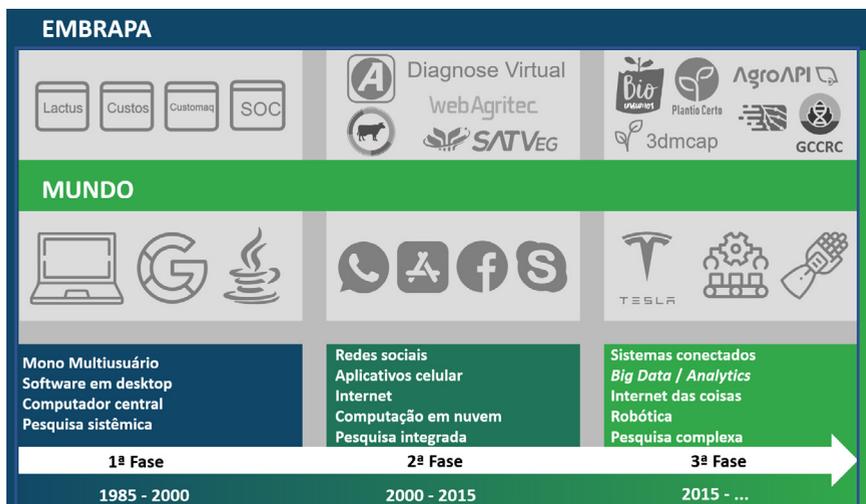
incorporadas, proporcionando abertura de espaços para o Brasil no mercado global, em segmentos estratégicos da agricultura e da bioeconomia. Cresce nas áreas mais avançadas de produção do país o uso de máquinas inteligentes guiadas por GPS para plantio, tratos culturais e colheita de precisão, com economia de insumos, ganhos de produtividade e sustentabilidade.

4 Iniciativas para a agricultura digital

Ao longo de sua história a Embrapa, por meio da Embrapa Informática Agropecuária, vem acompanhando a evolução das TIC no desenvolvimento de suas aplicações, de acordo com a Figura 5. Numa primeira etapa, os sistemas desenvolvidos eram monousuários e os softwares criados funcionavam nos computadores *desktop* de forma independente. Foi a época do início da internet comercial, quando os principais centros de pesquisas e universidades começaram a se conectar. Nessa fase tinha-se a pesquisa voltada a adequar modelos e soluções já existentes às necessidades da agricultura brasileira. Na segunda fase surgiu a internet móvel, permitindo o uso de aplicativos agrícolas diretamente no celular, onde os dados são armazenados em nuvens e as redes sociais ganham dimensão global. Aqui a pesquisa ganhou dimensão integrada, uma vez que a multidisciplinaridade é empregada na busca de soluções agregadas. Na terceira fase, tem-se a transformação digital, em que a atividade agrícola se torna altamente automatizada por meio da evolução constante dos sistemas de agricultura e pecuária de precisão, que agora são conectados com todos os elos da cadeia produtiva. Na área de PD&I serão geradas demandas significativas de novas tecnologias na agricultura brasileira. Algumas das inovações mais recentes nas TIC prometem alavancar as

Figura 5.

A evolução das Tecnologias de Informação e Comunicação e a atuação da Embrapa.



pesquisas na agricultura. As TIC já constituem o terceiro pilar da investigação científica, juntamente com a teoria e a experimentação, permitindo simular modelos de fenômenos complexos que não poderiam ser replicados em laboratório. Os dispositivos móveis, a computação em nuvem, o *Big Data*, a análise preditiva, a computação vestível, a computação cognitiva, os sistemas de software inteligentes, a internet das coisas, a robótica avançada, a nanotecnologia, a biotecnologia, a integração das ciências ômicas e a *next generation genomics* constituem as tecnologias disruptivas que estão transformando o modo de vida e de trabalho, por meio de uma nova infraestrutura na qual os mundos físico e digital estão totalmente interconectados.

Nesse cenário, visando promover o desenvolvimento sustentável e competitivo da economia brasileira, foi instituído o Plano Nacional de Internet das Coisas (IoT), pelo decreto nº 9.854, de 25 de junho de 2019. Trata-se de uma iniciativa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), do Ministério da Economia e do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), em conjunto com a sociedade civil – empresas, academia, agências de fomento e outros órgãos –, para garantir que o Brasil se beneficie da tecnologia de IoT. No plano foram definidas quatro áreas prioritárias: indústria, saúde, cidades inteligentes e agricultura.

O potencial de impacto e relevância do IoT para o país pode ser evidenciado em suas propostas, como apoiar projetos-piloto nesses ambientes prioritizados. Na área rural, destaque para as iniciativas como a “Fazenda Tropical 4.0”, que aumentam a produtividade e a qualidade da produção rural brasileira com o uso de dados que, por exemplo, ajudam a monitorar com precisão os ativos biológicos (Produto 7C, 2017).

No âmbito do Plano Nacional de Internet das Coisas, foi criada a Câmara do Agro 4.0 como um acordo de cooperação técnica entre o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). A ideia é ter um órgão de debates com participação de governo, empresas e academia para construir uma estratégia para as fazendas conectadas, que utilizam soluções como automação, interatividade, monitoramento em tempo real, *Big Data*, entre outras. Uma de suas ações é promover a conectividade no campo com expansão da Internet no ambiente rural. A Câmara do Agro 4.0 tem a coordenação do MCTI e do Mapa e a participação de atores da iniciativa privada, da academia e de institutos de pesquisa para debater e apresentar soluções nos eixos: i) Desenvolvimento, Tecnologia e Inovação; ii) Desenvolvimento Profissional; iii) Cadeias Produtivas e Desenvolvimento de Fornecedores; e iv) Conectividade no Campo.

Para possibilitar a implantação de ações do Plano Nacional de Internet das Coisas, várias atividades de fomento foram criadas. Em 2018 foi lançado o Edital BNDES Pilotos IoT - Internet das Coisas para financiar propostas de projetos para implantação de pilotos focados no desenvolvimento de soluções

integradas de IoT por meio de testes em ambientes reais e controlados, cujos impactos possam ser avaliados, de modo a permitir sua massificação, viabilidade comercial e interoperabilidade.

Uma outra iniciativa para promoção da transformação digital no país são os Centros de Pesquisa Aplicada (CPAs) em Inteligência Artificial (IA) que serão criados por meio de uma cooperação entre o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e o Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI). Os CPAs se dedicarão ao desenvolvimento de pesquisas científicas, tecnológicas e de inovação, aplicadas e orientadas à resolução de problemas por meio de Inteligência Artificial. Os quatro primeiros centros, dois em São Paulo e dois em outros estados, terão por áreas focais Saúde, Agricultura, Indústria e Cidades Inteligentes. Os centros serão apoiados por cinco anos, renováveis por mais cinco, dependendo dos resultados alcançados (Arantes, 2019).

Nessa mesma linha, a Softex, responsável pelo Programa Prioritário Softex da Secretaria de Empreendedorismo e Inovação do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, lançou o Edital Softex nº 01/2020 – Edital de Qualificação de Instituições de Apoio ao Processo de Pesquisa, Desenvolvimento, Inovação e Aceleração de Projetos IA²MCTIC. O objetivo do Edital foi selecionar e qualificar duplas de Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) e aceleradoras para atuação conjunta no Programa IA²MCTIC. O consórcio formado pela Baita Aceleradora, o Instituto Eldorado e a Embrapa Informática Agropecuária foi um dos credenciados nessa iniciativa.

A Embrapa cuja missão é viabilizar soluções de pesquisa, desenvolvimento e inovação para a competitividade e a sustentabilidade da agricultura, em benefício da sociedade brasileira, tem se posicionado como uma protagonista da modernização tecnológica da agricultura. Já no final da década de 90, criou a Rede de Agricultura de Precisão (Rede AP) da Embrapa para orientação quanto ao melhor e mais adequado uso da AP e para pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias. Atualmente, envolve 20 Centros de Pesquisa da Empresa e mais de 50 parceiros, como empresas, instituições de pesquisa, universidades e produtores rurais. A Rede AP conta com o Laboratório de Referência Nacional em Agricultura de Precisão (Lanapre), instalado na Embrapa Instrumentação, em São Carlos (SP). O espaço é utilizado para pesquisar e desenvolver equipamentos, sensores, componentes mecânicos e eletrônica embarcada, em um único local (Embrapa, 2020b).

Preocupada em acompanhar as tendências globais e nacionais da nova economia e da ordem mundial e como essas transformações impactam a agricultura, a Embrapa, por meio do seu Sistema de Inteligência Estratégica (Agropensa), elaborou o documento Visão 2030: o Futuro da Agricultura Brasileira (Embrapa, 2018). Nesse processo, a empresa e sua rede de

parceiros prospectaram e analisaram os desafios e os sinais dos novos rumos. As análises realizadas deram origem a 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. Essas megatendências integradas apontam desafios para a agricultura do país.

Amparada pelas demandas, oportunidades e megatendências levantadas no Agropensa, em 2018, a Embrapa criou seus portfólios de projetos que estabelecem desafios para direcionar seu foco de pesquisa. Atualmente são 33 portfólios, somando um total de 330 desafios de inovação voltados para várias áreas de agricultura, pecuária, commodities e produção de alimentos, além de automação, agricultura de precisão e digital, mudanças climáticas, biotecnologia, nanotecnologia e inteligência, gestão e monitoramento territorial. Em particular, o Portfólio de Automação, Agricultura de Precisão e Digital tem como objetivo planejar, promover e acompanhar os processos de desenvolvimento, adaptação e disseminação dos conhecimentos e das tecnologias em automação, agricultura de precisão e agricultura digital para o aumento de produtividade e sustentabilidade dos sistemas produtivos. Visa ainda apoiar a geração de ativos que agreguem valor aos produtos e processos agropecuários. Por meio desse portfólio a empresa busca promover pesquisas que contribuirão para a transformação digital da agricultura brasileira.

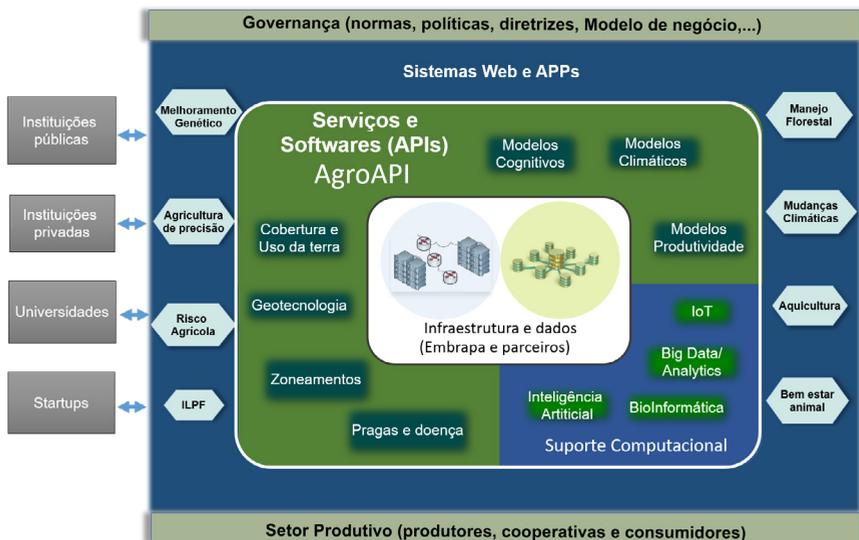
Ainda dentro do cenário da transformação digital na agricultura, não se pode deixar de mencionar o movimento de startups agrícolas, as AgTechs, que são empresas inovadoras associadas à tecnologia que visam construir aplicações para a agricultura. As AgTechs têm um importante papel na implantação da agricultura digital no Brasil. De acordo com o 2º Censo AgTech - Startups Brasil, realizado pela AgTechGarage, os maiores investimentos realizados pelas AgTechs estão no desenvolvimento de soluções para as culturas de soja (46%), milho (41%), pecuária de corte (30%), cana-de-açúcar (35%), café, (25%) pecuária de leite (20%), citricultura (18%), culturas florestais (15%), piscicultura (11%), suinocultura (10%) e avicultura (10%). Além dessas, também há soluções para horticultura, fruticultura, algodão, agricultura orgânica e agroecológicos e produção de equinos (Agtechgarage, 2020). No estudo do Radar AgTech Brasil 2019: Mapeamento das Startups do Setor Agro Brasileiro, realizado em parceria pela SP Ventures, Homo Ludens e Embrapa, dentro do Programa Pontes para Inovação, foi levantado que atualmente existe um total de 1125 startups na área da agricultura no Brasil, sendo que 196 atuam na fase de pré-produção, 397 atuam na fase de produção e 532 atuam na fase de pós-produção (Dias et al., 2019). Esse número só tende a crescer, dada a importância do agronegócio para a balança comercial brasileira e a

necessidade de modernização e uso das novas tecnologias digitais para que o setor mantenha sua pujança na economia do país e na oferta de alimentos para o mundo.

5 Como incorporar as megatendências na agricultura: ecossistema de inovação da agricultura digital

A redução de risco e vulnerabilidade da agricultura e do negócio agrícola, assim como o aumento de sua resiliência e adaptação às novas condições impostas pelas mudanças climáticas, são totalmente dependentes de uma estrutura de organização e processamento de dados e informações, baseada em poderosas plataformas computacionais, que gera o conhecimento para o manejo no campo e a tomada de decisão pública e privada. O Ecossistema de Inovação da Agricultura Digital e as instituições de pesquisa conectados por ele terão poderosa ferramenta para embasar as tomadas de decisão e propor políticas públicas que envolvam todos os agentes da cadeia produtiva, inclusive o consumidor final, sendo fundamental para que os governos Federal, Estadual e Municipal possam atender as demandas não só do campo, mas também do consumo em todo o país. Esse ambiente colaborativo, ilustrado na Figura 6, também terá como missão viabilizar soluções para programas de pesquisa relacionados à bioeconomia, à biotecnologia e à climatologia, facilitando a transformação dos resultados dessas pesquisas em produtos e tecnologias para o setor agropecuário. Este, por sua vez, pode gerar novas

Figura 6.
Ecossistema de
Inovação da
Agricultura Digital.



demandas, retroalimentando o processo de pesquisa, desenvolvimento e inovação do Ecossistema.

A Embrapa propõe e participa neste novo Ecossistema de Inovação da Agricultura Digital, que é centrado na contribuição das novas tecnologias disruptivas para a agregação de valor à produção, o aumento da rentabilidade do agricultor e a segurança alimentar. Essa realidade impõe novos desafios às entidades ligadas ao setor, como a Embrapa, que devem atuar cada vez mais em cooperação, compartilhando expertise e conhecimentos para o desenvolvimento de novas soluções, tecnologias e negócios. Como empresa pública de pesquisa, a Embrapa reúne condição de exercer um papel de facilitadora nesse ambiente de inovação aberta, fazendo a ponte entre seus diversos atores, que incluem produtores rurais, setor público, instituições de pesquisa, startups e empresas da área de TIC e do setor agrícola. Nesse Ecossistema, a Embrapa se dispõe a oferecer serviços e conhecimentos que podem ser compartilhados por todo o agronegócio visando à transformação digital no campo.

No contexto da agricultura digital, no qual existe uma enorme geração de dados e informações, a Embrapa se propõe a implantar uma infraestrutura computacional de altíssimo desempenho (*Data Center*) que apoiará a melhoria na geração de conhecimentos relevantes para a política agrícola nacional e a gestão integrada do risco público e privado do agronegócio para o desenvolvimento sustentável da agricultura do Brasil. O novo *Data Center* terá alta capacidade para armazenar, organizar e processar dados para gerar informação e conhecimento que atenda às demandas da agricultura 4.0. Também permitirá a oferta de três tipos de serviços: infraestrutura, plataforma e software.

No serviço de infraestrutura, os parceiros da Embrapa poderão utilizar os serviços de gestão de grandes volumes de dados, incluindo armazenamento, processamento de alto desempenho, capacidade de memória e serviços de backup dos dados gerados em suas pesquisas, de forma segura.

No serviço de software, será possível ter acesso a várias aplicações desenvolvidas pela Embrapa, como o Agritempo - Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo, 2020), o Webagritec - Sistema de Planejamento e Monitoramento Agrícola (Massruhá et al., 2008), o Satveg - Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg, 2020), entre outros. Também serão disponibilizados aplicativos que poderão ser desenvolvidos tanto pela Embrapa como por seus parceiros. No que se refere à Embrapa, vários aplicativos relativos à disponibilização de informações de bioinsumos, gestão de fazendas leiteiras, medição de emissão de gases de efeito estufa, custo da produção, indicação de melhores épocas de plantio de culturas, disponibilização de informações agrometeorológicas de municípios e estados brasileiros, gestão da produção de gado, entre outros, encontram-se

disponíveis na loja de aplicativos da Embrapa, tanto no Google Play quanto no App Store da Apple.

No serviço plataforma, a Embrapa já está disponibilizando uma ferramenta pioneira no Brasil para atender ao mercado de tecnologias em agricultura digital denominada plataforma AgroAPI (Vaz et al., 2017; Agroapi, 2020). A AgroAPI permite ofertar informações e modelos que poderão ser utilizados por empresas e startups para a criação de softwares, sistemas web e aplicativos móveis para o setor agropecuário, com redução de custo e de tempo. A tecnologia também permite a interface com dispositivos móveis e equipamentos embarcados que possam surgir com o crescimento da internet das coisas, sendo fundamental para a transformação digital no campo. Por meio da plataforma AgroAPI será possível criar uma rede de oferta e demanda de serviços compartilhados que irá beneficiar redes de pesquisa e instituições do Brasil como universidades, startups, instituições públicas e privadas, uma vez que os dados estarão armazenados de forma segura, podendo ser compartilhados em função do interesse de cada instituição. Todas essas instituições podem tanto consumir os dados e sistemas armazenados como disponibilizar dados e sistemas por elas produzidos. Nessa iniciativa, os campos experimentais das Unidades da Embrapa atuarão como *testbeds* para realizar experimentos com as tecnologias disruptivas no campo, em parcerias com o setor público ou privado, funcionando como vitrines de demonstração da implantação da agricultura digital.

Produtores, cooperativas, agricultores e empresas de tecnologia e de transformação se beneficiarão de toda essa infraestrutura, uma vez que terão acesso a uma vasta informação agregada, analisada e disponibilizada que auxiliará sua tomada de decisão.

Ao desenvolver um trabalho colaborativo, dentro do Ecossistema de Inovação da Agricultura Digital, a Embrapa atuará em conjunto com o Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável (HIDS) da Unicamp (Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável, 2020), focando em agricultura digital para o desenvolvimento e o compartilhamento de serviços para os usuários do setor produtivo agrícola do estado de São Paulo, contando com o apoio da prefeitura de Campinas e do Governo do Estado. A visão do HIDS é contribuir para o processo do desenvolvimento sustentável, agregando esforços nacionais e internacionais para produzir conhecimento, tecnologias inovadoras e educação das futuras gerações, mitigando e superando as fragilidades sociais, econômicas e ambientais da sociedade contemporânea.

Nesse Ecossistema, as Unidades da Embrapa atuam no desenvolvimento e na inovação voltados para a agricultura (atividades agrícolas, pecuárias, florestais e agroindustriais) e o meio ambiente, conciliando as demandas dos sistemas produtivos com as necessidades de conservação de recursos naturais

e preservação ambiental. Suas pesquisas geram grande impacto em políticas públicas como o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), o Plano Agricultura Baixo Carbono (Plano ABC), a Rede Nacional de Pesquisa e Monitoramento Ambiental da Aquicultura em Águas da União (Rede) e os Inventários Nacionais de Emissões da Agropecuária e de Resíduos. Além destes, atua também na elaboração de inventários de Ciclo de Vida, que dão suporte a avaliações de desempenho ambiental nas diferentes cadeias produtivas de importância para o Brasil, como a sucroenergética, em decorrência da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). Além disso, a Embrapa poderá disponibilizar infraestrutura compartilhada de importantes laboratórios multiusuários, como o Laboratório Multiusuário de Bioinformática (LMB), o Laboratório Nacional de Referência em Agricultura de Precisão (Lanapre), o Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio (LNNA), o Laboratório Multiusuário de Espectrorradiometria, o Laboratório Multiusuário de Química de Produtos Naturais (LMQPN), o Laboratório Multiusuário de Biossegurança para a Pecuária (Biopec), o Laboratório Multiusuário de Biologia Molecular (LMBM), o Laboratório de Análise em Sistema Sustentável (LASS) e o Complexo Multiusuário de Bioeficiência e Sustentabilidade da Pecuária (CMB), composto por quatro laboratórios: Metabolismo e Impactos Ambientais da Pecuária, Biotecnologia e Ambiência, Pecuária de Precisão e Saúde Animal.

Uma outra contribuição da Embrapa é a disponibilização de estrutura de campos experimentais que possibilitem a transformação digital no campo, por meio da colheita remota de dados, assim como o gerenciamento e a tomada de decisão, viabilizados pela interação de animais eletronicamente identificados, equipamentos, atuadores e sensores. Essa estrutura de experimentação permitirá a geração de dados de pesquisa, por exemplo, em: 1) sistemas integrados (ILPE, ILP, IPF); 2) produção leiteira, qualidade do leite e composição do leite; 3) dados zootécnicos; 4) comportamento animal; 5) parâmetros fisiológicos; 6) consumo animal; 7) emissão de gases de efeito estufa; e 8) dados edafoclimáticos. Outros entregáveis esperados são o desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis para acompanhamento, gerenciamento e tomada de decisão em tempo real e o desenvolvimento de plataformas digitais para compartilhamento de informações e acesso à Infraestrutura de Dados Espaciais da Embrapa (Geoinfo) (Geoinfo, 2020), onde poderão ser acessados dados espaciais de Mapeamentos de Solos, Zoneamentos de Aptidão Agrícola, Zoneamentos Ecológico-Econômicos, Mapeamento e Monitoramento do Uso e Cobertura da Terra, Monitoramento do Uso e Ocupação do Solo, Dados de Relevância e Dados Climáticos.

Todo esse Ecossistema terá uma governança regida por normas, políticas e modelos de negócios acordados entre os parceiros e em conformidade com as diretrizes estabelecidas pelo governo federal.

6 Considerações finais

Sendo o Brasil um dos maiores produtores e exportadores agrícolas mundiais, para que o país possa garantir, ou mesmo ampliar, sua capacidade de produção com sustentabilidade, ao mesmo tempo que atende à demanda global por segurança alimentar e nutricional como um grande exportador de commodities agrícolas, tornam-se necessárias a modernização, a tecnificação e a inovação em toda a cadeia de produção agrícola, convergindo para a agricultura digital como resultado da transformação digital do setor.

Este trabalho apresentou uma visão geral da evolução das TIC na agricultura e de como a transformação digital impulsiona a quarta revolução industrial, provocando o surgimento da Indústria 4.0 e inspirando a implantação das novas tecnologias na agricultura digital e o consequente despontar da agricultura 4.0 rumo à agricultura 5.0.

Apesar do crescente interesse e do esforço na implantação da agricultura digital, existem desafios a serem superados, como a dificuldade na coordenação de ações implicando as diversas instituições envolvidas e os modelos de negócios a serem praticados; a falta de recursos humanos capacitados na quantidade necessária; a necessidade de garantia da segurança da informação; a definição da propriedade de dados e informações gerados, assim como questões de integração de dados em diferentes formatos e provenientes de diversas fontes.

Nesse escopo vislumbram-se algumas estratégias para o atingimento pleno da agricultura digital como: atuar na definição dos direitos e da propriedade dos dados; incentivar o uso de protocolos de padrões abertos para interoperabilidade dos dados e para comunicação entre os equipamentos; melhorar a conectividade e a cobertura de banda larga para celulares e internet no meio rural; incentivar a geração de pesquisa e conhecimento para embasar aplicações inteligentes para a agricultura, além de estabelecer alianças entre setor público e privado para definição de estratégias e políticas para a implantação da agricultura digital de forma colaborativa.

Os desafios apresentados pela transformação de dados agrícolas, notadamente em relação ao aumento da digitalização, da colaboração digital e do desenvolvimento sustentável, relacionados com a agricultura, credenciam a Embrapa como uma das instituições propulsoras na implantação da agricultura digital no país. Uma das iniciativas concretas para abordar esses desafios é a criação do Ecossistema de Inovação da Agricultura Digital, no qual a Embrapa se coloca como facilitadora entre as empresas interessadas no sentido de promover o trabalho colaborativo e a integração dos diversos segmentos e setores envolvidos.

7 Referências

ACCENTURE. Disponível em: <https://www.accenture.com/br-pt>. Acesso em: 18 jun. 2020.

ACCELERADORA. Disponível em: <http://aceleradora.net/>. Acesso em: 18 jun. 2020.

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] GRÃOS: safra 2019/20: nono levantamento, v. 7, n. 9, p. 1-31, jun. 2020. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/32042_910765cf5dc2d088c377e32cdef6fc72. Acesso em: 26 jun. 2020.

AGRITEMPO. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br/agritempo/>. Acesso em: 29 maio 2020.

AGROAPI. **A Plataforma de APIs da Embrapa**. Disponível em: <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/index.html>. Acesso em: 29 maio 2020.

AGTECHGARAGE. **2º Censo AgTech Startups Brasil**. Disponível em: <https://www.agtechgarage.com/censo/>. Acesso em: 2 jun. 2020.

ARANTES, J. T. FAPESP criará oito centros de pesquisa em inteligência artificial com o governo federal. **Agência FAPESP**, 16 dez. 2019. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/fapesp-criara-oito-centros-de-pesquisa-em-inteligencia-artificial-com-o-governo-federal/32196/>. Acesso em: 29 maio 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE STARTUPS. **Tudo que você precisa saber sobre startups**. 2019. Disponível em: <https://abstartups.com.br/o-que-e-uma-startup/>. Acesso em: 1 jun. 2020.

BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 596 p.

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: 2 jun. 2020.

BOYLE, J. Biology must develop its own big-data systems. **Nature**, v. 499, n. 7456, p. 7, 2013. DOI: [10.1038/499007a](https://doi.org/10.1038/499007a).

EUROPEAN AGRICULTURAL MACHINERY ASSOCIATION. **Digital Farming: what does it really mean? And what is the vision of Europe’s farm machinery industry for Digital Farming?** 13 Feb 2017. Disponível em: https://www.cema-agri.org/images/publications/position-papers/CEMA_Digital_Farming_-_Agriculture_4.0__13_02_2017_0.pdf. Acesso em: 20 maio 2020.

COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. **TIC domicílios 2019: principais resultados**. 2019. 31 p. Disponível em: https://cetic.br/media/analises/tic_domicilios_2019_coletiva_imprensa.pdf. Acesso em: 2 jun. 2020.

DIAS, C. N.; JARDIM, F.; SAKUDA, L. O. (org.). **Radar AgTech Brasil 2019: mapeamento das startups do setor agro brasileiro**. Brasília, DF: Embrapa; São Paulo: VP Ventures: Homo Ludens, 2019. Disponível em: www.radaragtech.com.br. Acesso em: 2 jun. 2020.

EMBRAPA. **Trajatória da agricultura brasileira**. 2020a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/trajectoria-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 29 maio 2020.

EMBRAPA. **Automação e agricultura de precisão**. 2020b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-mecanizacao-e-agricultura-de-precisao/nota-tecnica>. Acesso em: 29 maio 2020.

EMBRAPA. Secretaria Geral. Gerência de Comunicação e Informação.

Embrapa em números. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 140 p.

EMBRAPA. **Visão 2030:** o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 212 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/o-futuro-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 29 maio 2020.

EUROPEAN COMMISSION. **Innovating for sustainable growth:** a bioeconomy for Europe. Brussels, 2012. DOI: 10.2777/6462. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1f0d8515-8dc0-4435-ba53-9570e47dbd51>. Acesso em: 14 out. 2014.

FAO. **"Climate-smart" agriculture:** policies, practices and financing for food security, adaptation and mitigation. Rome: FAO, 2010. The document was prepared as a technical input for the Hague Conference on Agriculture, Food Security and Climate Change, to be held 31 October to 5 November 2010. Disponível em: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/the-hague-conference-fao-paper.pdf. Acesso em: 29 maio 2020.

FRASER, E. D. G.; CAMPBELL, M. Agriculture 5.0: reconciling production with planetary health. **One Earth**, v. 1, n. 3, p. 278-280, Nov 2019. DOI: [10.1016/j.oneear.2019.10.022](https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.022).

GAZZOLA, P.; COLOMBO, G.; PEZZETTI, R.; NICOLESCU, L. Consumer empowerment in the digital economy: availing sustainable purchasing decisions. **Sustainability**, v. 9, n. 5, 2017. DOI: [10.3390/su9050693](https://doi.org/10.3390/su9050693).

GEOINFO. **Infraestrutura de dados espaciais da Embrapa.** Disponível em: <http://geoinfo.cnpem.embrapa.br/>. Acesso em: 29 maio 2020.

HUB INTERNACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Disponível em: <http://www.hids.depi.unicamp.br/>. Acesso em: 29 maio 2020.

IBGE. Censo agropecuário 2017: resultados definitivos. **Censo Agropecuário**, v. 8, p. 1-105, 2019. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf. Acesso em: 28 maio 2020.

JACTO. Acompanhe a evolução dos implementos agrícolas. **Blog Jacto**, 29 maio 2018. Disponível em: <https://blog.jacto.com.br/acompanhe-a-evolucao-dos-implementos-agricolas/>. Acesso em: 29 maio 2020.

KIM, K.-H.; SHIM, W.; MOON, Y.-H.; KIM, K.-H.; SON, J.-K.; KWON, O. J. The structure of bio-information nano technology convergence from firms' perspective. In: PICMET: TECHNOLOGY MANAGEMENT FOR EMERGING TECHNOLOGIES, 12., 2012, Vancouver. **Proceedings**. New York: IEEE, 2012. p. 579-588.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LIMA, H. P. de; EVANGELISTA, S. R. M.; PINTO, G. E. M. **Uma proposta de plataforma de software para integração e interoperabilidade de serviços Web - Webagritec:** estudo de caso. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2008. 23 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 19). Disponível em: <https://ainfo.cnpia.embrapa.br/digital/bitstream/item/11850/1/bp19.pdf>. Acesso em: 29 maio 2020.

MAY, M. Big biological impacts from big data. **Science**, v. 344, n. 6189, p. 1298-1300, Jun 2014. DOI: [10.1126/science.344.6189.1298](https://doi.org/10.1126/science.344.6189.1298).

NATIONAL bioeconomy blueprint. Washington, DC: The White House, Apr 2012. Disponível em: https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/national_bioeconomy_blueprint_april_2012.pdf. Acesso em: 20 jun. 2020.

TRANSFORMAÇÃO DIGITAL. **O que é transformação digital?** Disponível em: <https://transformacaodigital.com/o-que-e-transformacao-digital/>. Acesso em: 29 maio 2020.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **The bioeconomy to 2030:** designing a policy agenda. Paris, 2009. 323 p. DOI: [10.1787/9789264056886-en](https://doi.org/10.1787/9789264056886-en).

PILLON, C. N. Dos pós de rocha aos remineralizadores: passado, presente e desafios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 3., 2017, Pelotas. **Anais**. Assis: Triunfal Gráfica e Editora, 2017. p. 16-23. Editado por Adilson Luis Banberg, Carlos Augusto Posser Silveira, Éder de Souza Martins, Magda Bergmann, Rosane Martinazzo e Suzi Huff Theodoro.

PIVOTO, D.; WALQUIL, P. D.; TALAMINI, E.; FINOCCHIO, C. P. S.; CORTE, V. F. D.; MORES, G. V. Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. **Information Processing in Agriculture**, v. 5, n. 1, p. 21-32, Dec 2018. DOI: [10.1016/j.inpa.2017.12.002](https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.12.002).

PRINS, R. **3 ways COVID-19 is pushing Ag data transformation**. 2020. Disponível em: <https://www.precisionag.com/digital-farming/3-ways-covid-19-is-pushing-ag-data-transformation/>. Acesso em: 1 jun. 2020.

PROJECT BREAKTHROUGH. **Digital agriculture: feeding the future**. 2017. Disponível em: <http://breakthrough.unglobalcompact.org/disruptive-technologies/digital-agriculture/>. Acesso em: 1 jun. 2020.

SAIZ-RUBIO, V.; ROVIRA-MÁS, F. From smart farming towards agriculture 5.0: a review on crop data management. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 1-21, Feb 2020. DOI: [10.3390/agronomy10020207](https://doi.org/10.3390/agronomy10020207).

SANTIN, W. O campo em tempo real. **Globo Rural**, n. 418, p. 14-19, ago. 2020.

SATVeg: Sistema de Análise Temporal da Vegetação. Desenvolvido pela Embrapa Informática Agropecuária. Ferramenta de acesso e visualização de perfis temporais dos índices vegetativos NVDI e EVI do sensor MODIS. Disponível em: <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html>. Acesso em: 1 jun. 2020.

SHEPHERD, M.; TURNER, J. A.; SMALL, B.; WHEELER, D. Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the 'digital agriculture' revolution. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 14, Sept 2018. DOI: [10.1002/jsfa.9346](https://doi.org/10.1002/jsfa.9346).

SORENSEN, A. G. Smart farming and digitalization. In: GIGR INTERNATIONAL CONFERENCE, 5., 2021, Quebec. **[Proceedings]**. [S.l.]: International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering, June 2020. p. 2-4. Newsletter 121. 2020. Disponível em: http://cigr.org/documents/CIGR_NL121.pdf. Acesso em: 1 jun. 2020.

SPRINGER. **Precision agriculture**. Disponível em: <https://www.springer.com/journal/11119/updates/17240272>. Acesso em: 1 jun. 2020.

STARTUPBASE. **Encontre todas as startups do Brasil**. Disponível em: <https://startupbase.com.br/home/>. Acesso em: 1 jun. 2020.

VARSHNEY, R. K.; TERAUCHI, R.; MCCOUCH, S. R. Harvesting the promising fruits of genomics: applying genome sequencing technologies to crop breeding. **PLoS Biology**, v. 12, n. 6, e1001883, June 2014. DOI: [10.1371/journal.pbio.1001883](https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001883).

VASCONCELOS, M. J. V. de; FIGUEIREDO, J. E. F. **Tecnologia CRISPR-Cas para edição genômica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 37 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 197).

VAZ, G. J.; APOLINÁRIO, D. R. de F.; CORREA, J. L.; VACARI, I.; GONZALES, L. E.; DRUCKER, D. P.; BARIANI, J. M.; EVANGELISTA, S. R. M.; ROMANI, L. A. S. AgroAPI: criação de valor para a Agricultura Digital por meio de APIs. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 11., 2017, Campinas. **Ciência de dados na era da agricultura digital**: anais. Campinas: Ed. Unicamp: Embrapa Informática Agropecuária, 2017. p. 59-68. SBIAgro 2017.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Digital transformation initiative: executive summary**. Geneva, 2017. Disponível em: https://www.accenture.com/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/WEF/PDF/Accenture-DTI-executive-summary.pdf. Acesso em: 1 maio 2020.