



# 16 Desafios, tendências e oportunidades em agricultura digital no Brasil

Édson Luis Bolfe  
Jayme Garcia Arnal Barbedo  
Sílvia Maria Fonseca Silveira Massruhá  
Kleber Xavier Sampaio de Souza  
Eduardo Delgado Assad

## 1 Introdução

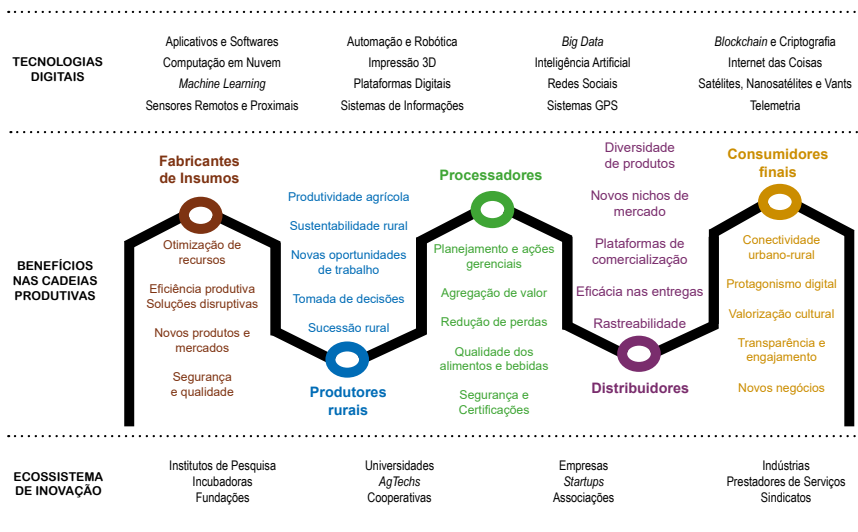
A conjunção de condições do solo, clima, relevo, ciência, tecnologia, políticas públicas e o empreendedorismo dos agricultores tornou o Brasil um dos líderes mundiais em produção e exportação agrícola. Projeções recentes do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2019b) indicam que a produção de grãos poderá passar do atual patamar de 250 milhões de toneladas, chegando a entre 300 e 350 milhões de toneladas na safra de 2028/2029. Quanto à produção de carnes (frango, suína e bovina), projeções indicam que passaremos dos atuais 26 milhões para 33 milhões de toneladas até o final da próxima década. Há, também, crescente demanda por algodão, celulose, leite, açúcar e frutas, especialmente manga, uva e maçã. O mercado interno e a demanda internacional são indicados como principais fatores de crescimento para a maior parte desses produtos.

O crescimento dessa produção deverá continuar ocorrendo com base na produtividade. A produtividade total dos fatores (PTF) tem crescido em média 3,5% ao ano ao longo dos últimos anos, e apresenta previsão de crescimento de 2,92% ao ano para a próxima década (Gasques et al., 2016). Embrapa (2018) também ressalta a importância da intensificação agrícola brasileira

nos próximos anos, com destaque para múltiplas safras por ano em mesma área, recuperação de pastagens degradadas, irrigação de precisão e uso mais sustentável de insumos e recursos naturais. Por sua vez, o aumento da população, a contínua urbanização, a maior expectativa de vida, as alterações no padrão alimentar e no poder econômico são fatores que impulsionam uma demanda mundial maior de alimentos, energia e água.

As tecnologias digitais podem ajudar a resolver essa complexa equação com inúmeras variáveis econômicas, sociais e ambientais em que é preciso produzir mais alimentos, com qualidade e com menor uso de recursos naturais. A agricultura digital, também chamada de “4.0”, é composta por tecnologias, já operacionais ou em desenvolvimento, como robótica, nanotecnologia, proteína sintética, agricultura celular, tecnologia de edição de genes, inteligência artificial, *blockchain* e aprendizado de máquina, que podem ter seus efeitos transformadores difundidos para o futuro desenvolvimento da agricultura e dos sistemas agroalimentares (Klerkxa; Roseb, 2020).

Bolfe e Massruhá (2020) destacam que o processo de transformação digital nas propriedades rurais não é mais uma opção, é um caminho imprescindível para tornar a agricultura brasileira mais competitiva e com maior agregação de valor. Essa transformação pode ser entendida como interdisciplinar e transversal, não limitada a regiões, cultivos ou classe social. Seus potenciais benefícios amplificam as inovações e a interação entre os elos das cadeias produtivas agrícolas, promovendo novas abordagens e aplicações para fabricantes de insumos, produtores rurais, processadores, distribuidores e consumidores (Figura 1).



**Figura 1.** Potenciais benefícios da transformação digital nas cadeias produtivas agrícolas.

Fonte: Bolfe e Massruhá (2020).

Esse ambiente de transformação digital também molda agendas de desenvolvimento em várias escalas. Internacionalmente, pode ser associado à Agenda 2030, que envolve 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Nações Unidas, 2015). Nesse contexto, a transformação digital na agricultura também pode contribuir significativamente para o alcance desses objetivos, em especial na redução da fome, saúde e bem-estar, emprego digno e crescimento econômico, redução das desigualdades, consumo e produção responsáveis, combate às alterações climáticas, vida sobre a terra, paz, justiça e instituições fortes.

Estimativas da UNGC (United Nations Global Compact, 2017) apontam que o mercado mundial da agricultura digital, em 2021, será de 15 bilhões de dólares, e que 80% das empresas esperam ter vantagens competitivas nesse setor. Porém, aspectos internacionais recentes envolvendo questões comerciais entre os Estados Unidos e a China e de saúde, com a pandemia de Covid-19 (Nações Unidas, 2020), geram um ambiente com certo grau de incerteza, porém com expectativas de uma possível aceleração do crescimento do uso das tecnologias digitais na agricultura ainda maior a partir de 2020.

Nesse contexto, o presente capítulo objetiva elencar alguns dos principais desafios científicos, tecnológicos, sociais e econômicos e, posteriormente, apontar tendências e oportunidades para o futuro da agricultura brasileira.

## 2 Desafios científicos e tecnológicos

### 2.1 Serviços digitais on-line

A oferta de serviços digitais on-line a produtores rurais ganhou força no início da década de 2010, expandindo-se desde então. Com a disseminação dos smartphones, a maior parte de tais serviços migrou para essa plataforma (Duncombe, 2016). Grande parte das startups de tecnologia aplicada à agricultura (*AgTechs*) surgidas nos últimos anos vem apostando nesse tipo de tecnologia. Por ser algo ainda relativamente novo, a melhor maneira de ofertar esse tipo de produto ainda está sendo definida, porém essa tecnologia já é uma realidade, e a maior parte das tecnologias mencionadas nesta seção são ou serão incorporadas a portfólios de serviços digitais já existentes ou em desenvolvimento. Os desafios que ainda precisam ser superados dizem respeito a aspectos que não são necessariamente tecnológicos, como propriedade dos dados gerados por esse tipo de ferramenta, falta de sintonia entre as necessidades dos produtores e a informação gerada pelas ferramentas e segurança dos dados (Rotz et al., 2019). Independentemente das soluções que venham a ser adotadas para esses problemas, novas plataformas de serviços

digitais continuarão a ser desenvolvidas, muitas das quais baseadas nas tecnologias discutidas a seguir.

## 2.2 Gestão e monitoramento da produção vegetal

Existem diversos fatores que precisam ser constantemente monitorados na gestão agrícola, incluindo produção, produtividade, presença de doenças, pragas, ervas daninhas, deficiências nutricionais, estresse hídrico, entre outros. Um dos principais desafios é o monitoramento de estresses, que pode ser dividido em três etapas: detecção de estresse, determinação da causa do estresse e atuação para resolver o problema. Apesar dos avanços recentes em inteligência artificial, o processo como um todo ainda é majoritariamente manual. Porém, o grau de automação vem aumentando, sendo que várias empresas (startups em particular) já oferecem serviços nesse sentido (Wolfert et al., 2017).

Um grande número de modelos matemáticos vem sendo desenvolvido para processar diferentes variáveis e fornecer um indicativo para a susceptibilidade da lavoura a eventos indutores de estresse. Por exemplo, dados sobre precipitação, umidade e molhamento foliar podem ser usados para calcular a probabilidade da incidência de certas doenças. Esses modelos vêm sendo aperfeiçoados e alimentados com dados de qualidade cada vez mais elevada, tornando-os peça fundamental na gestão integrada das propriedades rurais. Contudo, para que se possa fazer uma gestão eficaz de estresses, é necessário que estes sejam detectados diretamente na lavoura. O desafio é fazer com que essa detecção seja suficientemente precoce para evitar prejuízos significativos. Embora existam métodos proximais para detecção de estresses, a tendência é que cada vez mais se faça uso de imagens obtidas remotamente. No curto e no médio prazo, drones devem dominar essa atividade devido à alta resolução temporal das imagens obtidas por esse meio, tornando possível detectar problemas até mesmo em folhas individuais (Barbedo, 2019a). À medida que sensores mais sofisticados forem embarcados em satélites, estes tenderão a ganhar espaço, principalmente devido à cobertura que eles oferecem.

Câmeras convencionais (RGB) têm capacidade limitada na detecção precoce de estresses, uma vez que elas não conseguem ir além da capacidade visual humana. Para esse fim, sensores capazes de capturar outras bandas do espectro além da visível, como câmeras multiespectrais e hiperespectrais, são essenciais. Câmeras multiespectrais, as quais normalmente incluem de três a cinco bandas do espectro, vêm sendo cada vez mais usadas. Porém, o barateamento e a miniaturização de câmeras hiperespectrais, as quais capturam separadamente centenas de bandas do espectro, as tornarão uma alternativa especialmente atrativa num futuro próximo (Thomas et al., 2018).

Uma vez detectado o estresse, é necessário determinar sua causa para que as devidas ações possam ser realizadas. Sob certas condições, os sensores

atuais são capazes de oferecer informação suficiente para que os modelos baseados em inteligência artificial forneçam uma classificação confiável para o problema sendo observado (Barbedo, 2018, 2019b), mas em grande parte dos casos é necessário que tal identificação seja feita por um especialista, ou mesmo através de análises laboratoriais. O problema é que diferentes tipos de estresse frequentemente produzem sinais visuais semelhantes (Barbedo, 2019b). Os perfis espectrais produzidos por diferentes agentes tendem a diferir em maior grau, mas mesmo utilizando sensores hiperespectrais sensíveis o índice de confusão é elevado (Thomas et al., 2018). A tendência, no futuro, é combinar o imageamento com outras fontes de informação (variáveis meteorológicas, histórico de manejo da propriedade, características de solo etc.) para aumentar o grau de automação do processo, embora a completa eliminação das atividades manuais seja improvável num futuro próximo. Além da identificação do estresse, em muitos casos é importante também determinar a severidade dos sintomas, a fim de balizar o enfrentamento do problema. Embora já existam diversos algoritmos para esse fim, muitas das dificuldades mencionadas valem também neste caso (Bock et al., 2020).

Após a localização e a identificação do estresse, é necessário atuar para eliminar o problema. Em muitos casos, é necessária a aplicação de produtos como defensivos e nutrientes. Veículos autônomos vêm sendo desenvolvidos por diversos grupos de pesquisa para que tal atividade possa ser feita não somente sem a necessidade de supervisão permanente de um operador humano, mas também no local e na quantidade necessária, reduzindo custos e o impacto sobre o meio ambiente (Reina, 2016). No futuro próximo, será possível ter um ou mais desses veículos monitorando e atuando dentro da propriedade. Em paralelo, atuadores podem ser também instalados no maquinário agrícola para realização dessas mesmas atividades.

É importante notar que algoritmos de inteligência artificial vêm sendo usados em outras aplicações, como previsão de safra, localização de falhas em linhas, determinação da qualidade da produção, determinação do grau de maturação de frutos/grãos, entre outros (Liakos et al., 2019). A tendência que se observa é que ferramentas baseadas em inteligência artificial e aprendizado de máquina continuarão a ganhar espaço e serão parte da rotina da maioria das propriedades em um futuro próximo.

### **2.3 Gestão e monitoramento da produção animal**

A gestão apropriada de propriedades de produção animal evoluiu consideravelmente nos últimos anos, especialmente no caso de gado de leite e gado de corte no sistema intensivo. Entretanto, a gestão de propriedades adotando o sistema extensivo de produção ainda enfrenta desafios significativos (Barbedo; Koenigkan, 2018). Um controle mais efetivo das variáveis envolvidas na gestão da propriedade é essencial para maximizar os lucros e

diminuir a quantidade e a seriedade dos problemas. Duas alternativas vêm sendo utilizadas, ainda de maneira limitada, para o monitoramento de grandes propriedades de criação animal: sensores afixados nos animais e drones para monitoramento remoto (Barbedo; Koenigkan, 2018).

Sensores podem ser afixados nos animais por meio de brincos ou colares, sendo capazes de colher diversas informações a respeito desses animais, incluindo localização, temperatura e padrões de movimentação e mastigação (Rahman et al., 2018). Com essas informações, é possível detectar potenciais problemas, como doenças, e inferir diversos aspectos do comportamento animal, o que é importante, por exemplo, para criar mecanismos efetivos de aceleração de engorda e definir o ponto ótimo de abate (Miller et al., 2019). Para que os dados possam ser coletados com a frequência requerida, é necessário que se tenha uma comunicação efetiva entre os sensores individuais e a central de processamento dos dados. Receptores podem ser instalados em postes distribuídos pela propriedade, ou os dados podem ser coletados através do uso de drones sobrevoando os animais (Barbedo et al., 2019). Ambas as opções têm limitações no caso de grandes propriedades: no caso dos receptores fixos, um grande número precisaria ser instalado, o que representa um alto custo inicial, além da dificuldade de manutenção de equipamentos localizados em regiões mais distantes. No caso dos drones, além destes terem autonomia limitada, o planejamento dos voos deve ser cuidadoso para que todos os animais sejam considerados. Já há soluções comerciais oferecendo monitoramento através de sensores individuais nos animais, como revelam simples buscas na internet. Porém, tais soluções não são adequadas para todos os tipos de propriedades, e os custos ainda são elevados. É importante notar que os custos tecnológicos tendem a cair à medida que se tem um aumento na sua adoção.

O uso de drones para imageamento dos animais é mais recente, e o uso prático desse tipo de tecnologia ainda depende de mais esforços de pesquisa e desenvolvimento de novos algoritmos. Há vários esforços nesse sentido (Barbedo et al., 2019, 2020), já que, uma vez viabilizado, esse tipo de tecnologia tem várias vantagens: não necessita de infraestrutura específica, é uma opção comparativamente mais barata, vários tipos de sensores podem ser embarcados nos drones (câmeras RGB, termais, multiespectrais, hiperespectrais), além de ter o potencial de fornecer outros tipos de informações além daquelas que podem ser obtidas com os brincos. Em particular, há estudos em andamento cujo objetivo é, a partir de medidas dos animais obtidas usando as imagens capturadas, estimar o peso de cada animal sem a necessidade de uma balança. Outras informações que no futuro poderão ser obtidas usando drones incluem o número de animais em uma determinada área e a detecção de eventos anômalos como doenças e nascimentos de bezerras. Contudo, algumas limitações ainda precisam ser vencidas, como

a autonomia relativamente curta das aeronaves atuais e a dificuldade de se identificarem animais individuais quando estes estão agrupados (Barbedo et al., 2020). No caso da limitação de autonomia, possíveis soluções futuras incluem o uso de imagens capturadas em ângulo para a cobertura de áreas maiores (Barbedo et al., 2020) e o desenvolvimento de novos drones com autonomies maiores, como o “drone-balão”. À medida que novas soluções vão surgindo, o uso de drones na pecuária deverá crescer substancialmente no futuro próximo.

É importante ainda mencionar o uso de satélites. Embora a resolução espacial das imagens capturadas por satélite ainda não seja suficiente para permitir seu uso efetivo no monitoramento de rebanhos, avanços na tecnologia de imageamento e multiplicação de constelações de micro e nanosatélites com propósitos específicos tendem a viabilizar o uso desse tipo de equipamento no futuro. Isso não significa que essa tecnologia substituirá as outras, mas será uma opção adicional que certamente será vantajosa sob certas condições.

#### 2.4 Bases de dados em agricultura

A evolução observada nas últimas duas décadas em relação às técnicas de aprendizado de máquina fez com que a maioria dos problemas de detecção, reconhecimento e classificação tornassem-se tratáveis, potencialmente levando ao desenvolvimento de ferramentas de grande utilidade prática. Porém, para que tais ferramentas sejam confiáveis e robustas, é necessário que a base de dados utilizada para produzir os modelos seja representativa de toda a variabilidade encontrada na prática (Barbedo, 2018). Na maioria dos casos, isso implica na necessidade de se colher um grande número de amostras, sejam estas imagens, medições ou análises. No caso de imagens, por exemplo, há situações que requerem a coleta de centenas de milhares de amostras (Barbedo, 2018). O desafio torna-se ainda maior quando se considera que as amostras precisam ser anotadas adequadamente, isto é, informações sobre o que está representado naquela amostra, onde tal amostra foi coletada, e outras precisam ser corretamente geradas para que o modelo possa ser corretamente inferido. Como consequência, muitas vezes é inviável que um único grupo de pesquisa seja capaz de construir uma base de dados realmente representativa (Barbedo, 2019b).

Há duas alternativas que vêm sendo aplicadas em algumas circunstâncias e que deverão prevalecer no futuro. A primeira é a ciência cidadã (*citizen science*) (Irwin, 2002). Essa abordagem, a qual é mencionada no documento de Visão da Agricultura 2030 (Embrapa, 2018a), faz uso de voluntários não profissionais para coletar dados como parte de pesquisa científica, particularmente em ecologia e ciências ambientais (Silvertown, 2009). No caso da detecção de doenças em plantas, por exemplo, produtores e trabalhadores

rurais poderiam coletar imagens de sintomas em campo e, após serem enviadas a um servidor, tais imagens poderiam ser rotuladas por fitopatologistas. À medida que dispositivos móveis com capacidade de imageamento tornam-se ubíquos, o desafio será encontrar mecanismos para promover a participação de voluntários (Barbedo, 2019b).

A segunda alternativa que tende a prevalecer no futuro é o compartilhamento das bases geradas (Barbedo, 2018). A maioria dos desafios tecnológicos e científicos é abordada simultaneamente por diversos grupos de pesquisa, cada qual gerando seu próprio conjunto de dados. Se tais bases de dados fossem disponibilizadas e integradas, o conjunto resultante provavelmente seria muito mais representativo e aplicável às condições do mundo real. A Embrapa vem contribuindo em esforços desse tipo através da disponibilização de bases de dados como o Digipathos (Embrapa, 2019), a qual foi uma das primeiras a fazer parte da Rede de Repositórios de Dados Científicos do Estado de São Paulo (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2019). Um passo complementar para adição de valor às bases de dados é a adesão aos princípios FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable and Reusable*), os quais ditam os padrões de encontrabilidade, acessibilidade, interoperabilidade e reusabilidade (Wilkinson et al., 2016).

### 3 Desafios socioeconômicos

#### 3.1 Conectividade no Campo

O Brasil está entre os dez principais mercados mundiais de telecomunicações móveis e dados de banda larga fixa (Agência Nacional de Telecomunicações, 2020). O censo agropecuário de 2017 apontou que o acesso à internet cresceu 1.900% em relação a 2006, sendo acessado por cerca de 30% dos agricultores (1,43 milhões em 2017), sendo 659 mil através de banda larga e 909 mil por internet móvel (IBGE, 2017). Apesar de representar um crescimento relativamente elevado, esses dados indicam que aproximadamente 3,5 milhões de estabelecimentos rurais – ou seja, 70% – não possuíam acesso à internet. Estudo com 750 agricultores brasileiros indica que 47% fazem uso de, pelo menos, uma ferramenta em agricultura de precisão, enquanto 33% usam duas ou mais, sendo que o perfil jovem dos agricultores brasileiros, inferior a 45 anos para algumas regiões e sistemas de produção, é um dos motivos dessa receptividade a novas tecnologias (Mckinsey Consultoria, 2020).

Mesmo com os recentes investimentos do setor público e privado, a falta de conectividade no meio rural ainda é um dos principais desafios para a inserção da agricultura no processo de transformação digital. As dimensões territoriais, a baixa densidade demográfica de grande parte do meio rural



e as desigualdades socioeconômicas são alguns dos principais obstáculos para elevar a disponibilidade de acesso à internet no país. O BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2017) estima que a maior conectividade na agricultura por meio da “internet das coisas” (IoT – *internet of things*) poderia gerar de 50 a 200 bilhões de dólares de impacto econômico anual em 2025. É destacado ainda que se deve buscar a padronização e a interoperabilidade dos componentes das soluções de IoT, com o objetivo de se obter maior escala de adoção, mais rapidez de desenvolvimento de novos serviços e aplicações, e de fomentar a capacidade de inovação.

A conectividade é fundamental para melhorar a assistência técnica, a educação a distância, o acesso a informações de mercado, a utilização de software e aplicativos de gestão e a integração de máquinas e equipamentos agrícolas, reduzindo custos de produção e melhorando a produtividade da propriedade. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2020) enfatiza que a infraestrutura de conexão e a interoperabilidade dos dados são os maiores obstáculos para inclusão da agricultura brasileira na era do 4.0, a qual deverá auxiliar o produtor a superar o desafio de ampliar a oferta de alimentos com preços acessíveis e de forma sustentável.

Iniciativas privadas para elevar o acesso à internet nas propriedades rurais via satélite, rede de antenas e tecnologias *bluetooth* estão em expansão no Brasil. Um exemplo é a ConectarAgro (2020), que busca incentivar e promover soluções para a conectividade nas áreas rurais por tecnologias de torres, rádios e antenas. Porém, pequenos e médios produtores possuem maiores dificuldades em função dos custos de implementação. Possíveis recursos públicos para melhorar a infraestrutura de internet podem se originar a partir do projeto de lei nº 172/2020 (Brasil, 2020a), que tramita no Congresso Nacional, objetivando modificar a Lei Geral das Telecomunicações para acesso aos recursos do Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações (FUST). O projeto de lei prevê o financiamento da expansão da infraestrutura nas regiões de zona rural ou urbana com baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), estimulando o uso e o desenvolvimento de novas tecnologias de conectividade para promoção de desenvolvimento econômico e social. A maior conectividade no meio rural também está apontada no Plano Nacional de Internet das Coisas (Brasil, 2019a) e nas discussões da Câmara Agro 4.0, na qual existe um grupo de trabalho em Conectividade no Campo (Brasil, 2019a, 2020b).

### 3.2 Custos das tecnologias digitais

Dados do IFAD (International Fund for Agricultural Development, 2020) indicam que cerca de 63% das pessoas mais pobres do mundo trabalham na agricultura, sendo a grande maioria em pequenas propriedades rurais. No Brasil, de acordo com o Censo Agropecuário (IBGE, 2017), dos cinco milhões

de estabelecimento rurais, 4,5 milhões possuem área agrícola inferior a 100 ha, ou seja, representam cerca de 90% dos agricultores. Pesquisa realizada pela Embrapa, o Sebrae e o Inpe (Bolfé et al., 2020) com 753 produtores rurais, empresas e prestadores de serviços em agricultura digital de todas as regiões brasileiras observa que 67% desses agricultores e 58% dos prestadores de serviços indicam que o valor do investimento para aquisição de máquinas, equipamentos e/ou aplicativos ainda é o principal desafio para a implantação e a manutenção da transformação digital na propriedade. Dessa forma, percebe-se que, para importante parcela dos agricultores, especialmente pequenos e médios, o processo de transformação digital ainda é considerado oneroso frente à percepção atual dos potenciais benefícios econômicos.

Por outro lado, estudo estimou um relevante potencial de impacto econômico da adoção das principais tecnologias em agricultura de precisão no Brasil para os produtos cana-de-açúcar, milho e soja. Observou-se que um cenário de aumento de 10% na produtividade dessas culturas, com ou sem redução ou aumento de fertilizantes, poderia elevar em cerca de R\$ 11 bilhões o PIB da economia do país e gerar mais de 450 mil empregos (Costa; Guilhoto, 2013). DeBoer (2019), ao analisar a agricultura de precisão para a sustentabilidade, destaca que, com suas aplicações, eleva-se a capacidade de identificar a variabilidade espacial dentro do campo e usar essas informações para um gerenciamento de culturas mais direcionado, operando recursos com maior eficiência, tornando a agricultura mais produtiva, sustentável e reduzindo seu impacto ambiental.

Outra importante tendência frente ao desafio dos custos em agricultura digital é a disponibilização gratuita de instrumentais e capacitações públicas e privadas. Exemplos são as plataformas e os aplicativos disponíveis que objetivam apoiar a gestão da propriedade e da produção agrícola, como: WebAgritec, Zarc Plantio Certo, SatVeg, Agritempo, WebAmbiente, Roda da Reprodução, BioInsumos e AGro (Embrapa Informática Agropecuária, 2019a, 2019b, 2020a, 2020b); AFSOFT, Siscob, Qualisolo (Embrapa Instrumentação, 2020); MapOrgânico, Geoweb Matopiba, GeoInfo (Embrapa Territorial, 2020); RenovaCalc, AgroTag e Aquisys (Embrapa Meio Ambiente, 2020).

### 3.3 Sucessão familiar rural

O censo agropecuário de 2017 indicou que, do total de cinco milhões de produtores agropecuários, 15% declararam que nunca frequentaram uma escola, 14% frequentaram até o nível de alfabetização, e 43%, no máximo, o nível fundamental. Dessa forma, 73% do total de produtores possuem, no máximo, o ensino fundamental como nível de escolaridade – concluído ou parcial. Destaca-se que 1,1 milhão de produtores (23%) declararam não saber ler e escrever (IBGE, 2017).

A Embrapa (2018) em seu estudo sobre o futuro da agricultura brasileira, aponta que 91% da população deverá se concentrar em áreas urbanas em 2030. Ressalta ainda que apenas o desenvolvimento de tecnologias adequadas às diferentes condições socioeconômicas e ambientais não basta para elevar a produtividade agrícola brasileira e a renda das famílias, uma vez que os produtores apresentam baixo nível de escolaridade e carecem de acesso a assistência técnica e extensão rural, o que dificulta ou até impossibilita a incorporação de tecnologias. O estudo também destaca que questões associadas à renda e ao esvaziamento demográfico do campo estão alterando um elemento estrutural importante da agricultura nacional, a sucessão hereditária no comando/gestão das propriedades.

A propriedade e a gestão são entendidas como duas grandes dimensões no processo de sucessão familiar, no qual o fator tecnologia digital é apontado como uma das oportunidades para os futuros processos de sucessão no Brasil (PWC Brasil, 2019). Dessa forma, é importante existirem ações para facilitar o processo de tomada de decisão da sucessão, especialmente para pequenos e médios produtores rurais, com relação ao que se deve produzir e a como essa produção será realizada, gerando informações e auxiliando na gestão da produção ajustada à realidade dos estabelecimentos rurais.

### 3.4 Desenvolvimento rural sustentável

O grande desafio da agricultura mundial é elevar seu nível de sustentabilidade econômica, social e ambiental. Dentre as metas brasileiras propostas na Agenda dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável para 2030, pode-se destacar “acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável” (IPEA, 2018). Especificamente em agricultura, alguns desafios são “garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos, por meio de políticas de pesquisa, de assistência técnica e extensão rural, entre outras, visando implementar práticas agrícolas resilientes que aumentem a produção e a produtividade e, ao mesmo tempo, ajudem a proteger, recuperar e conservar os serviços ecossistêmicos, fortalecendo a capacidade de adaptação às mudanças do clima, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, melhorando progressivamente a qualidade da terra, do solo, da água e do ar” e “aumentar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos, particularmente de mulheres, agricultores familiares, povos e comunidades tradicionais, visando tanto à produção de autoconsumo e garantia da reprodução social dessas populações quanto ao seu desenvolvimento socioeconômico”.

Segundo o Mapa (Brasil, 2019a), a agricultura brasileira tem elevado sua produção total nas últimas décadas, e esse crescimento deverá continuar ocorrendo, com base na produtividade, até 2030. Um dos desafios é a necessidade de maior integração das geotecnologias com novos algoritmos de

processamento e fusão de imagens de sensoriamento remoto para elevar o nível e a precisão do uso dos recursos naturais em tempo real, favorecendo ainda mais a sustentabilidade agrícola (Bolfe, 2019).

Dentre os desafios de inovação, a Embrapa (2019) aponta a necessidade da agricultura brasileira elevar: i) a eficiência de uso de água em sistemas agrícolas irrigados de grãos, hortaliças, frutíferas, pastagens e cana-de-açúcar; ii) a capacidade adaptativa e a resiliência dos sistemas de produção agrícola com maior impacto econômico projetado e relevância para segurança alimentar a partir de cenários de mudanças climáticas; iii) a orientação do uso e a ocupação das terras em áreas de conversão de uso e de expansão da fronteira agrícola nos biomas Cerrado, Caatinga e Amazônia. Para o Brasil assumir definitivamente o papel de protagonista na produção agrícola sustentável mundial, serão necessários maiores investimentos públicos e privados em ciência, inovação, empreendedorismo, infraestrutura de conectividade, comunicação e capacitação profissional em agricultura digital (Bolfe; Massruhá, 2020).

## 4 Tendências e oportunidades

### 4.1 Tecnologias digitais disruptivas

A quantidade e a qualidade de novas tecnologias disponíveis para uso na agricultura vêm não apenas aumentando continuamente ao longo das últimas décadas, como se intensificando. Exemplos de tecnologias disruptivas que vêm sendo cada vez mais empregadas na agricultura para os mais diversos fins incluem nanossatélites (Houborg; McCabe, 2016), sensores remotos e proximais (Mahlein, 2016; Adão et al., 2017), algoritmos de inteligência artificial (Liakos et al., 2018), drones (Barbedo; Koenigkan, 2018), técnicas de *Big Data* (Wolfert et al., 2018), internet das coisas (Tzounist et al., 2017), computação em nuvem (Roopaei et al., 2017), *blockchain* e criptografia (Lin et al., 2017), edição genômica (Chen et al., 2019), impressão 3D, robótica (Bechar; Vigneault, 2016), realidade aumentada (Huuskonen; Oksanen, 2018), entre outras. Grande parte dessas tecnologias foram abordadas em detalhe ao longo deste livro e fazem parte do portfólio de pesquisas sendo realizadas no contexto da Embrapa.

Embora tal oferta de tecnologias seja evidentemente positiva, sua utilidade só pode ser maximizada através de mecanismos e sistemas que agreguem a enorme quantidade de dados gerada por essas tecnologias. Mais importante, tais ferramentas devem ser capazes de gerar informações que podem ser utilizadas imediatamente na tomada de decisões. Tais tecnologias agregadoras terão papel cada vez mais fundamental em todos os setores produtivos, o que

é demonstrado pelos investimentos que vêm sendo despendidos em direção a esse fim (Rose et al., 2016).

O aumento do impacto de sistemas integrados desse tipo passa por alguns grandes desafios. Em particular, a integração apropriada de dados advindos de diferentes fontes ainda requererá muitos esforços de pesquisa. Avanços significativos vêm sendo alcançados em algumas áreas: a retroalimentação entre genotipagem e fenotipagem vem sendo aplicada com sucesso em muitos esforços de melhoramento genético, e dados meteorológicos vêm sendo integrados a informações obtidas através de imagens para determinação do estado fitossanitário de lavouras (Mahlein, 2016). Porém, é provável que exista um alto grau de complementariedade entre diferentes tipos de dados que não foi ainda explorado, fazendo com que muitas tecnologias não atinjam todo o seu potencial. Outro desafio importante é a criação de mecanismos para que os sistemas integradores possam lidar com a heterogeneidade dos potenciais usuários. Além do nível de instrução variar consideravelmente, é importante levar em conta diferenças no tipo e no nível de informação que cada usuário espera receber. Enquanto a maioria dos usuários deseja receber os dados totalmente processados sob a forma de informações diretamente relacionadas à tomada de decisões, há aqueles que desejam ter um relatório mais detalhado do que ocorre na propriedade. Assim, uma maior flexibilização na visualização dos dados através de uma interface amigável é também um objetivo importante no futuro próximo.

É importante observar que 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 concertada para a coleta de dados (Bayindir, 2016). Essas são tecnologias capazes de alterar significativamente o cenário atual, abrindo novas possibilidades ainda não viáveis no estágio atual.

## 4.2 Capacitações em agricultura digital

Inúmeras iniciativas públicas e privadas buscam elevar a capacitação em temas de agricultura digital para os produtores rurais e, com isso, favorecer também o processo de permanência dos jovens no campo. Um dos exemplos inovadores é o Senar (2019), com cursos de agricultura de precisão, fornecendo informações sobre o estado da arte nas técnicas agrícolas para a gestão rural, favorecendo a racionalidade e a eficiência na produção. Outra iniciativa parte do Sebrae (2019) para disponibilizar apoio a pequenos produtores por meio de prestadores de serviços tecnológicos, como na agricultura digital.

Além da disponibilidade de plataformas on-line, aplicativos e cursos de vários centros de pesquisa, podem-se destacar as ações da Rede de Pesquisa em Agricultura de Precisão (Embrapa, 2018b), que gera conhecimento científico, disponibiliza publicações técnicas e capacita multiplicadores/extensionistas sobre variabilidade da produção e de parâmetros edafambientais, das plantas, pragas e doenças de culturas como soja, milho, algodão, trigo, eucalipto, cana-de-açúcar, laranja, uva, maçã e pêssego. No nível de ensino superior brasileiro, o BNDES ((Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2017) aponta a necessidade de incorporação de novas disciplinas relacionadas a IoT e agricultura de precisão nos cursos na área rural e a ampliação da oferta de cursos de extensão e pós-graduação para formar especialistas da área de tecnologia com conhecimento agrícola.

Dessa forma, vislumbram-se oportunidades para conferir maior dinamismo e integração entre pesquisa, ensino, indústria, comércio, assistência técnica e extensão rural; aproveitar o mundo rural mais conectado e fortalecer o processo de educação a distância no campo. As capacitações digitais podem atrair mais jovens para gerarem soluções cada vez mais interdisciplinares no dia a dia das propriedades rurais, elevando a produtividade com menor pressão nos recursos naturais. Um perfil inovador, empreendedor e multiplicador é imprescindível a todos que buscam a transformação digital da agricultura.

### 4.3 Mercado consumidor na era digital

O maior nível de informação dos consumidores, viabilizado pelas redes sociais, permite elevar a consciência quanto à qualidade e origem dos alimentos e a responsabilidade socioambiental dos sistemas de produção agrícola. As diferentes tecnologias de informação e comunicação favorecem a relação rural-urbana pela melhor compreensão do papel de cada setor, possibilitam a valorização da cultura regional e dos produtos locais, auxiliam na valoração e na manutenção da biodiversidade e apoiam o turismo rural. Os negócios convencionais deverão ser desenvolvidos sob a ótica do mercado digital, no qual o relacionamento entre consumidores e clientes será fortalecido por meio dos ecossistemas empresariais, do uso intensivo da automação e da convergência das TIC na agricultura (Embrapa, 2018b).

A economia digital com criptomoedas também impulsiona cooperativas virtuais, novos negócios e plataformas digitais com a integração direta do produtor ao consumidor. Bolfe e Massruhá (2020) ressaltam que, nessa revolução tecnológica, o grande protagonista é o ser humano, que terá, cada vez mais, um papel decisivo na tomada de decisão, pois, por meio das tecnologias digitais, será mais exigente e demandará mais informações sobre os produtos consumidos.

Segundo estudo do Cepea (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2020), a atual pandemia do Covid-19 pode alterar potencialmente

ainda mais os hábitos da sociedade, de modo a intensificar a preocupação e os esforços para atender a níveis de higiene e saúde pública conhecidos pela ciência, mas não priorizados até o presente. É destacado que os diferentes países deverão adotar protocolos de saúde mais robustos e, para além disso, precisam levantar a discussão mundial sobre a consistência dos sistemas de vigilância e controle de doenças, que atingem animais e humanos, para garantir a oferta e a segurança alimentar.

Nesse cenário, somente o produtor que incorporar novas tecnologias digitais conseguirá dar mais transparência em seu processo produtivo e responderá às exigências do mercado nacional e internacional. Dessa forma, vislumbram-se grandes oportunidades para o desenvolvimento de tecnologias alinhadas com a transformação digital, que geram informações a respeito de origem, qualidade, métodos de produção, impactos ambientais e sociais da produção agrícola, entre outras, tais como bem-estar animal e adequado uso de insumos agrícolas.

#### 4.4 Plataformas digitais

A crescente transformação digital da agricultura impulsiona a demanda por soluções que integrem informações de gestão da propriedade, da produção e da comercialização e que estejam disponíveis para acesso ao agricultor via computadores ou smartphone. Nesse contexto, instituições de pesquisa, universidades, grandes empresas, startups, cooperativas e associações têm investido no desenvolvimento de plataformas digitais, oportunizando soluções inovadoras com a integração e a análise de dados via geoestatística, inteligência artificial, processamento em nuvem e visão computacional.

A SigmaABC é um exemplo de plataforma que objetiva integrar as informações dos usuários (fazendas, talhões, máquinas e implementos, custos de produção) com dados coletados em campo, levantamentos geofísicos, dados fitotécnicos, estações meteorológicas automáticas, modelos globais e regionais de previsão de tempo, modelos matemáticos (doenças, pragas, plantas daninhas, água no solo, produtividade potencial) e modelos de sensoriamento remoto (índices de vegetação), em diferentes escalas espacial e temporal (Fundação ABC, 2020).

Um outro formato de plataforma digital em agricultura é o AgroAPI, que oferece informações e modelos agropecuários gerados (Embrapa, 2019). Oportuniza a geração de novos produtos e negócios para empresas, startups, instituições públicas e privadas para a criação de softwares, sistemas web e aplicativos móveis para o setor agropecuário, com redução de custo e de tempo. O acesso às informações e aos modelos é realizado de forma virtual, por meio de APIs (*Application Programming Interface*). Essas aplicações agregam um conjunto de padrões e linguagens de programação que permite, de

maneira automatizada, a comunicação entre sistemas diferentes de forma ágil e segura.

As plataformas de comercialização de bebidas e alimentos também já são realidades consolidadas no Brasil, e atendem inúmeros perfis de consumidores. Com a atual pandemia associada ao Covid-19, gigantes do comércio eletrônico aproveitam suas capacidades em logística, suprimentos e tecnologia para também fornecerem aos centros urbanos, especialmente na Ásia. A RaboResearch (2020) destaca que essas empresas podem solidificar ainda mais seu poder de influência junto aos consumidores, interligando os agricultores e processadores aos distribuidores e varejistas, organizando efetivamente a produção agrícola, o processamento, o gerenciamento de inventários e de canais de comercialização.

Destacam-se ainda oportunidades para os próximos anos no desenvolvimento de plataformas digitais integradas, em temas como: i) suporte à análise de dados e à tomada de decisão da propriedade, com informações geoespaciais de agricultura, vegetação, solo e recursos hídricos para apoio aos Programas de Regularização Ambiental (PRA), Cotas de Reserva Ambiental (CRA) e Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA); ii) conectividade entre produtores rurais e consumidores, favorecendo o processo de rastreabilidade e a certificação de qualidade e origem de produtos como leite, mel, ovos, carnes, grãos, frutas, açúcar, biocombustíveis, fibras, madeiras e celulose; e iii) suporte à tomada de decisão e à gestão de políticas públicas agrícolas, baseadas em modelos matemáticos, estatísticos e computacionais, com o uso de inteligência artificial, visão computacional e processamento de imagens de sensoriamento remoto (Embrapa, 2018a, 2018b, 2019).

#### 4.5 Sistemas de projeções de riscos futuros

A variabilidade climática sempre foi um dos principais fatores na determinação dos riscos às atividades agrícolas. Utilizando as ferramentas hoje disponíveis, é necessário compilar, sistematizar e atualizar as informações sobre os possíveis impactos relacionados com o aumento da temperatura na agricultura brasileira frente às mudanças climáticas. Para efeito de planejamento de curto prazo, todas as informações atualmente disponíveis pela Embrapa que objetivam apoiar a gestão da propriedade e da produção agrícola, como WebAgritec, Zarc Plantio Certo, SatVeg e Agritempo, são suficientes para tomada de decisões.

Entretanto, para projeções de médio e longo prazo e análise de riscos futuros na agricultura, um dos desafios é a incorporação de modelos climáticos regionais, que permitam avaliar o comportamento futuro das culturas em termos de risco climático e produtividade. A Embrapa, em caráter experimental, está desenvolvendo um novo sistema denominado Simulador de Cenários Agrícolas (ScenAgri) (Embrapa, 2020), que incorpora os aspectos



citados e associa a fundamentação do ZARC (Zoneamento Agrícola de Risco Climático). O sistema é baseado em computação de alto desempenho para apoiar os pesquisadores na investigação dos impactos das mudanças climáticas na agricultura brasileira. Alguns estudos já evidenciaram a importância dessa projeção futura de médio e longo prazo para doenças de plantas, forrageiras, eucalipto, grãos e cana-de-açúcar (Ghini et al., 2011a, 2011b; Marin; Nassif, 2013; Assad et al., 2016).

No futuro próximo, o agricultor poderá ter, nos seus aplicativos, sistemas que mostram a vulnerabilidade climática da cultura nas condições de curto (Plantio Certo), médio e longo prazos (SCenAgri). Como apontado anteriormente, um dos principais desafios é resolver o problema de tratamento de grande quantidade de dados dos modelos, mas o avanço tecnológico permitirá reduzir tal limitação como impeditivo a médio prazo. Os principais setores que têm procurado informações sobre impactos futuros do clima são papel e celulose, *citrus* e pecuária de corte.

Com o aumento das emissões dos gases de efeito estufa, em decorrência da ação antrópica, e suas consequências negativas para os ecossistemas naturais e para a certificação dos produtos agrícolas brasileiros, outra grande oportunidade está associada a soluções tecnológicas que incorporam a determinação do balanço de emissões de gases de efeito estufa por sistema de produção. Tais tecnologias são baseadas no protocolo GHG (*Greenhouse Gas Protocol*), e servem de base para certificações de Carne Baixo Carbono (CBC) ou Carne Carbono Neutro (CCN) (Alves et al., 2018).

Assim, futuramente, além das recomendações que estão no sistema WebAgritec, serão incorporados os custos por sistema de produção e o cálculo do balanço de emissões baseado no protocolo GHG. Com isso, a cada ciclo da cultura ou sistemas integrados, o produtor rural terá a produtividade e a “pegada” de carbono na sua propriedade rural, o que auxiliará na certificação do seu produto. Essa certificação acontece com a análise do balanço de emissões, que será feita após a assimilação dos fatores de emissão originários do Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa do MCTIC.

#### **4.6 Rastreabilidade e certificações**

A partir de novos padrões de consumo nacional e internacional, os processos de rastreabilidade de certificação alimentar têm se intensificado nos últimos anos. Estudo da Embrapa (2018) sobre o futuro da agricultura brasileira para 2030 destaca que a rastreabilidade dos produtos que contenham informações de seu local de origem, insumos utilizados, colheita, abate, processamento, conservação, qualidade, armazenamento e transporte se tornará condição essencial para atendimento ao consumidor, que exigirá transparência em relação a tais características.

Porpino e Bolfe (2020) ressaltam que a busca pelas certificações dos produtos alimentares por parte das empresas brasileiras do setor é uma pressão crescente imposta pelo mercado consumidor, que exige garantias sobre as características nutricionais, sanitárias e higiênicas dos alimentos. Existe um conjunto de legislações e normas estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) para determinadas certificações, a exemplo das “Boas Práticas de Fabricação” (BPF) e do Serviço de Inspeção Federal (SIF). Além das certificações gerais para segurança de alimentos já descritas, são crescentes as oportunidades para a agricultura alcançar mercados e consumidores mais exigentes para processos e produtos com certificações específicas, em especial: Socioambientais como *Fair Trade*, *Certified Humane*, *Rainforest* ou Orgânicos (Brasil, 2003); *Good Agricultural Practices* (FAO, 2016); Bem-estar Animal (Brasil, 2017); Indicações Geográficas (Instituto Nacional da Propriedade Industrial, 2019); *International Organization for Standardization* (2020); e *Food Safety System Certification* (2020). Essas certificações consideram a complexidade da agricultura e são baseadas em métricas, critérios e protocolos reconhecidos nacional e/ou internacionalmente.

Novas oportunidades também são vislumbradas para a agricultura digital frente aos desafios de inovação (Embrapa, 2019), em que se destaca a necessidade de: i) prover soluções digitais e ciberfísicas em apoio à identificação, à rastreabilidade, ao sensoriamento e à certificação de rebanhos e de produtos de origem animal e vegetal. Um grande apoio à rastreabilidade pode advir do uso da tecnologia de *blockchain*, pois esta fornece um grande banco de dados distribuído que pode acompanhar o que ocorreu nos vários elos da cadeia produtiva; ii) ampliar a outorga de certificados de indicações geográficas a produtos e processos agropecuários, com valor intrínseco e identidade própria do local de origem, como solo, vegetação e clima; iii) otimizar a rastreabilidade e a certificação em conformidade com padrões dos órgãos de controle e demandas do consumidor nas cadeias de proteína animal, ovos, leite, frutas, hortaliças e grãos; e iv) ampliar a rastreabilidade e o diagnóstico rápido de patógenos, toxinas e resíduos de medicamentos veiculados por alimentos de origem animal e de interesse econômico e à saúde pública.

#### 4.7 Sociedade 5.0

A agricultura digital, aqui também chamada de “Agricultura 4.0”, tem sido apresentada como uma alternativa para resolver grandes desafios da agricultura. Observe que a agricultura digital amplia a ideia de observar, medir e conectar máquinas inteligentes oriundas da agricultura de precisão para plataformas de *Big Data* e aprendizado automatizado de máquinas, sensores, satélites, drones e robôs.

As tecnologias digitais aparecem como facilitadoras para otimizar os processos de planejamento e produção da agricultura para atingir as metas de sustentabilidade, possibilitar melhores tomadas de decisão e remodelar o funcionamento dos mercados agroalimentares, melhorar a qualidade de vida dos trabalhadores agrícolas e da população rural e poder atrair uma geração mais jovem para a agricultura e os novos negócios rurais.

A robustez do agronegócio brasileiro favorece o uso dessas novas tecnologias, mas o país ainda está tendo de superar os desafios relacionados com capacitação, infraestrutura de telecomunicações, regulação, definição de padrões e segurança da informação, além de custos elevados. Sem dúvida, a pandemia de Covid-19 marcou o fim do século XX e, oficialmente, o início do século XXI, funcionando com um acelerador de futuros, dando início a uma nova revolução na sociedade moderna.

Após um grande avanço em mecanização, eletrificação, informação e tecnologia de rede, a sociedade moderna entrou em uma nova era de desenvolvimento de tecnologia: a era paralela da tecnologia virtual-real de dupla inteligência. Da mesma forma, nossa sociedade está mudando de sociedade de máquinas (Sociedades 1.0), sociedade elétrica (Sociedades 2.0), sociedade da informação (Sociedades 3.0) e sociedade em rede (Sociedades 4.0) para seu quinto paradigma: a sociedade paralela ou Sociedades 5.0 (World Economic Forum, 2019), na qual não deve haver separação entre mundo físico e virtual.

A teoria básica da pesquisa nas Sociedades 5.0 é a inteligência paralela, que é uma nova metodologia que estende as teorias tradicionais de inteligência artificial às emergentes de sistemas ciber-físico-sociais (CPSS – *Cyber-Physical-Social Systems*) (Zhang, 2016). Esse conceito de inteligência paralela pode ser apresentado como uma das tecnologias habilitadoras para uma agricultura mais preditiva e inteligente, que pode contribuir para atender às novas demandas de aumento da produção e de produtividade de maneira sustentável nas três dimensões: econômica, ambiental e social. Nesse contexto, insere-se o conceito da chamada “agricultura 5.0”, que além do uso massivo de inteligência artificial e biotecnologia nos processos agrícolas produtivos, deverá garantir a produção e a distribuição de alimentos de maneira mais econômica e ecologicamente eficiente do que é praticado atualmente (Fraser; Campbell, 2019).

Além de maior demanda por alimento, existe uma outra tendência de mudança comportamental nas populações, devido à urbanização crescente, ao aumento da expectativa de vida, às novas relações de trabalho e ao acesso à informação. Essa combinação traz para o ambiente das cidades o conceito de “agricultura urbana” (FAO, 2011), que engloba diferentes vertentes, como produção *indoor*, em ambientes controlados, combinação com produção orgânica, criação de abelhas e pequenos animais, hortas comunitárias, produção em telhados etc.

No âmbito do desenvolvimento urbano deve-se ter como pano de fundo a preservação e a conservação do meio ambiente, podendo, entre outros exemplos: promover coleta, tratamento e reciclagem de resíduos sólidos, usar racionalmente a água, utilizar energia limpa e de modo eficiente, desenvolver e utilizar tecnologias digitais e modelos de negócios inovadores como a internet das coisas (IoT) e tecnologias vestíveis, utilizar veículos autônomos, economia circular e compartilhada, garantir a emissão líquida zero de gases causadores do efeito estufa e propor novas soluções para a habitação, atendendo aos princípios do desenvolvimento sustentável.

## 5 Considerações finais

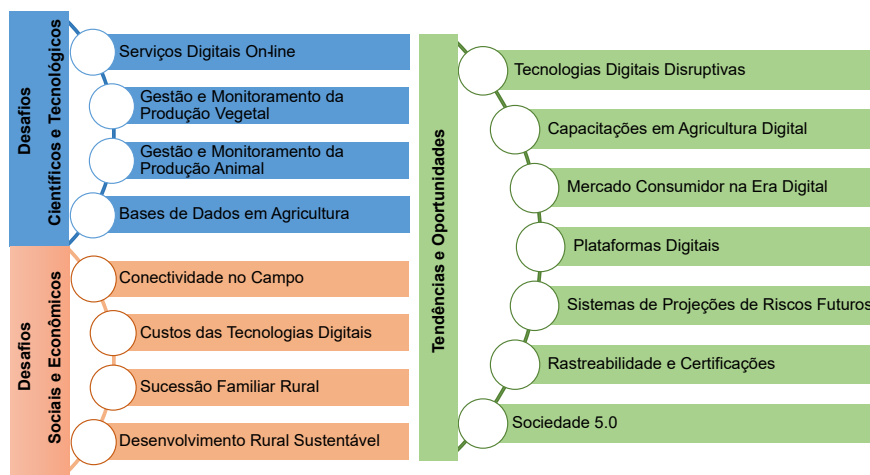
O Brasil já possui papel inovador no contexto mundial na transformação digital da agricultura. Aplicativos móveis dão suporte à tomada de decisão sobre inúmeras práticas envolvendo a produção animal e vegetal. O uso de aplicativos tem auxiliado cada vez mais o monitoramento das condições fitossanitárias, a aplicação de defensivos, o controle biológico, o bem-estar animal, o manejo do solo e a gestão da irrigação. Atividades de planejamento associado ao Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) e ao Cadastro Ambiental Rural (CAR) já fazem parte do dia a dia das propriedades rurais. Esses instrumentos apoiam o planejamento do uso e ocupação da terra, a recuperação de áreas degradadas, a implantação de sistemas agrícolas mais resilientes e de baixa emissão de carbono, a exemplo da integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e do plantio direto.

Porém, ainda existem importantes desafios científicos, tecnológicos, sociais e econômicos a serem superados para que a transformação digital da agricultura brasileira possa integrar as diferentes classes e regiões agrícolas. Também são inúmeras as oportunidades para que institutos de pesquisa, universidades, empresas, startups, cooperativas, associações e sindicatos gerem soluções digitais mais integradas para planejamento, manejo, colheita e comercialização de produtos como leite, mel, ovos, carnes, grãos, frutas, açúcar, biocombustíveis, fibras, madeiras e celulose (Figura 2).

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, da comercialização ao transporte, e da distribuição aos consumidores finais.

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

**Figura 2.** Principais desafios e oportunidades na transformação digital da agricultura brasileira.



sanitária e nutricional dos alimentos. Gestores públicos e privados, empresários, prestadores de serviços e agricultores necessitam cada vez mais considerar, em suas decisões, os aspectos da transformação digital e suas implicações e interligações com os demais elos das cadeias produtivas e a segurança alimentar. Gigantes do comércio eletrônico têm aproveitado a capacidade já instalada em logística e distribuição para comercializar produtos alimentares em determinados centros urbanos mundiais. No entanto, deverão persistir as “lacunas digitais” entre as famílias mais pobres e as mais ricas, assim como entre as populações rurais e urbanas.

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 cognitiva para acompanhamento da produção;
- Análises multiescalares e multifontes dos riscos agrícolas;
- Monitoramento das propriedades em tempo real por sensoria-mento remoto;
- Sistemas de predição de manutenção de máquinas e equipamentos;
- Processamento de *big data* e *small data* agrícolas em nuvem;
- Plataformas de comercialização via circuitos curtos integrando os produ-tores aos consumidores;
- Aplicativos de ensino e trabalho a distância com segurança de procedi-mentos administrativos e interação social de equipes;
- Tecnologias de *blockchain* e criptografia digital para a segurança de tran-sações comerciais e a rastreabilidade de produtos e alimentos;
- Sistemas de gestão técnico-financeiro considerando aspectos econômicos, ambientais e sociais da propriedade;

- Segurança e privacidade de dados e informações geradas em todos os processos digitais.

Dessa forma, a transformação digital da agricultura brasileira terá um papel ainda mais relevante nos próximos anos na produção de alimentos, fibras e energia em maior quantidade, qualidade e com sustentabilidade.

## 6 Referências

ADÃO, T.; HRUŠKA, J.; PÁDUA, L.; BESSA, J.; PERES, E.; MORAIS, R.; SOUSA, J.J. Hyperspectral imaging: a review on UAV-based sensors, data processing and applications for agriculture and forestry. **Remote Sensing**, v. 9, article 1110, 2017. DOI: [10.3390/rs9111110](https://doi.org/10.3390/rs9111110).

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (Brasil). **Relatório e comparação internacional**. Brasília, DF, 2020. 19 p. Disponível em: <https://www.anatel.gov.br/dados/relatorios-de-acompanhamento/2020>. Acesso em: 14 out. 2020.

ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; GOMES, R. da C.; MACEDO, M. C. M.; PEREIRA, M. de A.; FERREIRA, A. D.; BUNGENSTAB, D. J. **50 perguntas, 50 respostas sobre a Carne Carbono Neutro (CCN)**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 29 p.

ASSAD, E. D.; OLIVEIRA, A. F.; NAKAI, A. M.; PAVÃO, E. J.; MONTEIRO, J. E.; PELLEGRINO, G. Q. Impactos e vulnerabilidades da agricultura brasileira as mudanças climáticas. In: TEIXEIRA, B. S.; ORSINI, J. A. M.; CRUZ, M. R. (ed.). **Modelagem climática e vulnerabilidades setoriais à mudança do clima no Brasil**. Brasília, DF: Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação, 2016. 590 p. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/804/o/ModelagemClimticaeVulnerabilidadeSetoriaisMudanadoClimanoBrasil.pdf?1528299061>. Acesso em: 14 out. 2020.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil**. Brasília, DF: BNDES; MCTIC: McKinsey/Fundação CPqD: Pereira Neto Macedo, 2017. 65 p. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/onde-atuamos/inovacao/internet-das-coisas>. Acesso em: 14 out. 2020.

BARBEDO, J. G. A. A review on the use of unmanned aerial vehicles and imaging sensors for monitoring and assessing plant stresses. **Drones**, v. 3, n. 2, article 40, 2019a. DOI: [10.3390/drones3020040](https://doi.org/10.3390/drones3020040).

BARBEDO, J. G. A. Detection of nutrition deficiencies in plants using proximal images and machine learning: A review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 162, p. 482-492, July 2019b. DOI: [10.1016/j.compag.2019.04.035](https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.035).

BARBEDO, J. G. A.; KOENIGKAN, L. V. Perspectives on the use of unmanned aerial systems to monitor cattle. **Outlook on Agriculture**, v. 47, n. 3, p. 214-222, June 2018. DOI: [10.1177/0030727018781876](https://doi.org/10.1177/0030727018781876).

BARBEDO, J. G. A.; KOENIGKAN, L. V.; SANTOS, P. M.; RIBEIRO, A. R. B. Counting Cattle in UAV Images-Dealing with Clustered Animals and Animal/Background Contrast Changes. **Sensors**, v. 20, n. 7, article 2126, 2020. DOI: [10.3390/s20072126](https://doi.org/10.3390/s20072126).

BARBEDO, J. G. A.; KOENIGKAN, L. V.; SANTOS, T. T.; SANTOS, P. M. A study on the detection of cattle in UAV images using deep learning. **Sensors**, v. 19, article 5436, 2019. DOI: [10.3390/s19245436](https://doi.org/10.3390/s19245436).

BAYINDIR, L. A review of swarm robotics tasks. **Neurocomputing**, v. 172, p. 292-321, 2016. DOI: [10.1016/j.neucom.2015.05.116](https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.05.116).

BECHAR, A.; VIGNEAULT, C. Agricultural robots for field operations: Concepts and components. **Biosystems Engineering**, v. 149, p. 94-111, 2016. DOI: [10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014).

BOCK, C. H.; BARBEDO, J. G. A.; DEL PONTE, E. M.; BOHNENKAMP, D.; MAHLEIN, A.-K. From visual estimates to fully automated sensor-based measurements of plant disease severity. **Phytopathology Research**, v. 2, n. 9, Apr. 2020. DOI: [10.1186/s42483-020-00049-8](https://doi.org/10.1186/s42483-020-00049-8).

BOLFE, E. Application of geotechnologies in the development of sustainable agriculture in Brazil. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 6, p. 458-463, 2019. DOI: [10.22161/ijaers.612.53](https://doi.org/10.22161/ijaers.612.53).

BOLFE, E. L.; JORGE, L. A. C.; SANCHES, I.; COSTA, C. C. DA; LUCHIARI JR., A.; VICTÓRIA, D.; INAMASU, R.; GREGO, C.; FERREIRA, V.; RAMIREZ, A. **Agricultura digital no Brasil: tendências, desafios e oportunidades: resultados de pesquisa online**. Campinas: Embrapa, 2020. 44 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agropensa/produtos-agropensa>. Acesso em: 14 out. 2020.

BOLFE, E.; MASSRUHÁ, S. A transformação digital e a sustentabilidade agrícola. **Agroanalysis**, v. 40, p. 32-34, mar. 2020.

BRASIL. **Decreto Federal nº 9.013 de 2017**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/decreto/d9013.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9013.htm). Acesso em: 15 mar. 2020.

BRASIL. **Decreto Presidencial nº 9.854 de 2019a**. Institui o Plano Nacional de Internet das Coisas e dispõe sobre a Câmara 4.0. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9854.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9854.htm). Acesso em: 14 maio 2020.

BRASIL. **Lei Federal nº 10.831 de 2003**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/organicos/legislacao/portugues/lei-no-10-831-de-23-de-dezembro-de-2003.pdf/view>. Acesso em: 15 mar. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29** projeções de longo prazo. Brasília, DF: MAPA/ACE, 2019b. 126 p.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Câmara Agro 4.0**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/47656442/mapa-e-mctic-promovem-primeira-reuniao-da-camara-do-agro-40>. Acesso em: 5 maio 2020b.

BRASIL. **Projeto de Lei nº 172 de 2020**. Altera a Lei Geral de Telecomunicações e a Lei do Fust. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/140555>. Acesso em: 10 maio 2020a.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ. Centro de Estudos Avançados em Economia Agrícola. **Coronavírus e o agronegócio – covid-19 e agroalimentos: recalibrando expectativas**. Piracicaba, 2020. 16 p.

CHEN, K.; WANG, Y.; ZHANG, R.; ZHANG, H. E.; GAO, C. CRISPR/Cas Genome Editing and Precision Plant Breeding in Agriculture. **Annual Review of Plant Biology**, v. 70, p. 667-697, 2019. DOI: [10.1146/annurev-arplant-050718-100049](https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100049).

CONECTARAGRO. **Agricultura 4.0**. Disponível em: <https://conectaragro.com.br/>. Acesso em: 14 maio 2020.

COSTA, C.; GUILHOTO, J. M. Impactos Potenciais da Agricultura de Precisão sobre a Economia Brasileira. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 10, p. 177-204, 2013. DOI: [10.25070/rea.v10i2.201](https://doi.org/10.25070/rea.v10i2.201).

DEBOER, J. **Precision agriculture for sustainability**. Cambridge, United Kingdom: Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 2019. 514 p.

DUNCOMBE, R. Mobile phones for agricultural and rural development: a literature review and suggestions for future research. **European Journal of Development Research**, v. 28, p. 213-235, 2016. DOI: [10.1057/ejdr.2014.60](https://doi.org/10.1057/ejdr.2014.60).

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **AgroAP**. Campinas, 2019a. Disponível em: <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/>. Acesso em: 24 maio 2020.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Digipathosrep**. Campinas, 2019b. Disponível em: <https://www.digipathos-rep.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 10 maio 2020.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **SCenAgri**. Campinas, 2020a. Disponível em: <https://www.scenagri.cnptia.embrapa.br/scenagri/publico/login.xhtml>. Acesso em: 13 maio 2020.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Soluções tecnológicas**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/informatica-agropecuaria/solucoes-tecnologicas>. Acesso em: 14 maio 2020b.

EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO. **Soluções tecnológicas**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/instrumentacao/solucoes-tecnologicas>. Acesso em: 14 maio 2020.

EMBRAPA MEIO AMBIENTE. **Soluções tecnológicas**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/meio-ambiente/solucoes-tecnologicas>. Acesso em: 14 maio 2020.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Soluções tecnológicas**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/territorial/solucoes-tecnologicas>. Acesso em: 14 maio 2020.

EMBRAPA. **Portfólios de P&D da Embrapa**: desafios de inovação. Brasília, DF: SPD/Idiare, 2019.

EMBRAPA. **Rede AP**. 2018b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-automacao-e-agricultura-de-precisao>. Acesso em: 14 maio 2020.

EMBRAPA. **Visão 2030**: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF, 2018a. 212 p.

FAO. **Good Agricultural Practice – GAP**. 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i6677e.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

FAO. **The place of urban and peri-urban agriculture in national food security programmes**. 2011. 60 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i2177e/i2177e00.pdf>. Acesso em: 14 maio 2020.

FRASER, E.; CAMPBELL, M. Agriculture 5.0: reconciling production with planetary health. **One-earth**, v.1, n. 3, p. 278-280, Nov. 2019. Disponível em: DOI: [10.1016/j.oneear.2019.10.022](https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.022). Acesso em: 19 maio 2020.

FOOD SAFETY SYSTEM CERTIFICATION. **Food Safety System Certification 22000**. 2019. Disponível em: <https://www.fssc22000.com>. Acesso em: 10 mar. 2020.

FUNDAÇÃO ABC. **SigmaABC**. 2020. Disponível em: <https://www.sigmaabc.org/>. Acesso em: 24 maio 2020.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Agricultura 4.0. **Revista Fapesp**, ed. 287, jan. 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/2020/01/02/agricultura-4-0/>. Acesso em: 15 de maio 2020.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Rede de repositório de dados**. São Paulo, 2019. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/fapesp-lanca-rede-de-repositorios-de-dados-cientificos-do-estado-de-sao-paulo/32251/>. Acesso em: 10 maio 2020.



GASQUES, J. G.; BACCHI, M. P. R.; RODRIGUES, L.; BASTOS, E. T.; VALDEZ, C. Produtividade da agricultura brasileira: a hipótese da desaceleração. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (org.). **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília, DF: Ipea, 2016. p. 143-163.

GHINI, R.; BETTIOL, W.; HAMADA, E. Diseases in tropical and plantation crops as affected by climate changes: current knowledge and perspectives. **Plant Pathology**, v. 60, p. 122-132, 2011a. DOI: [10.1111/j.1365-3059.2010.02403.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02403.x).

GHINI, R.; HAMADA, E.; PEDRO JR., M.; GONÇALVES, R. Incubation period of *Hemileia vastatrix* in coffee plants in Brazil simulated under climate change. **Summa Phytopathologica**, v. 37, n. 2, p. 85-93, Apr./June 2011b. DOI: [10.1590/S0100-54052011000200001](https://doi.org/10.1590/S0100-54052011000200001).

HOUBORG, R.; MCCABE, M. F. High-resolution NDVI from planet's constellation of earth observing nano-satellites: a new data source for precision agriculture. **Remote Sensing**, v. 8, n. 9, article 768, 2016. DOI: [10.3390/rs8090768](https://doi.org/10.3390/rs8090768).

HUUSKONEN, J.; OKSANEN, T. Soil sampling with drones and augmented reality in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 154, p. 25-35, 2018. DOI: [10.1016/j.compag.2018.08.039](https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.039).

IBGE. **Censo agropecuário 2017**. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>. Acesso em: 5 maio 2020.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (Brasil). **Legislações de indicação geográfica**. 2019. Disponível em: <http://www.inpi.gov.br/menu-servicos/indicacao-geografica>. Acesso em: 10 maio 2020.

INTERNATIONAL FUND FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT. **Covid-19**. 2020. Disponível em: <https://www.ifad.org/en/covid19>. Acesso em: 10 maio 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. 2019. Disponível em: <https://www.iso.org/home.html>. Acesso em: 10 mar. 2020.

IRWIN, A. **Citizen science: a study of people, expertise and sustainable development**. London: Routledge, 2002. 216 p.

KLERKXA, L.; ROSEB, D. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0. **Global Food Security**, v. 24, n.3, p. 1-7, Mar. 2020. DOI: [10.1016/j.gfs.2019.100347](https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347).

LIAKOS, K. G.; BUSATO, P.; MOSHOV, D.; PEARSON, S.; BOCHTIS, D. Machine learning in agriculture: a review. **Sensors**, v. 18, n. 8, article 2674, 2018. DOI: [10.3390/s18082674](https://doi.org/10.3390/s18082674).

LIN, Y. P.; PETWAY, J. R.; ANTHONY, J.; MUKHTAR, H.; LIAO, S. W.; CHOU, C. F.; HO, Y. F. Blockchain: the evolutionary next step for ICT e-agriculture. **Environments**, v. 4, article 50, 2017. DOI: [10.3390/environments4030050](https://doi.org/10.3390/environments4030050).

MAHLEIN, A.-K. Plant disease detection by imaging sensors – parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping. **Plant Disease**, v. 100, n. 2, p. 241-251, Jan. 2016. DOI: [10.1094/PDIS-03-15-0340-FE](https://doi.org/10.1094/PDIS-03-15-0340-FE).

MARIN, F. R.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 232-239, fev. 2013. DOI: [10.1590/S1415-43662013000200015](https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000200015).

MCKINSEY CONSULTORIA. **Nossas publicações**. 2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com.br>. Acesso em: 14 maio 2020.

MILLER, G. A.; HYSLOP, J. J.; BARCLAY, D.; EDWARDS, A.; THOMSON, W.; DUTHIE, C.-A. Using 3D imaging and machine learning to predict liveweight and carcass characteristics of live finishing beef cattle. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 3, May 2019. DOI: [10.3389/fsufs.2019.00030](https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00030).

NAÇÕES UNIDAS **The 2030 Agenda for Sustainable Development in the new global and regional context**: scenarios and projections in the current crisis. Santiago: Economic Commission for Latin America and the Caribbean, 2020. 61 p.

NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em: 5 maio 2020.

PRESKILL, J. Quantum computing in the NISQ era and beyond. **Quantum**, v. 2, n. 79, 2018. DOI: [10.22331/q-2018-08-06-79](https://doi.org/10.22331/q-2018-08-06-79).

PWC BRASIL. **Empresas familiares e plano de sucessão**. 2019. Disponível em: <https://www.pwc.com.br/pt/sala-de-imprensa/artigos/empresas-familiares-e-plano-de-sucessao.html>. Acesso em: 6 maio 2020.

RAHMAN, A.; SMITH, D. V.; LITTLE, B.; INGHAM, A. B.; GREENWOOD, P. L.; BISHOP-HURLEY, G. J. Cattle behaviour classification from collar, halter, and ear tag sensors. **Information Processing in Agriculture**, v. 5, n. 1, p. 124-133, Mar. 2018. DOI: [10.1016/j.inpa.2017.10.001](https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.10.001).

REINA, G.; MILELLA, A.; ROUVEURE, R.; NIELSEN, M.; WORST, R.; BLAS, M. R. Ambient awareness for agricultural robotic vehicles. **Biosystems Engineering**, v. 146, p. 114-132, June 2016. DOI: [10.1016/j.biosystemseng.2015.12.010](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.12.010).

ROOPAEEI, M.; RAD, P.; CHOO, K. R. Cloud of Things in Smart Agriculture: Intelligent Irrigation Monitoring by Thermal Imaging. **IEEE Cloud Computing**, v. 4, n. 1, p. 10-15, Mar. 2017. DOI: [10.1109/MCC.2017.5](https://doi.org/10.1109/MCC.2017.5).

ROSE, D. C.; SUTHERLAND, W. J.; PARKER, C.; LOBLEY, M.; WINTER, M.; MORRIS, C.; TWINING, S.; FFOULKES, C.; AMANO, T.; DICKS, L. V. Decision support tools for agriculture: Towards effective design and delivery. **Agricultural Systems**, v. 149, p. 165-174, Nov. 2016. DOI: [10.1111/soru.12233](https://doi.org/10.1111/soru.12233).

ROTZ, S.; DUNCAN, E.; SMALL, M.; BOTSCHNER, J.; DARA, R.; MOSBY, I.; REED, M.; FRASER, E. D. The Politics of Digital Agricultural Technologies: A Preliminary Review. **Sociologia Ruralis**, v. 59, p. 203-229, Feb. 2019. DOI: [10.1111/soru.12233](https://doi.org/10.1111/soru.12233).

SEBRAE. **SebraeTec**. 2019. Disponível em: <http://www.sistemasebraetec.sebrae.com.br/>. Acesso em: 14 maio 2020.

SEENAR. **EAD**. 2019. Disponível em: <http://ead.seenar.org.br/cursos/agricultura-de-precisao/>. Acesso em: 25 maio 2020.

SILVERTOWN, J. A new dawn for citizen science. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 24, n. 9, p. 467-471, 2009. DOI: [10.1016/j.tree.2009.03.017](https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.017).

THOMAS, S.; KUSKA, M. T.; BOHNENKAMP, D.; BRUGGER, A.; ALISAAC, E.; WAHABZADA, M.; BEHMANN, J.; MAHLEIN, A.-K. Benefits of hyperspectral imaging for plant disease detection and plant protection: a technical perspective. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 125, p. 5-20, 2018. DOI: [10.1007/s41348-017-0124-6](https://doi.org/10.1007/s41348-017-0124-6).

TZOUNIS, A.; KATSIOULAS, N.; BARTZANAS, T.; KITTAS, C. Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. **Biosystems Engineering**, v. 164, p. 31-48, Dec. 2017. DOI: [10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007).

UNITED NATIONS GLOBAL COMPACT - UNGC. **Digital agriculture**. 2017. <http://breakthrough.unglobalcompact.org/disruptive-technologies/digital-agriculture>. Acesso em: 19 maio 2020.

WOERNER, S; EGGER, D. Quantum risk analysis. **Quantum Information**, n. 5, article 15, Feb. 2019.

WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M. J. Big data in smart farming – a review. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 69-80, May 2017. DOI: [10.1016/j.agsy.2017.01.023](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023).

WORLD ECONOMIC FORUM. **Modern society has reached its limits. Society 5.0 will liberate us.** 2019. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2019/01/modern-society-has-reached-its-limits-society-5-0-will-liberate-us/>. Acesso em: 19 maio 2020.

ZHANG, Y. Grorec: a group-centric intelligent recommender system integrating social, mobile and big data technologies. **IEEE Transactions on Services Computing**, v. 9, n. 5, p. 786-795, Sept./Oct. 2016. DOI: [10.1109/TSC.2016.2592520](https://doi.org/10.1109/TSC.2016.2592520).