

capítulo

1 Agricultura Digital

Antônio Mauro Saraiva
Alexandre Cláudio Botazzo Delbem
Fernando Santos Osório
Roberto Fray da Silva



Introdução

O que hoje é chamado de Agricultura Digital, resulta de um longo processo de evolução, tanto do setor agrícola (em sentido amplo, ou agropecuário, ou agronegócio) como das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs)¹. Segue o que ocorreu com a indústria, na qual hoje correntemente dizemos que estamos, pelo menos, na fase da Indústria 4.0 (Quarta Revolução Industrial) (Figura 1.1).

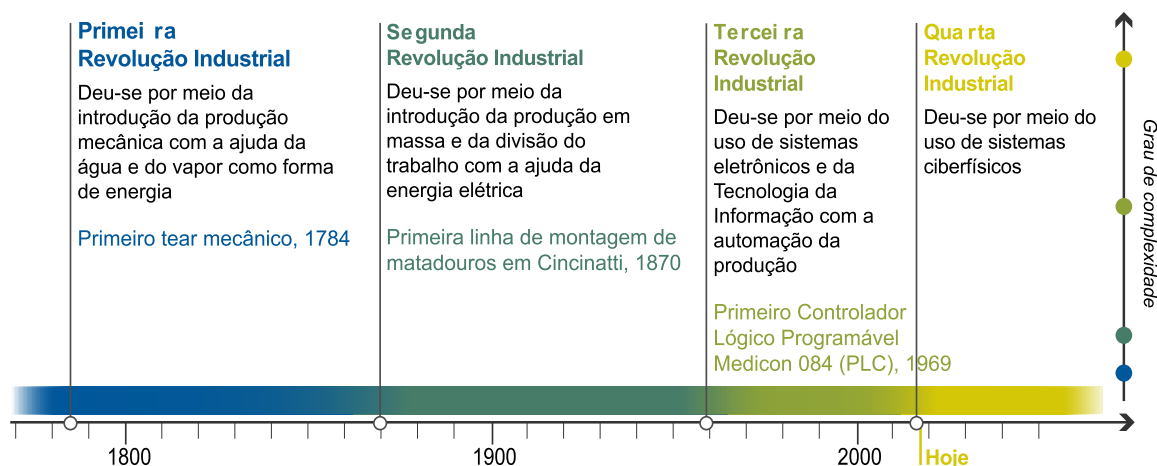


Figura 1.1. A Revolução Industrial e a Quarta Revolução.

Fonte: Adaptado de Rameshwar (2021).

No setor industrial, tivemos as seguintes fases, as quais são relacionadas a grandes saltos na forma de se produzir, no manuseio, nos recursos empregados e na automação (Indústria [...], 2023):

Primeira revolução: Produção mecânica com energia a vapor e hídrica.

Segunda revolução: Produção em massa com energia elétrica, petróleo e novos materiais.

Terceira revolução: Introdução da Tecnologia da Informação na automação e produção industrial.

Quarta revolução: Produção flexível, customizada e interconectada, com Internet das Coisas (ou IoT, do inglês Internet of Things), robôs inteligentes, conectividade (dados na nuvem) de células de trabalho e fábricas, projetos CAD (Computer aided design) / CAE (engineering) / CAM (manufacturing) / CAP (planning) / CIM (Computer integrated manufacturing), uso da Inteligência Artificial, uso da manufatura aditiva (impressoras 3D), dentre outros.

Note que as etapas de evolução/revolução são o resultado da introdução de novos recursos tecnológicos, que na fase mais avançada e mais recente da história,

¹ SARAIVA. **Agricultura Digital**. 2021. Apresentação. Disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1N9FMBByC-HTwfc1UWGL47vKLc_4l8fCKU; SARAIVA. **Desafios tecnológicos para inteligência artificial no agronegócio sustentável**. 2021. Apresentação. Disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1N9FMBByC-HTwfc1UWGL47vKLc_4l8fCKU

acaba por integrar a produção com uma maior automação e com um maior uso das tecnologias da informação e comunicação. Estas permitem otimizar, incrementar a produção, e atender mais especificamente às necessidades e demandas de mercado, permitindo a customização da produção.

Existem paralelos à Revolução Industrial em outras áreas, como nas áreas da saúde e do agronegócio. Mas, ao contrário de outras áreas de atividade, que foram mais velozes na adoção das TICs em suas atividades e processos, a agricultura, genericamente falando, ainda é uma das menos digitalizadas (Krishnan, 2017). Cumpre notar que essa situação é bastante diversificada entre os diferentes países e setores do agronegócio, e que esse cenário tem mudado rapidamente nos últimos anos com a adoção das TICs no setor.

Definição e evolução

Na agricultura, desde seu surgimento, tivemos uma grande evolução ao longo dos milênios e, em especial, nos séculos e décadas mais recentes. Uma possível denominação para as principais fases dessa evolução, é:

Agricultura 1.0: Extrativismo e trabalho manual.

Agricultura 2.0: Plantio, preparo do solo, insumos/adubos, irrigação e uso da tração animal.

Agricultura 3.0: Mecanização, seleção de sementes e produção em larga escala.

Agricultura 4.0: Melhoramento genético, gestão com automação e dados (clima, insumos, recursos naturais), preocupação com a produtividade e a sustentabilidade (alimentos saudáveis), coleta de dados e primeiras iniciativas da Agricultura de Precisão (AP).

Agricultura 5.0: Uso intensivo da Tecnologia da Informação, com as quais há uso intensivo de dados (agricultura movida a dados, ou *data-driven*; dados de solo, clima, sementes, fertilizantes, agroquímicos e de produtividade); adoção de tecnologias digitais emergentes (como drones, robôs agrícolas inteligentes, processamento avançado de imagens, análise de solo/clima com dados em tempo real), sistemas baseados em Inteligência Artificial e sistemas preditivos. (Massruhá et al., 2017, 2020; Grego et al., 2020).

Atualmente, temos uma convergência para uma Agricultura Digital, na qual não se pode mais separar a produção agrícola do uso intensivo de tecnologias e dados digitais, que permitem ir dos dados à tomada de decisão, automatizar, otimizar, produzir mais,

com menor custo, com melhor qualidade, com mais eficiência no uso de recursos naturais e insumos e, inclusive, com maior resiliência às variações climáticas.

Esse é o futuro, e o avanço no agronegócio certamente estará vinculado à Agricultura Digital. É importante destacar que ela engloba não apenas as atividades dentro da porteira, como a produção animal e vegetal, mas também os demais processos da cadeia de suprimentos, antes e depois da produção no campo: processamento, transporte, armazenamento e distribuição ao consumidor final.

Embora este tenha sido um processo contínuo de evolução, pode-se dizer que há um ponto de inflexão nessa curva. A partir dos anos 1990, a Agricultura de Precisão (AP) experimentou um notável desenvolvimento impulsionado pela tecnologia digital já existente. Esse período representou um marco na transição para a Agricultura Digital, uma vez que a AP demandava a utilização intensiva de sistemas de coleta de dados em campo, sistemas de controle em máquinas para aplicação variável de insumos e sistemas de informação para lidar com uma enorme quantidade de dados em escalas espaciais e temporais. A AP impulsionou a digitalização da agricultura ao criar um mercado significativo e aproveitar a maturidade da tecnologia, previamente aplicada em outros setores, agora acessível a um custo mais baixo para adoção no campo.

Este cenário desencadeou um crescimento expressivo no desenvolvimento de equipamentos e sistemas para a coleta automatizada de dados, controle automático e gestão de informações para o auxílio à tomada de decisões, seguindo padrões observados em outros setores e indústrias. Mais recentemente, observou-se também a proliferação de aplicativos para plataformas móveis, como smartphones e tablets, destinados a diversas atividades no agronegócio.

De acordo com o relatório de Dias et al. (2023), o Brasil abrigava 1.125 startups voltadas para o agronegócio, das quais 47% focavam em tecnologias para a pós-produção agropecuária, 35% estavam voltadas para apoiar atividades em empresas agrícolas e 18% se concentravam em atividades "antes da porteira". Todas essas iniciativas demandam e fazem uso intensivo de dados e tecnologias de informação.

No entanto, a geração, coleta, processamento e extração de conhecimento a partir dos dados estão diretamente condicionados a fatores como a acessibilidade e qualidade desses dados. Especialmente nas cadeias agrícolas existem lacunas importantes em termos de padronização dos dados (essencial para a interoperabilidade de máquinas e soluções diversas usadas pelos atores da cadeia), acessibilidade, regulamentação, privacidade e métodos de avaliação da qualidade dos dados. Esses pontos serão abordados em maior detalhe nos próximos capítulos deste livro. Na seção subsequente, exploraremos, de maneira

concisa, algumas das principais tecnologias relacionadas à digitalização na agricultura, destacando exemplos e referências significativas de trabalhos científicos nessa área.

Tecnologias digitais para a agricultura

Existem diferentes tecnologias digitais, que convergem para a Agricultura Digital, integrando automação, robotização, sensores embarcados em implementos/robôs/drones, sensores posicionados no terreno, sensores remotos (imageamento por satélite) e aquisição/processamento/análise e integração de dados (locais e remotos). Os dados são o elemento essencial para que se possa tomar decisões, otimizar processos e fazer previsões.

Entretanto, apenas os dados brutos não têm valor em si, pois precisam ser tratados, contextualizados, transformados, integrados e processados a fim de se lhes agregar valor. O conhecido modelo DIKW, do inglês *Data, Information, Knowledge, Wisdom* (Figura 1.2), ilustra bem esta questão referente a agregar valor aos dados. Seus componentes são (Wiki/DIKW Pyramid, 2023):

Data (Dado): os dados são apenas números e valores gerados pelos sensores, processos e atividades.

Information (Informação): a informação permite contextualizar o dado, associando o valor com seu significado e contexto. Por exemplo, dados de localização de GPS, dados locais/temporais de clima com temperatura e umidade, dados de sensores e imagens geolocalizadas e contextualizadas no tempo.

Knowledge (Conhecimento): estabelece relações, correlações entre dados e permite uma melhor tomada de decisão e análise das informações.

Wisdom (Inteligência/Sabedoria): melhor entendimento de relações de causa e efeito e maior qualidade de estimativas e previsões.

O modelo DIKW destaca o “valor” dos dados quando tratados como informações, conhecimento e inteligência, que permitem assim agregar mais valor aos negócios. Isso nos leva a questões sensíveis, como por exemplo: a propriedade dos dados, privacidade, transparência, interoperabilidade (uso e troca de dados entre plataformas) e compartilhamento dos dados.

Quanto mais dados estiverem disponíveis, mais detalhados e confiáveis serão. De forma análoga, quanto melhores os conhecimentos e modelos disponíveis que integram estes dados, melhor poderão ser utilizados na tomada de decisões e na realização de estimativas e previsões futuras. Boas decisões e boas previsões são essenciais para otimizar a produção, além de apresentar um grande impacto econômico: dados valem muito, se soubermos como usá-los.

A seguir, apresentamos alguns exemplos de dados, tecnologias e seus respectivos impactos na agricultura.

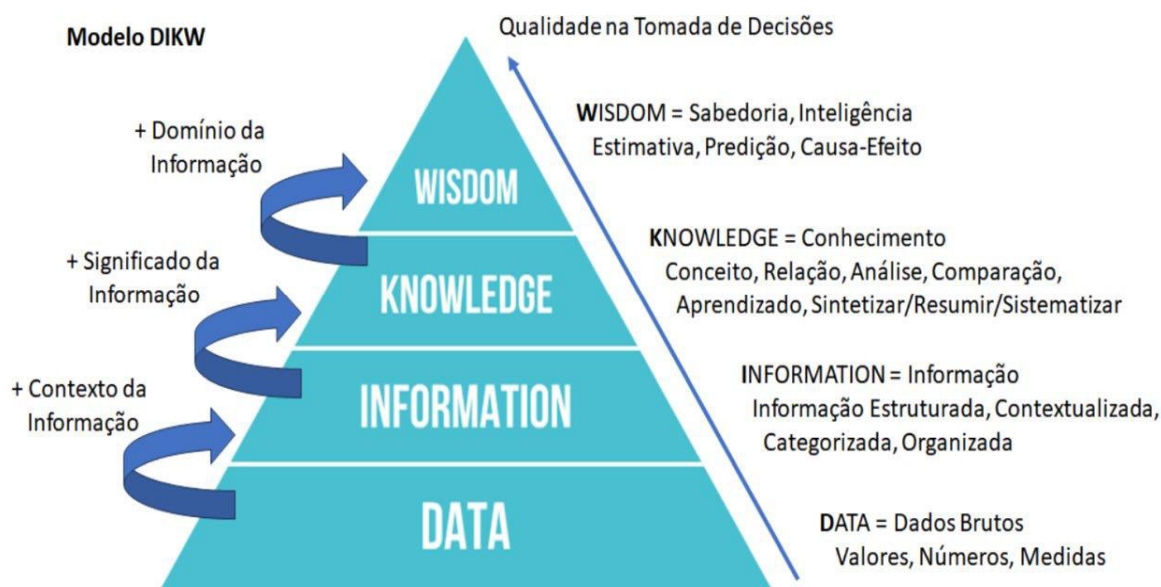


Figura 1.2. Modelo DIKW (Dado, Informação, Conhecimento e Inteligência, do inglês: Data, Information, Knowledge and Wisdom).

Informações climáticas

As informações climáticas são estratégicas, pois o clima tem grande impacto sobre as culturas agrícolas. Porém, a previsão climática pode ter ainda mais valor, pois permite que importantes decisões sejam tomadas. Por exemplo, decisões sobre irrigar ou não, quanto e quando fazê-lo, seu impacto sobre a aplicação de insumos (semeadura, defensivos, fertilizantes), dentre outros. A tomada de decisões será impactada pela qualidade da informação e conhecimentos disponíveis no momento, mas também sobre nossa capacidade de previsão e estimativas futuras, resultando em uma inteligência estratégica.

Tradicionalmente, informações climáticas são coletadas localmente por meio de estações meteorológicas ou sensores individuais em dispositivos IoT. No entanto, apesar de o clima apresentar um impacto local, os modelos de previsão devem também considerar informações globais, pois o clima sofre a influência de fatores externos mais amplos e não apenas locais.

Dados climáticos locais detalhados, dados históricos e dados integrados, reunidos em grandes bases de dados, ajudam a criar modelos climáticos mais precisos

e confiáveis. E, quando falamos em dados climáticos, temos que considerar não somente temperatura, umidade do ar e precipitação, mas também ventos, radiação solar, tipo de terreno, tipo de solo, modelos de radiação (radiação solar com absorção e reflexão), imagens de satélites e tantos outros parâmetros. Quem é o “dono” dos dados (dados locais, globais, integrados)? E quem é capaz de, na posse desses dados, gerar e disponibilizar previsões confiáveis, específicas e localizadas do clima?

Estamos falando aqui de redes de sensores (locais, estáticos e móveis) conectados para a coleta e distribuição de dados e de modelos de previsão climática acessíveis ao produtor. É a Agricultura Digital que se beneficia de tecnologias, de dados e de modelos climáticos, para assim otimizar a produção, reduzir o consumo de recursos naturais e insumos, aumentar a produção e aumentar os lucros.

Informações de solo

As informações de solo são estratégicas na produção agrícola, sejam estas informações sobre o tipo de solo (constituição, gênese, componentes, nutrientes) ou sobre o seu estado (umidade, microbiota). Estas informações podem ser coletadas por robôs inteligentes ou mesmo por implementos agrícolas inteligentes que coletam dados ao mesmo tempo em que realizam outras funções. Destacamos aqui que tais informações podem ajudar a estimar a produtividade das culturas e a precificar o valor do terreno. Também podem indicar a necessidade de uma melhor reposição de nutrientes ou de irrigação.

As tecnologias de aquisição de dados são fundamentais para a análise de informações do solo, e aqui novamente temos questões sobre a propriedade destes dados (produtor rural, fabricante do implemento agrícola, terceiros?), e sobre o valor que estes dados podem ter para diferentes atores da cadeia.

Informações de produtividade

As informações sobre produtividade e produção das culturas, tanto as medidas como sua previsão, têm um grande valor agregado. A estimativa de produção pode indicar a efetividade dos processos de produção (escolha de sementes, insumos, irrigação, tipo de solo e considerações sobre o clima), que são concretizados na colheita. Estes dados da previsão de produção têm impactos inclusive junto à bolsa de valores e mercado futuros,

influenciando nos preços e cotações de *commodities* agrícolas². Portanto, os dados de previsão e estimativa podem impactar de modo significativo no mercado agrícola, com indicadores que apontam para altas ou quebras de produção.

As tecnologias de automação permitem a aquisição automatizada de dados sobre a produção: com imagens capturadas por veículos agrícolas inteligentes podemos contar os frutos ainda em desenvolvimento junto à plantação; com imagens de drones podemos fazer a contagem de árvores, mudas e plantas considerando seu estado de desenvolvimento (e identificando até mesmo problemas relacionados à presença de pragas, à irrigação e à adubação); com drones ou com veículos terrestres capturando imagens e dados de sensores do tipo LIDAR (laser), podemos estimar a biomassa em plantações e florestas, como, por exemplo, em cana-de-açúcar e eucalipto. Os monitores de colheita na Agricultura de Precisão, disponíveis principalmente para grãos e cana-de-açúcar, foram possivelmente o principal motor da AP pois permitem verificar a variabilidade espacial da produção dentro dos talhões. Sensores instalados nas colhedoras conseguem medir a massa ou o volume colhido à medida que a máquina faz a colheita e se desloca no campo, permitindo obter um mapa da produtividade; equipamentos como as colhedoras podem mensurar em tempo real a quantidade produzida e colhida. Essa informação também possui um alto valor agregado, pois é um indicativo de produtividade em cada local de um determinado terreno ou talhão e do manejo agrícola realizado. A integração de dados da Agricultura Digital permite a melhoria da produção, aumento da produtividade, otimização dos custos, diminuição de impactos ambientais, inclusive tendo impactos sobre preços e até mesmo sobre a logística de transporte, distribuição e comercialização de produtos.

E quando falamos de dados, sempre é importante pensar na propriedade e compartilhamento dos dados: eles pertencem ao produtor, ou quem sabe, um fabricante de implementos agrícolas também pode ter acesso e obter informações e dados de seus clientes?

Assim como atualmente ferramentas como os mecanismos de busca ou as redes sociais coletam nossas informações, será que estamos prontos para compartilhar informações específicas (e estratégicas) de produção agrícola, e assim abrir os “segredos” da produção/produtividade?

Por um lado, o compartilhamento de informações pode ser interessante para um produtor individualmente, pois é importante que ele possa ter acesso aos dados coletados

² As *commodities* agrícolas podem ser definidas como os produtos oriundos de produções vegetal ou animal, padronizados e negociados com preços definidos pelo mercado com base em oferta e demanda.

pelos diversos equipamentos que possua na propriedade, podendo assim “integrar” informações vindas de diferentes equipamentos e fabricantes (interoperabilidade de dados entre plataformas).

Por outro lado, grupos de produtores, de forma colaborativa, também podem ser beneficiados pelo compartilhamento de dados, informações, conhecimentos e mesmo planejamento de estratégias de produção. Isso nos traz de volta às questões sobre: coleta de dados, propriedade, privacidade, transparência e troca de informações.

Internet das coisas

O uso de tecnologias de Internet das Coisas tem crescido muito na agricultura moderna. IoT pode ser definida, de forma resumida, como o uso de tecnologias que permitem obter informações do ambiente e transferi-las utilizando a Internet, permitindo melhorar a tomada de decisões nos ambientes rurais. As soluções utilizando IoT englobam sensores de diferentes tipos, redes de sensores sem fio (ou WSN, do inglês *Wireless Sensor Networks*), software utilizado para coletar, processar e extrair conhecimento dos dados, e o hardware necessário (seja este in loco ou na nuvem).

É importante notar que as tecnologias de transmissão de dados e os protocolos de comunicação desempenham um papel vital na IoT, permitindo a conexão e comunicação eficiente entre dispositivos, sensores e atuadores. Diversas tecnologias e protocolos são utilizados na IoT, cada um apresentando características, vantagens e limitações próprias. A seguir, discutiremos as principais tecnologias de transmissão de dados e protocolos de comunicação utilizados na IoT. Um ponto importante a ser ressaltado é que a maturidade do uso destas tecnologias pode variar dependendo da região, do setor e do agente específico. A escolha das tecnologias de transmissão de dados e dos protocolos de comunicação a serem utilizados em cada caso específico devem ser analisados considerando-se aspectos como interoperabilidade, escalabilidade, segurança, privacidade e outros fatores relevantes.

Atualmente, existem seis principais tecnologias de transmissão de dados: Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LoRaWAN, NB-IoT e LTE-M. O Wi-Fi opera em frequências entre 2,4 e 5 GHz e é amplamente utilizado em diferentes contextos. Este apresenta alta velocidade de transmissão de dados e ampla cobertura, permitindo a conectividade rápida entre dispositivos IoT e a infraestrutura de rede. É bastante utilizado em ambientes internos e com fonte de energia disponível. Suas principais limitações são: curto alcance e alto consumo energético.

O Bluetooth também é uma tecnologia de transmissão de curto alcance, porém é mais adequada para dispositivos com menor consumo de energia. Este opera na faixa de frequência de 2,4 GHz. O Bluetooth é utilizado principalmente para conectar dispositivos pessoais e dispositivos IoT. Porém, sua velocidade de transmissão de dados e sua cobertura são menores que as do Wi-Fi.

O Zigbee, por outro lado, é um protocolo desenvolvido especificamente para tecnologias IoT. Ele trabalha nas faixas de frequência de 915 MHz ou 2,4 GHz, dependendo da região, e possui ampla cobertura. Desta forma, ele permite a comunicação entre uma grande quantidade de dispositivos dentro de uma rede de malha. Sua principal vantagem é o baixo consumo de energia, preservando as baterias dos dispositivos envolvidos. No entanto, suas duas grandes limitações são a baixa velocidade de transferência de dados e potenciais problemas de interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes.

O LoRaWAN (do inglês *Long Range Wide Area Network*) também é uma tecnologia de baixa potência e reduzida velocidade, desenvolvida especialmente para comunicação de longo alcance em áreas com carência de alternativas para transmissão de dados. Um dos principais casos de uso desta tecnologia é o monitoramento de processos em áreas rurais, englobando monitoramento de talhões e rastreamento de animais. Suas principais vantagens são o grande alcance (possibilitando a comunicação em vários quilômetros) e seu baixo consumo de energia. Suas principais desvantagens são: a taxa de transferência de dados bastante reduzida, os altos custos de implantação e a alta latência na transmissão de dados.

Por fim, as tecnologias NB-IoT (*NarrowBand Internet of Things*) e LTE-M (*Long-Term Evolution for Machines*) são tecnologias de comunicação celular de baixa potência projetadas especificamente para soluções IoT. Estas utilizam redes de telefonia móvel existentes para realizar a transmissão dos dados, permitindo bom alcance, baixo consumo de energia e escalabilidade. Suas principais limitações são: alto custo de implantação e necessidade de cobertura de rede celular no local de uso, impossibilitando o seu uso em diversas áreas agrícolas.

Com relação aos protocolos de comunicação, é importante citar três protocolos bastante utilizados: MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), CoAP (*Constrained Application Protocol*) e AMQP (*Advanced Message Queuing Protocol*). No que diz respeito à maturidade da adoção destes protocolos, o MQTT e o AMQP são amplamente adotados e apresentam uma base estabelecida de implementações

e suporte da comunidade. O CoAP encontra-se em desenvolvimento e ganhando popularidade, mas ainda está em um estágio de adoção mais inicial.

Farooq et al. (2020) exploram em profundidade as aplicações de IoT, descrevendo algumas das principais tecnologias utilizadas atualmente. Segundo esses autores, a maior parte das soluções atuais é utilizada no monitoramento de processos de produção no campo, com foco em agricultura de precisão, monitoramento e controle de irrigação e monitoramento do solo. Outros usos de destaque de IoT nas cadeias agrícolas são: monitoramento e rastreamento de produtos e monitoramento e controle de ambientes, como estufas, armazéns e centros de distribuição.

Entre os principais benefícios do uso de IoT na agricultura, podem-se citar: compartilhamento de informações e tecnologias entre produtores de uma dada região; controle de qualidade e prevenção de fraudes; vantagens competitivas em relação a produtores que não utilizam estas tecnologias; reduções em uso de insumos e geração de resíduos; melhores informações para tomada de decisões em tempo real; reduções de custos na realização de operações; melhor monitoramento dos talhões e animais; eficiência operacional; redução de perdas de produtos; e melhor gestão dos ativos e equipamentos (Elijah et al., 2018).

No que diz respeito aos principais desafios no uso destas tecnologias na agricultura, podem-se destacar: custos de implantação e desenvolvimento; necessidade de mudanças nos processos de produção atuais; necessidade de investimentos em infraestrutura; necessidade de estruturação de novos modelos de negócios; falta de conhecimento sobre as tecnologias e seu uso; falta de interoperabilidade entre soluções IoT; problemas na transmissão dos dados; segurança e privacidade dos dados gerados; qualidade dos dados gerados; confiabilidade das tecnologias implementadas; escalabilidade; otimização no uso dos recursos; e falta de regulamentação (Elijah et al., 2018).

Embora as topologias desses sistemas possam variar, pode-se citar um exemplo de um sistema com quatro etapas que pode ser utilizado em uma solução utilizando IoT em um ambiente agrícola, e que poderia ser utilizado em uma estufa, em plantio convencional ou em produção animal (Elijah et al., 2018).

A primeira etapa do sistema é a coleta de dados, em que diversos sensores no solo, no ar e na planta irão coletar e monitorar variáveis relevantes como temperaturas, umidade e fluxos. Na segunda etapa, estes dados são transferidos a um conjunto central de sensores ou hardware, utilizando diferentes protocolos de comunicação como o LoRa (do inglês *Long Range*). Estes dados são então enviados a um servidor

central ou nuvem, sendo a última a opção mais utilizada. Na terceira etapa, os dados são processados e a informação relevante é extraída. As transformações realizadas e os modelos a serem utilizados na extração do conhecimento dependerão do contexto, do problema em questão e dos dados coletados.

É importante citar que os dados utilizados não precisam ser estruturados ou tabulares, sendo possível utilizar também imagens, vídeos e sons caso necessário. Por fim, na última etapa, o usuário utiliza um aplicativo ou software para visualizar os resultados e realizar o controle do ambiente, caso o contexto permita a realização de ações.

No entanto, é vital observar que estas tecnologias também são utilizadas ao longo de toda a cadeia de valor, visando monitorar e controlar ambientes e garantir a qualidade dos produtos e processos. Um exemplo interessante de uso de IoT na logística de produtos perecíveis é o caso do chamado contêiner inteligente, proposto por Dittmer et al. (2012) e Haass et al. (2015). Este pode ser descrito como a adaptação de um contêiner refrigerado para permitir o uso de tecnologias de IoT e seu monitoramento em tempo real, focando no transporte de frutas, flores, e produtos congelados como carnes.

Dittmer et al. (2012) e Haass et al. (2015) realizaram diversos testes do contêiner inteligente com diferentes produtos. Eles observaram que o seu uso permite um melhor monitoramento dos produtos e auxilia na tomada de decisões. Isto permite, por exemplo, a previsão de potenciais impactos na qualidade do produto por atrasos no transporte, permitindo redirecionar o produto caso necessário. Três das principais vantagens do uso desta tecnologia são: 1) redução de perdas de produtos; 2) garantia da manutenção da cadeia do frio; e 3) auxílio à tomada de decisões no caso de ocorrência de acidentes ou atrasos no transporte.

Eletrônica embarcada em máquinas agrícolas

O uso de sistemas eletrônicos embarcados em máquinas agrícolas é um tópico pesquisado há muitas décadas e ganhou grande impulso a partir dos anos 1990 com a agricultura de precisão. Diversas tecnologias foram desenvolvidas e incorporadas em tratores e implementos agrícolas visando melhorar o seu controle, produtividade, qualidade de operações, precisão, controle remoto, dentre outros. A diversidade de soluções apresentadas pelos diferentes fabricantes de tratores, colhedoras e outras máquinas e implementos agrícolas passou a gerar um problema para os produtores

agrícolas, consumidores desses produtos, na medida em que essas soluções não eram compatíveis ou interoperáveis, impedindo que fossem interconectadas.

Visando corrigir esse problema, foi proposta uma padronização da comunicação nas máquinas agrícolas, com a proposição, no início dos anos 1990, da norma ISO 11783 (International Organization for Standardization, 2017). Cerca de uma década se passou para vencer a resistência da indústria e o padrão, rebatizado de ISOBUS como nome do mercado, passasse a ser francamente apoiado e adotado pelos grandes fabricantes, e tornar-se uma referência e mesmo um requisito.

O ISOBUS é o principal referencial na área agrícola quando se trata da utilização em máquinas. Esse padrão de comunicação desempenha um papel essencial na garantia da interoperabilidade entre máquinas e implementos (M2M). Ao adotar o ISOBUS, é possível que um produtor adquira uma máquina de um fabricante e um serviço ou implemento de outro, desde que ambos sigam as diretrizes do padrão.

Este padrão opera por meio de uma comunicação serial robusta, baseada no CANBus (Society of Automotive Engineers, 2023), rede de comunicação empregada em veículos não agrícolas, como automóveis e caminhões. Ele engloba todo o protocolo de comunicação, incluindo a estrutura dos dados físicos e lógicos, bem como a interface de usuário central presente nas máquinas, como o computador de bordo em tratores.

O ISOBUS também gerencia o controle das operações e os servidores de arquivos. Além disso, incorpora um vocabulário padronizado, o que possibilita que os dados coletados por meio do ISOBUS sejam interpretados de maneira uniforme por ferramentas produzidas por diferentes fabricantes.

A grande vantagem do ISOBUS reside na economia proporcionada, uma vez que sua adoção evita redundâncias nos equipamentos, possibilita a reutilização de máquinas e implementos e concede liberdade ao produtor para adquirir equipamentos de fornecedores diversos. Além disso, dado que as trocas de mensagens e os formatos de arquivo também seguem padrões, o ISOBUS tem encontrado aplicações na análise de dados.

Este padrão é reconhecido internacionalmente (ISO 11783) e foi ratificado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para uso no Brasil. É altamente recomendável que qualquer implemento ou máquina adquiridos estejam em conformidade com esse padrão.

Estas tecnologias têm permitido não apenas melhorar o controle e operação dessas máquinas, como também aumentar a produtividade e qualidade da

produção. Seu foco principal tem sido em máquinas dedicadas a grandes áreas e monoculturas. No entanto, diversas soluções vêm sendo exploradas para pequenos produtores, visando desenvolver equipamentos de menor custo que se adéquem às suas realidades e contextos.

Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto também é uma área de grande interesse da Agricultura Digital. Ela também é vital para melhorar a tomada de decisões nas fazendas e para realizar os processos relacionados à agricultura de precisão. O sensoriamento remoto pode ser definido, de forma resumida, como o uso de sensores distantes do fenômeno a ser analisado para obter informações relevantes para a tomada de decisões.

Normalmente, são utilizados dados provenientes de satélites como os das famílias Landsat e Sentinel. Duas grandes vantagens do uso de imagens de satélite para o estudo de áreas agrícolas são: 1) sua disponibilidade, sendo que grande parte das imagens é gratuita; e 2) o grande intervalo temporal englobado por estes satélites.

É importante notar que diversas dificuldades surgem no uso destas imagens, como: a necessidade do uso de ferramentas específicas para manipular, processar e extrair informações relevantes das imagens; a vasta gama de modelos e softwares que podem ser utilizados, demandando conhecimento específico da área de sensoriamento remoto; limitações relacionadas às variáveis coletadas; a baixa resolução das imagens geradas dependendo do satélite (tornando difícil o seu uso para pequenas áreas de produção), dentre outras (Shanmugapriya et al., 2019; Sishodia et al., 2020; Weiss et al., 2020). No entanto, o sensoriamento remoto é vital para o monitoramento de grandes áreas e para o auxílio na tomada de decisões. Muito importante é o fato de que a resolução espacial e temporal das imagens tem melhorado muitíssimo e hoje já se dispõe de redes de satélites artificiais privados com resolução espacial da ordem de dezenas de centímetros e que cobrem o globo terrestre todo diariamente, com mais de uma imagem diária de cada local (Planet, 2024).

Além do uso de satélites e imagens aéreas captadas por aviões, uma importante fonte de dados para o sensoriamento remoto moderno é o uso de drones. Os drones ou veículos aéreos não tripulados (ou UAV, do inglês *Unmanned Aerial Vehicle*) são considerados uma revolução na obtenção de imagens de alta resolução de ambientes

agrícolas em tempo real. Dentre os diversos usos de drones na agricultura, podem-se citar a obtenção de imagens de alta resolução das áreas de produção, obtenção de variáveis relevantes como temperatura e umidade, status das culturas e a aplicação de produtos (Mogili; Deepak, 2018; Budiharto et al., 2019).

Duas aplicações de grande interesse atualmente são: detecção automática de falhas de plantio e identificação automática de doenças e pragas. Ambas aplicações dependem diretamente do uso de modelos avançados de visão computacional (Mogili; Deepak, 2018; Budiharto et al., 2019).

Robôs agrícolas

Outra área de bastante interesse nas últimas décadas é o desenvolvimento de robôs agrícolas, sejam estes autônomos ou semi-autônomos (robôs operados no local ou remotamente, utilizados para tarefas complexas como poda de árvores e colheita de frutos).

Existe uma vasta gama de robôs em desenvolvimento e em fase de testes para diferentes culturas agrícolas, sendo utilizados principalmente nas seguintes atividades: automação de atividades de preparo do solo e colheita de commodities, obtenção de dados e imagens no nível do solo, realização de operações em estufas, plantio de sementes, remoção mecânica de plantas daninhas, aplicação de produtos, colheita de frutos, ordenha, tosquia, dentre outros.

A remoção de plantas daninhas é uma atividade intensiva em termos de mão de obra e de difícil realização em determinadas culturas. Por este motivo, diversos robôs vêm sendo desenvolvidos para realizar a identificação e remoção automática de plantas daninhas em diferentes etapas de desenvolvimento das culturas.

Existem atualmente exemplos para uso em estufas e em plantio tradicional, considerando tanto plantas de pequeno quanto de grande porte. Dentre as principais vantagens de seu uso, podem-se citar: economia de recursos, automação de uma tarefa de difícil realização e resultados comparáveis ao uso de mão de obra tradicional.

O trabalho de Oliveira et al. (2021) descreve, em profundidade, diversas operações e tipos de robôs utilizados atualmente, tanto em ambiente de pesquisa quanto comercialmente. Mahmud et al. (2020), por sua vez, descrevem algumas das principais áreas sendo pesquisadas no momento, ressaltando o impacto da robótica na agricultura.

Os modelos de inteligência artificial são essenciais para estas atividades, englobando diferentes modelos e algoritmos. Alguns dos principais usos de robótica na agricultura são: identificação e classificação de plantas daninhas, identificação de frutos, colheita de frutos, definição de rotas para realização de operações em solo, ordenha, dentre outros. (Wakchaure et al., 2023).

Gêmeos digitais agrícolas

Por fim, outro tema de grande interesse atualmente é o uso de gêmeos digitais (ou *digital twins* em inglês). Seu uso vem sendo explorado em diferentes domínios, sendo os principais a indústria manufatureira e os diferentes setores de produção de energia elétrica. Segundo Pylianidis et al. (2021), os *digital twins* podem ser definidos como versões digitais de sistemas físicos.

Estes podem representar sistemas biológicos (como exemplo, animais ou plantas) ou não (como exemplo, uma fazenda ou um talhão, uma máquina). Após o desenvolvimento de um digital twin, este pode ser utilizado para simular o impacto de diferentes condições, cenários e variáveis no sistema em questão. Também pode ser utilizado para auxiliar no monitoramento do sistema e para fomentar a tomada de decisões.

Atualmente, os *digital twins* são uma área de pesquisa com poucas aplicações comerciais na agricultura. No entanto, acredita-se que irão se tornar essenciais nos sistemas de monitoramento de fazendas e no rastreamento de alimentos ao longo de suas cadeias de suprimentos (Pylianidis et al, 2021; Nasirahmadi; Hensel, 2022; Purcell; Neubauer, 2023).

Conclusões

A Agricultura Digital resulta de um processo que se acelerou nas últimas décadas e é uma tendência global irreversível, na qual os dados, informações, conhecimentos e a inteligência estratégica são essenciais para a gestão e a tomada de decisão. As tecnologias de informação e comunicação utilizadas são muitas e variadas, de modo que é possível apresentar apenas alguns exemplos.

Há diversos desafios e oportunidades quando falamos em Agricultura Digital, seja em relação ao desenvolvimento da tecnologia em si, seja na sua aplicação e adaptação à agricultura em particular:

- A propriedade (posse) e a privacidade dos dados coletados. A necessidade de regulamentação, principalmente relacionada a quais atores possuem acesso e propriedade dos dados gerados pelas diferentes tecnologias. Qual o impacto da Lei Geral de Proteção de Dados, LGPD.
- O compartilhamento e transparência de informações, com dados abertos e interoperáveis, considerando princípios FAIR³. A disponibilidade de acesso aos dados para fins de pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias e modelos de extração do conhecimento.
- A necessidade de padronização dos dados no domínio agrícola, o que permitiria a comunicação entre sistemas, máquinas e sensores sem a necessidade de intermediários.
- A busca por uma melhor qualidade de informações, de modo a ter uma melhor amostragem (espacial e temporal), com menor imprecisão e erros/ruídos, e portanto com maior confiabilidade das informações disponíveis. Desenvolver métodos de análise automática da qualidade dos dados gerados, permitindo a identificação de potenciais problemas de coleta e processamento de dados e sua correção.
- A necessidade de redes de comunicação de dados que englobem as fazendas, melhorando a conectividade no campo.
- O desenvolvimento de modelos e de ferramentas, por exemplo, de Inteligência Artificial, que permitam integrar, analisar e extrair informações, assim como produzir previsões confiáveis e precisas.
- Garantir o uso adequado das informações, considerando aspectos sociais, morais e éticos.

Finalmente, a Agricultura Digital, na medida em que adiciona mais dados, informações e inteligência aos processos na agricultura, traz a oportunidade de uma produção mais sustentável, com mais qualidade e mais orientada ao bem da sociedade como um todo. Mesmo um desafio atual, como o das mudanças climáticas, poderá ser melhor abordado com o apoio da Agricultura Digital.

³ Os princípios FAIR englobam um conjunto de diretrizes que visam melhorar a qualidade, usabilidade e interoperabilidade de dados de diferentes tipos. Estes são: "Findable" (encontráveis), "Accessible" (acessíveis), "Interoperable" (interoperáveis) e "v" (reutilizáveis). O trabalho de Soares et al. (2022) descreve uma proposta para uso destes princípios nos dados de produção agrícola e vegetal no Brasil.

Referências

- BUDIHARTO, W.; CHOWANDA, A.; GUNAWAN, A. A. S.; IRWANSYAH, E.; SUROSO, J. S. A review and progress of research on autonomous drone in agriculture, delivering items and geographical information systems (GIS). In: WORLD SYMPOSIUM ON COMMUNICATION ENGINEERING (WSCE), 2., 2019, Nagoya. **Proceedings** [...]. Piscataway: IEEE, 2019. p. 205-209. DOI: <https://doi.org/10.1109/WSCE49000.2019.9041004>.
- DIAS, C. N.; JARDIM, F.; SAKUDA, L. O. (org.). **Radar AgTech Brasil 2023**: mapeamento das startups do setor agro brasileiro. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2023. Disponível em: www.radaragtech.com.br. Acesso em: 4 abr. 2024.
- DITTMER, P.; VEIGT, M.; SCHOLZ-REITER, B.; HEIDMANN, N.; PAUL, S. The intelligent container as a part of the internet of things. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON CYBER TECHNOLOGY IN AUTOMATION, CONTROL, AND INTELLIGENT SYSTEMS (CYBER), 2012, Bangkok. **Proceedings** [...]. Piscataway: IEEE, 2012. p. 209-214. DOI: <https://doi.org/10.1109/CYBER.2012.6392555>.
- ELIJAH, O.; RAHMAN, T. A.; ORIKUMHI, I.; LEOW, C. Y.; HINDIA, M. N. An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: benefits and challenges. **IEEE Internet of things Journal**, v. 5, n. 5, p.3758-3773, Oct. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2844296>.
- FAROOQ, M. S.; RIAZ, S.; ABID, A.; UMER, T.; ZIKRIA, Y. B. Role of IoT technology in agriculture: a systematic literature review. **Electronics**, v. 9, n. 2, 319, Feb. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics9020319>.
- GREGO, C. R.; SPERANZA, E. A.; RODRIGUES, G. C.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; VENDRUSCULO, L. G.; RODRIGUES, C. A. G.; INAMASU, R. Y.; VAZ, C. M. P.; RABELLO, L. M.; JORGE, L. A. de C.; ZOLIN, C. A.; FRANCHINI, J. C.; RONQUIM, C. C. Tecnologias desenvolvidas em Agricultura de Precisão. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; OLIVEIRA, S. R. de M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. (ed.). **Agricultura Digital**: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Brasília, DF: Embrapa, 2020. cap. 7, p. 166-191. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1126469>. Acesso em: 4 abr. 2024.
- HAASS, R.; DITTMER, P.; VEIGT, M.; LÜTJEN, M. Reducing food losses and carbon emission by using autonomous control - a simulation study of the intelligent container. **International Journal of Production Economics**, v. 164, p. 400-408, June 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.12.013>.
- INDÚSTRIA 4.0: arcabouço normativo para a implementação da Indústria 4.0 no Brasil. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2021. (Série Documentos Técnicos, 29). Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivo-camara-industria/iniciativas/ci_nt_arcabouco-normativo.pdf. Acesso em: 4 abr. 2024.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11783-1:2017 - Tractors and machinery for agriculture and forestry**: serial control and communications data network: part 1: General standard for mobile data communications. Switzerland: ISO, 2017.

KRISHNAN, N. **Cultivating Ag Tech: 5 trends shaping the future of agriculture**. 2017. Disponível em: <https://www.cbinsights.com/research/agtech-startup-investor-funding-trends>. Acesso em: 4 abr. 2024.

MAHMUD, M. S. A.; ABIDIN, M. S. Z.; EMMANUEL, A. A.; HASAN, H. S. Robotics and automation in agriculture: present and future applications. **Applications of Modelling and Simulation**, v. 4, p.130-140, 2020.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; EVANGELISTA, S. R. M. A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; OLIVEIRA, S. R. de M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. (ed.). **Agricultura Digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. cap. 1, p. 20-45. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1126214>. Acesso em: 4 abr. 2024.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A. AGRO 4.0 – rumo à Agricultura Digital. In: MAGNONI JÚNIOR, L.; STEVENS, D.; SILVA, W. T. L. da; VALE, J. M. F. do; PURINI, S. R. de M.; MAGNONI, M. da G. M.; SEBASTIÃO, E.; BRANCO JÚNIOR, G.; ADORNO FILHO, E. F.; FIGUEIREDO, W. dos S.; SEBASTIÃO, I. (org.). **JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: mobilizar o conhecimento para alimentar o Brasil**. 2. ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017. p. 28-35. il. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1073150>. Acesso em: 4 abr. 2024.

MOGILI, U. R.; DEEPAK, B. B. V. L. Review on application of drone systems in precision agriculture. **Procedia Computer Science**, v. 133, p. 502-509, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.063>.

NASIRAHMADI, A.; HENSEL, O. Toward the next generation of digitalization in agriculture based on digital twin paradigm. **Sensors**, v. 22, n. 2, 498, Jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22020498>.

OLIVEIRA, L. F. P.; MOREIRA, A. P.; SILVA, M. F. Advances in agriculture robotics: a state-of-the-art review and challenges ahead. **Robotics**, v. 10, n. 2, 52, June 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/robotics10020052>.

PLANET. **High-resolution imagery with planet satellite tasking**. Disponível em: <https://www.planet.com/products/hi-res-monitoring/>. Acesso em: 26 jan. 2024.

PURCELL, W.; NEUBAUER, T. Digital twins in agriculture: a state-of-the-art review. **Smart Agricultural Technology**, v. 3, 100094, Feb. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100094>.

PYLIANIDIS, C.; OSINGA, S.; ATHANASIADIS, I. N. Introducing digital twins to agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 185, 105942, May 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105942>.

RAMESHWAR, J. Industry 4.0: a transformation tool to create a better and sustainable future for the Caribbean. **CESaRE Impacts Magazine**, n. 2, p. 5-9, Sept. 2020.

SHANMUGAPRIYA, P.; RATHIKA, S.; RAMESH, T.; JANAKI, P. Applications of remote sensing in agriculture - a review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, n. 1, p. 2270-2283, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.238>.

SISHODIA, R. P.; RAY, R. L.; SINGH, S. K. Applications of remote sensing in precision agriculture: a review. **Remote Sensing**, v. 12, n. 19, 3136, Oct. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12193136>.

SOARES, F. M.; CORREA, F. E.; PIRES, L. F.; SANTOS, L. O. B. da S.; DRUCKER, D. P.; BRAGHETTO, K. L.; MOREIRA, D. de A.; DELBEM, A. C. B.; SILVA, R. F. da; LOPES, C. O. da S.; SARAIVA, A. M. Building a community-based FAIR metadata schema for Brazilian agriculture and livestock trading data. **CEUR Workshop Proceedings**, v. 3235, 2022. 6 p. Edition of the 18th International Conference on Semantic Systems, Vienna, Austria. SEMANTiCS 2022. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1147744>. Acesso em: 4 abr. 2024.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. Serial control and communications heavy-duty vehicle network - top-level document. 2023. Disponível em: https://www.sae.org/standards/content/j1939_202306/. Acesso em: 20 jun. 2024.

WAKCHAURE, M.; PATLE, B. K.; MAHINDRAKAR, A. K. Application of AI techniques and robotics in agriculture: a review. **Artificial Intelligence in the Life Sciences**, v. 3, 100057, Dec. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ailsci.2023.100057>.

WEISS, M.; JACOB, F.; DUVEILLER, G. Remote sensing for agricultural applications: a meta-review. **Remote Sensing of Environment**, v. 236, 111402, Jan. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402>.

WIKI/DIKW PYRAMID. In: WIKIPEDIA: the free encyclopedia. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Wiki/DIKW_pyramid. Acesso em: 20 ago. 2023.

INDÚSTRIA 4.0. In: WIKIPEDIA: a enciclopédia livre. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Indústria_4.0. Acesso em: 20 ago. 2023.