

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA UMA AGRICULTURA MAIS SUSTENTÁVEL: APLICAÇÕES E DESAFIOS ÉTICOS¹

Haide Maria Hupffer²

Adriano Sbaraine³

Danielle Paula Martins⁴

INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) avança a passos largos em todos os setores econômicos e em todos os domínios da vida individual e coletiva. No campo da agricultura, assim como está ocorrendo nas demais áreas de aplicação e conhecimento, a IA impulsiona mudanças transformadoras e traz consigo oportunidades inimagináveis, mas também riscos para o ser humano e para o meio ambiente. Quando se fala em benefícios, sistemas de análise e tomada de decisões baseados em IA voltados à agricultura permitem novas formas

1 Este trabalho é o resultado parcial das pesquisas realizadas pelos autores no âmbito do projeto de pesquisa “Inteligência Artificial para um Futuro Sustentável: Desafios Jurídicos e Éticos”. Edital CNPq/MCTI/FNDCT Nº 18/2021 – Universal 2021 – Processo: 405763/2021-2.

2 Pós-Doutora e Doutora em Direito pela Unisinos. Docente e Pesquisadora no Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Feevale e do Curso de Direito. Líder do Grupo de Pesquisa CNPq/Feevale “Direito e Desenvolvimento”. Líder do Projeto de Pesquisa CNPq/Feevale “Inteligência Artificial para um Futuro Sustentável: Desafios Jurídicos e Éticos”. E-mail: haide@feevale.br.

3 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Feevale. Mestre em Qualidade Ambiental pela Universidade Feevale. Pós-Graduado em Direito Previdenciário. Advogado. E-mail: dradriano@hotmail.com.

4 Doutora em Qualidade Ambiental pela Feevale. Docente e Pesquisadora no Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Feevale. Coordenadora do Laboratório de Vulnerabilidades, Riscos e Sociedade – LaVuRS. E-mail: daniellepm@feevale.br.

de aumentar a produtividade, automatizar processos, reduzir custos, monitorar a lavoura com diagnóstico em tempo real, obter dados relacionados às mudanças do clima. A IA na agricultura chega com a promessa de minimizar os impactos ambientais decorrentes do uso de agroquímicos com sistemas de agricultura de precisão.

Os exemplos mostram que a IA está transformando profundamente a agricultura, o que exige um olhar mais atento para garantir que esteja alinhada com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, com as expectativas éticas e sociais relacionadas à responsabilidade com as presentes e futuras gerações.

Os sistemas de IA ingressaram na agricultura e têm conquistado espaço para tornar os processos mais inteligentes em todo ciclo de vida de um produto, desde a pré-produção, produção e pós-produção. Com a utilização de aprendizado de máquinas (Machine Learning), os algoritmos são projetados para aprenderem com dados, experiências, acertos e erros, retroalimentando o sistema de IA. A agricultura é um setor que utiliza muitos recursos naturais e que é sensível a fatores externos, disponibilidade hídrica, condições do solo, alterações climáticas, doenças e pragas, eventos extremos. Os algoritmos programados aprendem com os dados, identificam tendências e padrões, realizam análises preditivas e inferências, mas, para que isso ocorra, precisam de uma base de dados científica e eticamente confiável e sólida. O desenvolvimento de sistemas de IA na agricultura também deve considerar a sustentabilidade ambiental com menores danos aos recursos ambientais.

Considerando esses aspectos, o estudo objetiva abordar a evolução da Inteligência Artificial na agricultura, não apenas sob o viés das inúmeras aplicações já em andamento, mas com o intento de provocar uma reflexão acerca de que modo esses avanços podem contribuir para uma agricultura mais sustentável e se as questões éticas, de transparência, segurança e riscos estão sob vigilância de modo a primar pela segurança e a integridade de valores que orbitam o campo da ética.

A pesquisa possui natureza descritiva e exploratória e aborda exemplos de IA utilizados para o desenvolvimento sustentável e para a agricultura. O método é o dedutivo e, como procedimento técnico, utiliza-se a pesquisa bibliográfica. Inicialmente, busca-se discorrer sobre a inteligência humana e a inteligência artificial para, em sequência, contextualizar a IA e sustentabilidade ambiental, finalizando com a discussão sobre sistemas de IA para uma agricultura mais sustentável.

APONTAMENTOS SOBRE INTELIGÊNCIA HUMANA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

O ser humano, por ser capaz de questionar a sua própria realidade e existência, é uma espécie de animal autoconsciente de si mesmo. Diferencia-se por sua capacidade cognitiva e a sua liberdade, o que exige que tome decisões em diferentes contextos. Sua subestrutura psíquica e orgânica o fazem um ser sensível, inteligente, dotado de autoconsciência, liberdade e responsabilidade, linguagem articulada, capacidade de construir ferramentas complexas, habilidade de atuar e de se inserir em quadros sociais complexos, capacidade de fruição estética, comprometido com a ética e aberto à pergunta pelo sentido do ser. O ser humano não deixa de ser apenas mais uma espécie que habita a biosfera, porém, partindo de uma visão antropocentrista diferencia-se dos demais por ser dotado de uma natureza singular e de uma especial inteligência, responsabilidade, liberdade, sociabilidade, linguagem dentre outras qualidades específicas (Beorlegui, 2011, p. 443-474).

Assim, do ponto de vista antropocêntrico, o ser humano se considera o único animal racional e o único dotado de inteligência. O significado de inteligência está diretamente ligado à evolução do próprio homem, como uma possibilidade de progresso natural da vida (Rech, 2022, p. 1). Inclusive, não é por acaso que a denominação “*homo sapiens*” tem como tradução homem sábio, que tem consciência de si, dada a importância que a inteligência humana representou e representa até os dias atuais (Russel; Norvig, 2013, p. 24).

Contudo, a definição do que é inteligência humana continua desafiadora e não há unanimidade conceitual. Demo (2020) tem razão ao posicionar em 2020 que como até hoje o ser humano não sabe o que ele é, também é difícil conceituar o que é inteligência, ou seja, “não há inteligência suficiente para definir inteligência”. Demo (2020) enumera inúmeras propostas de diferentes teóricos para definir o que é inteligência que incluem a “capacidade para lógica, entendimento, autoconsciência, aprendizagem, conhecimento emocional, raciocínio, planejamento, criatividade, pensamento crítico, solução de problemas”. Também pode ser definida como a “habilidade de perceber ou inferir informação, e reter conhecimento a ser aplicado em comportamentos adaptativos dentro do ambiente ou contexto”. Muitos dos conceitos elencados sobre inteligência humana aplicam-se também a animais e a sistemas de Inteligência Artificial. Demo (2020) propõe focar a discussão de que o cérebro hu-

mano não é linear, e sim um sistema complexo e autopoiético, que “funciona do ponto de vista do observador, interpretativamente, não passivamente”.

Para Russel (2021, p. 18-19) “seres humanos são inteligentes na medida em que suas ações sejam capazes de atingir seus objetivos”. A capacidade de desenvolver continuamente novas tecnologias, o pensar, refletir, aprender e a habilidade de percepção e de estabelecer objetivos são avaliadas pela contribuição à capacidade de atuar com êxito.

A partir dos avanços da ciência cognitiva (estudo da mente) e da neurociência (estudo do cérebro) a expressão “inteligência humana” passou por significativas mudanças epistemológicas e axiológicas e, em consequência, deslocou-se da concepção singular para plural (Gáspari; Schwartz, 2002, p. 263-264). Nesse sentido, pode-se dizer que a inteligência é operacionalmente infinita, não há objeto último que sature a inteligência humana (Sánchez; Claramunt, 2020, p. 107).

Historicamente, a inteligência permitiu a criação da máquina a vapor, e, com o seu advento, a economia, antes manufatureira, alcançou patamares nunca vistos com a instalação de grandes teares e outras máquinas dotadas de inúmeras tecnologias (Nascimento, 2011, p. 35). E, com o passar do tempo, o homem se utilizou dessa inteligência para conceber novas tecnologias que se fazem presentes na atualidade e promovem profundas transformações na vida humana (Pereira Júnior, 2007, p. 307).

Desde o início da IA, o conceito de inteligência das máquinas tem sido tradicionalmente definido de forma similar ao conceito de inteligência humana, ou seja, a máquina é inteligente quando consegue realizar ações que atinjam seus objetivos (Russel, 2021, p. 19). Nesse sentido, Fogel (2006) ao apresentar a evolução da computação, também associa a inteligência com a “capacidade de um sistema de adaptar seu comportamento para atingir seus objetivos em uma variedade de ambientes” e tomar decisões.

Ainda no que concerne a estabelecer objetivos, Russel (2021, p. 19) esclarece que diferentemente dos seres humanos, as máquinas não tem objetivos próprios, visto que são os projetistas e desenvolvedores que criam objetivos para que sejam atendidos. Não é uma abordagem exclusiva da IA, todas as tecnologias são desenvolvidas para atender determinados objetivos. Se o objetivo proposto para um sistema de IA não for programado eticamente ou conter erros na programação e ocasionar problemas em escala global ou individual, a máquina alcançará o objetivo e a humanidade poderá sofrer

graves consequências. A parte mais complexa é que os objetivos são dos humanos e não das máquinas, o que passa a exigir reconstruir constantemente grande parte da estrutura, bases de dados, aplicações, ideias, metodologias e objetivos para de fato produzir uma IA que possibilite atravessar as próximas décadas com mais segurança, êxito, transparência e fundamentada nos direitos humanos (Russel, 2021, p. 19-20).

A questão posta por Alan Turin, para desenvolver o computador “Bombe” para detectar submarinos alemães durante a Segunda Guerra Mundial, tinha como objetivo decifrar se poderiam máquinas pensar. A forma como o “Bombe” conseguiu quebrar o código Enigma, uma missão impossível até para os melhores matemáticos humanos, instigou Turing a publicar no ano de 1950 o artigo *Computing Machinery and Intelligence* e, assim, lançar uma nova questão: se um humano está interagindo com outro humano e uma máquina e o humano não consegue perceber a diferença entre a máquina e o humano, então, para Turin a máquina é inteligente. Posteriormente, no ano de 1956, a expressão Inteligência Artificial foi cunhada por Marvin Minsky e John McCarthy, cientistas da área de computação durante o evento *Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence* (Haenlein; Kaplan, 2019).

Sistemas de IA são projetados usando redes neurais para processar problemas e “reproduzir digitalmente estruturas de decisão semelhantes às humanas” e que possam ser mais independentes. A IA é utilizada para análise e tomada de decisões baseadas em algoritmos que possibilitam avanços em terapias médicas, desenvolvimento de medicamentos e vacinas, previsão de desastres, reconhecimento facial e de fala, sistemas veiculares autônomos, sistemas de combate autônomo no setor militar, controle do comportamento humano, controle de atividades criminosas, reconhecer padrões e para desenvolver tarefas complexas em diferentes setores. Os algoritmos de aprendizagem também são desenvolvidos para aprender como os problemas são resolvidos e de se auto-desenvolverem e melhorarem o seu desempenho de forma independente sem intervenção dos humanos, o que é nominado de *Deep Learning*. Geralmente, os programas que são capazes de aprender de forma independente, são utilizados no prognóstico, em aplicativos que auxiliam tarefas diárias, na robótica e em processo de reconhecimento de imagens e fala, visto que com o aprendizado e com uma grande quantidade de dados conseguem realizar interconexões (Hoffmann-Riem, 2022, p. 17-18).

Assim, com o emprego da IA, é possível realizar tarefas tradicionalmente associadas à inteligência humana, como percepção visual, reconhecimento de voz, tradução de idiomas, bem como, em algumas circunstâncias, a tomada de decisões (Wedy; Campos, 2023, p. 264-265). A OCDE (2019) define sistema de IA como sendo um software desenvolvido que engloba um conjunto de objetivos específicos definidos por seres humanos para gerar “resultados como conteúdo, previsões, recomendações ou decisões que influenciam os ambientes com os quais interagem”. A OCDE reconhece os benefícios da IA para o bem estar do ser humano, para ampliar o desenvolvimento da atividade econômica de forma positiva e sustentável, incentivar a inovação, aumentar a produtividade e como ferramenta para auxiliar a responder aos principais desafios globais (OCDE, 2019).

Não obstante os benefícios que a IA transfere à sociedade, há críticas sobre a sua aplicação. Ademais, como toda tecnologia, a IA caso utilizada de forma incorreta ou até mesmo perigosa, poderá redundar em sérios danos aos consumidores e à reputação de uma empresa (Carvalho, 2021, p. 26). O uso massivo dessa ferramenta poderá ocasionar uma atrofia moral (Rueda, 2023, p. 202-203), ou seja, um fenômeno no qual a capacidade de fazer julgamentos morais racionais por si mesmo tornam-se enfraquecidas (Thompson, 2012, p. 2). Além disso, a substituição da inteligência humana por uma inteligência artificial poderá resultar no enfraquecimento da própria inteligência humana (Rech, 2022, p. 1).

Associado à IA também está o risco de que ela possa discriminar ou prejudicar determinados grupos ou indivíduos em processos como contratações de recursos humanos, contratações de seguros e planos de saúde, concessão de empréstimos, benefícios e policiamento. Isso pode ocorrer porque os sistemas de IA dependem de dados para funcionar, e esses dados podem conter vieses ou erros que refletem as desigualdades ou preconceitos existentes na sociedade (Cortez, 2023). A revolução da IA também levanta desafios éticos e um olhar mais atento para garantir que esteja alinhada com expectativas social e eticamente aceitáveis, mais equânimes e justas.

Tal preocupação culminou na aprovação do documento intitulado *Council Recommendation on Artificial Intelligence*, aprovado em 22 de maio de 2019 pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). O documento recomendatório foi objeto de deliberação dos seus trinta e seis países membros, em conjunto com a Argentina, Brasil, Colômbia, Costa Rica, Peru e Romênia, e estabelece diretrizes e princípios para que a IA seja

uma tecnologia, simultaneamente, inovadora, segura, confiável, que respeite os direitos humanos e os valores democráticos em todas as etapas do seu ciclo de vida. A recomendação está assentada em cinco princípios: (i) desenvolvimento inclusivo, desenvolvimento sustentável e bem-estar; (ii) valores centrados no estado de direito, nos direitos humanos, na justiça, nos valores democráticos e na equidade; (iii) transparência e explicabilidade; (iv) robustez e segurança durante todo o seu ciclo de vida, de modo a assegurar o seu bom funcionamento e possibilitar que os potenciais riscos sejam continuamente avaliados e geridos; (v) prestação de contas e responsabilização dos atores engajados no desenvolvimento de sistemas de IA (OECD, 2019).

Na União Europeia, em dezembro de 2023, os Eurodeputados do Parlamento Europeu chegaram a um acordo provisório para a elaboração da Lei da Inteligência Artificial. Dentre os pontos acordados, está a garantia de que a IA respeite os direitos fundamentais, a democracia, o Estado de Direito e a sustentabilidade ambiental, sem deixar de estimular a inovação responsável. Com base nos riscos potenciais e no nível de impacto são estabelecidas obrigações para a IA. Assim, quando um sistema de IA é classificado de alto risco face aos potenciais danos que pode ocasionar, foi inserido, entre outros requisitos, uma avaliação obrigatória do impacto nos direitos fundamentais. Também foi definido que para os sistemas de alto impacto e com risco sistêmico para a União Europeia, as obrigações acordadas são mais rigorosas contra quaisquer risco e abusos da tecnologia (UE, 2023).

A IA pode representar um risco existencial para a humanidade. Violações de privacidade, preconceito, diminuição significativa de postos de trabalho, concentração da IA nas mãos de gigantes da tecnologia, efeitos colaterais de sistemas mal projetados, objetivos não alinhados aos direitos humanos e a preservação ambiental, conflitos entre os detentores da tecnologia e governos, possibilidade da IA se tornar autoconsciente e tomar decisões não previstas pelos desenvolvedores, dificuldade de rastrear e compreender a razão da decisão ter sido tomada pela IA, são questões postas e que desafiam a humanidade.

A imprevisibilidade de sistemas complexos operando no mundo real e a possibilidade de inadvertidamente ou propositalmente serem inculcados nos sistemas de IA objetivos não alinhados aos direitos humanos e à sustentabilidade ambiental podem trazer consequências catastróficas à humanidade. Sistemas superinteli-

gentes podem ter impacto global e pode não existir segundas chances (Russell, 2021, p. 135-137).

Assim, em sequência busca-se refletir que a IA pode ser usada para mitigar a crise ambiental com desenvolvimento de sistemas equipados com modelos alicerçados em objetivos humanos cada vez melhores.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Em 1987, o Relatório de Brundtland, no documento intitulado *Nosso Futuro Comum*, trouxe o conceito de sustentabilidade como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades” (Almeida, 2015, p. 13). Anos mais tarde, com a edição da Rio+10, em 2002, ampliou-se o conceito de desenvolvimento sustentável para a sustentabilidade integral. A partir de então, três dimensões passaram a ser vislumbradas: a dimensão ambiental ou ecológica, a dimensão econômica e a dimensão social. Dito isso, denota-se uma vinculação entre o desenvolvimento sustentável e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), ao passo em que o primeiro almeja o trinômio meio ambiente, economia e aspectos sociais, enquanto o segundo busca a promoção de um crescimento econômico, socialmente inclusivo e ambientalmente sustentável (Carvalho; Pilau Sobrinho, 2017, p. 34).

Nesse diapasão, ressalta-se, também, que o debate sobre sustentabilidade é hegemonicamente marcado pelo pressuposto de aliança e inter-relações entre atores sociais, sistema econômico, sistema político e condições ambientais. Contudo, o que se observa é uma “ideologia que coloca o meio ambiente em um lugar à parte, cuja gestão é racionalmente orientada para fins atendidos pelo uso justo da ciência e da tecnologia e por uma ética normativa”. São ignorados valores éticos compatíveis com o princípio da equidade intergeracional e interespecies e a necessidade de um amplo debate público sobre produção sustentável e sobre a disseminação de uma cultura de hiperconsumismo (Loureiro, 2012, p. 67).

A sustentabilidade depende da multiplicidade de manifestações culturais e autonomia dos povos na definição de seus caminhos e escolhas, em relações integradas às características de cada ecossistema e território em que se vive (Loureiro, 2012, p. 63). Portanto, um conceito macro sobre o que vem a ser sustentabilidade, parece

refletir na possibilidade de adaptação às particularidades de um determinado grupo ou sociedade e até mesmo de uma instituição, o que permanece na dependência dos objetivos de cada um.

A Constituição Federal de 1988 busca, em seu artigo 170, atrelar a ordem econômica à defesa do meio ambiente, lição essa que deve ser lida em consonância com o seu artigo 225, o que mostra o legislador constituinte ter atraído o desenvolvimento como um todo pautado na sustentabilidade. O princípio do desenvolvimento sustentável à luz da Constituição valoriza tanto a primazia do desenvolvimento econômico e social da nação, como a necessidade de se compatibilizar tal processo com a proteção do meio ambiente. Logo, quem, por exemplo, desejar instaurar uma atividade econômica poderá fazê-la, desde que respeite o meio ambiente, seja evitando práticas danosas, seja garantindo a renovação dos recursos da natureza (Rolim; Jatobá; Baracho, 2014, p. 56).

A Agenda 2030 da ONU se posicionou nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável por uma “economia ecológica, capaz de assegurar a integridade ecológica em todas as escalas – local, regional, nacional, global.” contribuindo para “uma nova compreensão e práticas econômicas, amparadas no novo paradigma da Ciência da Terra e dos limites planetários”. A natureza mostra que tem limites fáticos e se a humanidade não agir com rapidez colocará em risco existencial o “ser humano e todas as demais formas de vida que habitam o Planeta Terra” (Sarlet; Fensterseifer, 2023, RB-1.7).

No entanto, a sociedade contemporânea tem como característica ser insustentável devido ao seu crescimento demográfico acelerado, o consumo exacerbado de produtos que demandam o uso abusivo dos recursos naturais e a fabricação em larga escala de objetos com modos de produção poluentes (Camargo, 2013, p. 13). Esse modelo produtivo da gestão empresarial tradicional enxerga a natureza como uma fonte inesgotável de recursos à disposição do ser humano (Dias; Labegalini; Csillag, 2012, p. 529), condizente com uma busca de satisfação pessoal, quando daí desponta o critério da individualidade e do egocentrismo (Manzan, 2021, p. 207). Inclusive, a máxima presente nos diversos modos de produção surgidos ao longo da história “foi sempre o como produzir e o para quem destinar os frutos da produção, já que a questão de onde retirar a matéria-prima necessária teve sempre uma resposta única: da natureza” (Pádua; Lago, 2004, p. 27).

A natureza tem dado sinais, além daqueles noticiados pela ciência, de que o atual padrão de vida humana, dia após dia, de-

monstra-se cada vez mais insustentável, posto que a ideia da finitude dos recursos naturais disponíveis é desconsiderada, de modo que tais atitudes resultam em um desequilíbrio do ecossistema planetário sem precedentes (Leyter; Noschang, 2021, p. 161). São cada vez mais frequentes desastres ambientais de grande magnitude, fragilização do sistema climático, escassez de recursos naturais, eventos extremos que causam perturbações no equilíbrio da natureza, perda da biodiversidade, declínio na produção de alimentos, riscos à saúde, deslocados ambientais e tantas outras mazelas que acabam por comprometer o alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, além de cancelar a precarização dos princípios norteadores do Estado Socioambiental de Direito.

Esse cenário permite afirmar que a inteligência humana nega o fato de que o capitalismo, com a sua “dinâmica produtivista (a lógica quantitativa como elemento constitutivo da produção de mercadorias)”, é visivelmente incapaz de utilizar de forma sustentável e duradoura os recursos naturais, bem como inviabiliza o equilíbrio ecológico. O que se observa é que o capitalismo está em permanente conflito com a justiça ambiental pela expansão contínua da produção e da concentração de riquezas, apropriação privada da natureza e exploração dos recursos naturais (Dierkes, 1998, p. 6). Vigora, portanto, uma dialética contrária à preservação dos recursos disponíveis e à recuperação dos ecossistemas afetados, o que conduz ao raciocínio de que se está diante de uma infinita capacidade de regeneração da natureza, ou, o que é ainda pior, que o homem, na sua perfeita inteligência, desenvolverá, num futuro próximo, algo capaz de suprir todas as suas necessidades enquanto ser vivo (Souza, 2015, p. 1.207).

Assim, a inteligência artificial, além dos usos já mencionados, pode ser utilizada não apenas para promover o crescimento econômico e o bem-estar social, mas também para ajudar a atingir as metas globais de sustentabilidade. Essa nova tecnologia já é considerada como uma das ferramentas mais promissoras, uma vez que permite a adoção de técnicas e atividades para formar uma base sólida para os esforços pretendidos, capaz de auxiliar na solução de problemas globais, incluindo mudanças climáticas e o desenvolvimento de práticas ambientalmente sustentáveis (OECD, 2022, p. 5 e 15).

Os sistemas de IA têm sido utilizados para possibilitar a gestão adequada de recursos hídricos, o que possibilita a distribuição e a disponibilidade de água àqueles que dela necessitam. As companhias distribuidoras de água utilizam aplicativos de “smartphones” que detectam possíveis vazamentos e informam sobre a necessida-

de de troca de tubulações (Divino, 2021, p. 35-36), o que corresponde aos intentos dos ODS 6, 12 e 14, por exemplo. A agricultura ganhou o auxílio de um programa que capta, previamente, a ocorrência de doenças em uma determinada cultura, o que acaba por reduzir o risco de perda das plantações em até 40% (Divino, 2021, p. 38), técnica que possui estreita relação com os ODS 2, 9 e 10. A saúde é outro ramo que tira proveito da tecnologia artificial. Um aplicativo de celular facilita o compartilhamento de bicicletas distribuídas no decorrer das principais avenidas, o que contribuiu para amenizar as emissões atmosféricas e a prevenir doenças, exemplo esse que se relaciona com os propósitos dos ODS 3 e 11 (Divino, 2021, p. 40-41).

A inteligência artificial vem sendo defendida para a solução dos problemas urbanos que assolam inúmeras cidades, seja daquelas já existentes ou até mesmo daquelas que estão prestes a serem concebidas. O tema tem sido tratado como cidades inteligentes ou *“smart cities”*, e consiste numa proposta onde a tecnologia atua como instrumento de planejamento e enfrentamento das mazelas vivenciada pelos grandes centros urbanos (Rech, 2020, p. 78). Para tanto, as *“smart cities”* recorrem a tecnologias especializadas com o intuito de promover melhorias em questões que dizem respeito à mobilidade urbana, à segurança, ao meio ambiente, à educação, à saúde, integração de diferentes serviços municipais, além de criar oportunidades de emprego e incrementar os negócios de uma determinada localidade (Gómez; Gómez; Herrera, 2019, p. 243). No cenário internacional, cidades como Londres e Paris despontam, há bastante tempo, entre os grandes centros inteligentes, e, no Brasil, pode-se citar as cidades de Curitiba, Florianópolis, São Paulo, Brasília, Campinas, Niterói, São Caetano do Sul, Salvador, dentre outras.

A IA está sendo testada para acelerar a pesquisa de baterias para carros e para aviões, o que poderá auxiliar a minimizar a dependência de combustíveis fósseis. Há urgência para o desenvolvimento de tecnologia climática. O aprendizado de máquina pode classificar uma ampla gama de combinações possíveis para acelerar o desenvolvimento de baterias. Novos materiais podem ser projetados e treinados pela IA generativa, responder questões científicas sobre propriedades químicas e auxiliar a resolver problemas em laboratório. Se bem utilizada e projetada a IA pode ser a melhor chance da humanidade para acelerar o desenvolvimento de políticas climática, ajudar nos esforços para restaurar ecossistemas costeiros, energias renováveis, compreender a biodiversidade e aprender como os ecossistemas naturais podem capturar e armazenar carbono. Contudo,

também é necessário ter presente os riscos. No atual ritmo de desenvolvimento da IA, estudos estimam que até o ano de 2027 a IA poderá consumir até 134 terrawatt-hora de eletricidade, consumindo o mesmo de energia que a Argentina e a Suécia (MIT, 2023).

Contudo, nesse processo em que se pretende a utilização da IA a promover o alcance de 169 metas dos ODS, distribuídas em 17 objetivos, percebe-se algumas limitações. Uma delas é que o grande aparato de computadores utilizados para tal finalidade demonstraram a necessidade de uso de energia em demasia, o que seria um entrave aos países em desenvolvimento e um dissenso à pegada ambiental, sem deixar, igualmente, de refletir de forma negativa em relação a outros ODS. Além disso, a IA seria capaz de, em determinados procedimentos, deflagrar desigualdades e, com isso, servir como um inibidor do alcance de algumas das metas propostas pelos ODS. Logo, algumas adaptações seriam necessárias, ponderando-se, inclusive, o fato de que a IA deveria acompanhar as constantes mudanças da sociedade, o que se dá não apenas em razão de avanços tecnológicos baseados em IA, mas na contínua transformação da sociedade, seus costumes, princípios e valores (Vinuesa *et al.*, 2020, p. 2-5). Dada a grande sinergia entre os ODS e suas metas, não seria conveniente que o uso de uma nova tecnologia possibilitasse conflitos na consecução de todas em conjunto.

Como visto, a IA orbita sobre um campo onde pairam muitas indefinições, onde não se tem conhecimento acerca dos totais benefícios e malefícios decorrentes do seu uso. E isso reflete em possíveis barreiras para a adoção de sistemas de IA como parte do processo de tomada de decisão, o que inclui, por vezes, contrabalançar vantagens e desvantagens, ainda que essas últimas sejam desconhecidas, porém, não descartadas. Assim, acredita-se que o desenvolvimento de sistemas de IA, vinculados aos ODSs, deva ocorrer de forma responsável e acompanhadas de reflexões profundas sobre as áreas em que ela pode causar danos desproporcionais, de modo a trabalhar para reduzi-los. Como já registrado, há uma dualidade em uma tecnologia poderosa como a IA o que exige novas estruturas legais contemplando centralidade da pessoa humana, respeito aos direitos humanos, responsabilidade, proteção ao meio ambiente e o desenvolvimento sustentável, uso justo, transparência, privacidade, igualdade, não discriminação e o acesso à informação.

Barbara Han, do Instituto Cary de Estudos de Ecossistemas dos EUA em parceria com Kush Varshney, da IBM, lideraram uma pesquisa para uma nova geração de IA apoiada nos princípios da

ecologia, com uma abordagem neuromórfica, que poderá representar um grande avanço em sistemas de IA para auxiliar a humanidade a resolver desafios globais complexos, e por ser mais resiliente, socialmente responsável, em especial, quando desenvolvida para questões relacionadas as mudanças climáticas, perda da biodiversidade e pandemias (Han *et al.*, 2023).

SISTEMAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA UMA AGRICULTURA MAIS SUSTENTÁVEL

A quantidade de pessoas que passam fome aumentou de 19,1 milhões em 2020 para 33,1 milhões em 2021, e 125,2 milhões de residentes no país viviam com algum grau de insegurança alimentar (falta de alimentos em quantidade e qualidade adequadas) (GTSC A2030, 2022, p. 14). Tais dados exprimem a fragilidade em relação ao alcance das metas preconizadas pelo ODS 2 (acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável) e a possibilidade de comprometer a consecução de outros ODS, a exemplo da erradicação da pobreza e a incidência de doenças em decorrência da desnutrição (ODS 1 e 3), a dificuldade no aprendizado e no desempenho junto ao mercado de trabalho para a manutenção do próprio sustento (ODS 4 e 8), aumento das desigualdades e injustiça social (ODS 10 e 16), eis que a abordagem dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável se dá de forma holística e integrada, em que o cumprimento de um depende ou reflete sobre o outro (Vitale; Santos Neto, 2016, p. 114).

O agronegócio é considerado essencial para o crescimento econômico do país e do mundo todo. É um ramo que vai além dos limites do campo, eis que une as atividades agrícolas, as industriais e o setor de serviços. Sob uma visão pluralista, deve estar alinhado à ideia de segurança alimentar e de preservação do meio ambiente, com fundamento nos critérios de sustentabilidade e de forma a trazer o desenvolvimento em todas as suas esferas – econômica, social, política, cultural e, também, individual, concretizando, desta forma, os demais direitos fundamentais do homem (Costa; Lino, 2018, p. 15).

Além do escoamento de grande parte da produção para o mercado externo, o desenvolvimento massivo do agronegócio está associado à demanda por novas terras com a conversão de áreas de vegetação nativa em lavouras e/ou pastagens, prática essa que desencadeia expressivas mudanças no uso da terra em uma grande

área do território nacional (Lima *et al.*, 2022, p. 240), contribuindo para o processo de alteração do sistema climático. Atrelado ao agronegócio também está o crescimento do uso dos insumos químicos, o que gera impactos negativos tanto para o meio ambiente como para a saúde da população, especialmente para os agricultores, moradores do entorno das plantações e consumidores (Araújo; Oliveira, 2017, p. 123). Em suma, a insustentabilidade do agronegócio contempla, também, aspectos como a concessão de privilégios em relação as políticas de financiamento, isenção de tributos, além do que, afeta os custos e a disponibilidade de recursos naturais como a água, o solo e a biodiversidade, o que acarreta a degradação socioambiental (Lara; Cohen, 2023, p. 102).

Frente a esse cenário, a IA pode interagir com o agronegócio de modo a contribuir para a promoção de práticas sustentáveis. É uma nova fase em que se vislumbra a transição entre a agricultura 4.0 para a agricultura onde se aplicam tecnologias da geração 5.0, que consiste na prática da agricultura autônoma de precisão, modelagem complexa de sistemas agrícolas e agroalimentares, além de sensoriamento agrícola onipresente, diferente dos métodos onde se fazia presente a mecanização rústica, alta dependência do trabalho humano, tração animal e baixa intensidade tecnológica, predominante até meados do século XX (Viola; Mendes, 2022, p. 4). Nasce tecnologias disruptivas que incluem redes neurais e abordagem “Machine Learning” (aprendizado de máquina), “Deep Learning” (aprendizado profundo) e “Reasoning and Decision Making” (raciocínio e tomada de decisões) que auxiliam a agricultura por meio da transformação de dados em conhecimento, árvores de decisões, sistemas robóticos e o uso de “Big Data” para a tomada de decisões, orientadas por dados para gerar conhecimento sobre ecossistemas produtivos, as quais se posicionam como ferramentas eficientes para o desenvolvimento do setor agrícola de maneira mais sustentável.

A agricultura moderna, pautada em grandes latifúndios, simbolizada a partir do agronegócio, é responsável por cerca de um quarto das emissões globais de Gases de Efeito Estufa (GEE). E isso se deve ao contínuo e intenso uso de fertilizantes e agrotóxicos além do uso inadequado do solo. Assim, ferramentas de IA e “Machine Learning” (ML), se alinhadas à descarbonização, podem significar a chave para uma agricultura de precisão tendentes a reduzir a liberação de carbono oriundo do solo. Com isso, é possível que se alcance melhorias no rendimento das culturas a partir do constante monitoramento da saúde das plantas e das florestas, o que vem a contribuir

para uma silvicultura mais sustentável e para a redução do desmatamento bem como prever riscos de incêndios. Além disso, tais tecnologias, ao serem acopladas a drones, podem atuar na detecção de metano e estimativas de estoque de carbono e, com isso, incentivar agricultores a desenvolverem ações climáticas positivas propensas à redução de emissões atmosféricas (Rolnick *et al.*, 2022).

Como o uso de Machine Learning é possível, por meio de dados meteorológicos (locais e individualizados), a obtenção de informações rápidas e fidedignas de modo a racionalizar o uso de recursos naturais bem como o volume de agrotóxicos aplicados. A IA auxilia na gestão de sistemas de irrigação, tornando-os mais eficientes com estimativas de evapotranspiração diária, semanal ou mensal, o que auxilia no equilíbrio agrônômico, climatológico, hidrológico e na identificação de fenômenos climáticos. Ao coletar dados das culturas, os agricultores podem entender melhor cada cultura, controlar ervas daninhas e pragas, monitorar a saúde do solo e das culturas, calcular a melhor época para a colheita, prever o rendimento com antecedência, determinar a área a ser plantada a partir dos dados do estado de saúde do solo e da plantação em tempo real (Javaid *et al.*, 2023).

É inarredável a ideia que, da forma como praticada, a agricultura sugere uma grande interferência no sistema climático, o que significa uma ameaça à sustentabilidade ambiental e econômica do sistema de abastecimento de alimentos. Para minimizar tais efeitos, a integração de dados a partir da utilização da IA e “*Big Date*” permite a realização de análises preditivas e prescritivas com maior rapidez e precisão, o que evita cenários de infestação de lavouras por pragas, ervas daninhas, incidência de doenças, processos erosivos, práticas insustentáveis a exemplo de queimadas, aplicação de defensivos e uso de um grande volume de recursos naturais (Ruiz-Real; *et al.*, 2020). Com os mesmos propósitos, a Visão Computacional (RA/RV) é outro campo emergente que se dedica a extrair informações de imagens digitais e que auxiliam na tomada de decisões relacionadas ao plantio e ao desenvolvimento das culturas. Surge, com os sistemas de IA, a possibilidade de ampliar a sustentabilidade ambiental com a promessa de auxílio a um processo de transição que torne os sistemas agroalimentares mais eficientes, resilientes, inclusivos e sustentáveis, acréscimo de produção de alimentos, diminuição dos índices de geração de GEE e, conseqüentemente, na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

Os agricultores também podem, por meio de sistemas de vigilância baseados em IA e ML, escolher a semente ideal para um

determinado cenário climático, além do momento ideal para que se efetue a sementeira, o que proporciona um determinado nível de segurança e rendimento na produtividade. Esse tipo de monitoramento, que pode ocorrer diuturnamente, é capaz de acompanhar todas as fases de crescimento das culturas, avaliar o nível de nutrientes do solo, monitorar as implicações ambientais da aplicação de agrotóxicos e fertilizantes, e até mesmo encontrar a dose ideal ao manejo de ambos os insumos de modo a causar menos impactos ao meio ambiente (Javaid, 2023).

Sistemas de IA são projetados para interagir com animais, como: i] unidades de produção de frangos que são controladas por IA desenvolvida para “captar dados sobre os frangos e o ambiente em que se encontram, e depois alterar o ambiente e a vida dos frangos”; ii] extrair leite de vacas em unidades leiteiras; iii] manejar de animais de zoológicos; iv] treinar animais de estimação; v] utilizar drones para caçar e atacar animais; vi] detectar a temperatura corporal, os sons, a voz, o peso corporal, a taxa de crescimento, parasitas, úlceras, lesões utilizados em fazendas industriais para gerenciar animais; vii] usar componentes físicos conectados para agir quando o animais que está pastando atinge o limite da área desejada, dentre outros. Outros sistemas de IA estão sendo desenvolvidos para reduzir o número de animais de criação industrial, como: i] desenvolvimento de IA para procurar sementes que darão origem a culturas que possam produzir proteínas vegetais; ii] produzir substitutos de laticínios e ovos; iii] produzir produtos para substituir a carne baseado em plantas e produtos produzidos em laboratórios que são mais nutritivos, mais saborosos e baratos (Singer; Tsé, 2023).

Com a finalidade de conter os desperdícios e se alinhar aos ODS, a IA também é utilizada para colher e embalar frutas e vegetais, monitorar a umidade do solo para lidar com a seca, gerenciar a irrigação, combater o mofo, além de prever a radiação solar por meio de redes neurais (Jung *et al.*, 2021). No setor de fruticultura, principalmente, são utilizados robôs para automatizar a contagem e a separação dos frutos maduros dos verdes, sem precisar que se efetue a colheita indevida. Para desenvolver esse processo, são utilizadas técnicas de processamento digital de imagens e ML com o desenvolvimento de algoritmos que possibilitam enxergar as frutas com o máximo de precisão. Para isso, o aprendizado de máquina (ML) foi fundamental, pois foi necessário o computador aprender a reconhecer o que é uma fruta verde ou madura, saber diferenciar a fruta das folhas, dos caules e galhos, além de considerar a densida-

de das plantas, diferença entre floradas, iluminação não uniforme e áreas sombreadas (MIT, 2022).

A IA não apenas está mudando a agricultura como também traz uma transformação revolucionária. Decisões e escolhas, antes tomadas pelos agricultores e empresários do agronegócio, passam a ser delegadas a algoritmos os quais, como visto, atuam de diversas formas no manejo de inúmeras culturas em suas diferentes fases, desde de o plantio até a colheita, armazenamento e logística. Porém, entende-se que, antes dessas tecnologias serem disponibilizadas no mercado, é fundamental que testes de segurança em diferentes condições de campo sejam realizados com o objetivo de avaliar a robustez técnica e garantir que sejam implementadas de forma sustentável sob todas as perspectivas (Lew *et al.*, 2020). Como toda nova tecnologia, há uma ambivalência entre o bem e o mal o que se traduz na existência de oportunidades e, ao mesmo tempo, um risco para o desenvolvimento sustentável.

Esse avanço tecnológico traz preocupações sobre o futuro do trabalho e da ruralidade. A IA na agricultura poderá acirrar a degradação da terra, a acumulação de capital e a exploração e ampliação de grupos racializados e trabalhadores marginalizados por grandes proprietários de terras, governos e expressivas corporações nacionais e internacionais. Assim, vislumbra-se uma mudança drástica em toda a cadeia produtiva, inclusive nas comunidades originárias e de pequenos agricultores. O acesso geográfico desigual dá origem a uma divisão digital e resultados desiguais; traz o favorecimento de uns em detrimento de outros. Por isso, estudiosos denunciam que a implementação da IA na agricultura poderá reforçar as desigualdades econômicas, sociais e raciais, tanto no trabalho agrícola como na espacialidade rural, com poder de remodelar as comunidades rurais para o bem ou para o mal (Rotz *et al.*, 2019).

Aliás, a dualidade entre o bem e o mal ou os dilemas que surgem a partir da IA merecem ser amplamente discutidos, de tal maneira que possibilite o acesso à tecnologia até mesmo pelos pequenos agricultores, os quais devem ser informados e capacitados a lidar com riscos e vulnerabilidades (FAO, 2019). Além do que, é necessário avançar no debate acerca das consequências não intencionais, falhas catastróficas e riscos de atos hostis, uma vez que falhas de programação, aprendizado de máquina, aprendizado profundo e inexatidões técnicas podem levar a resultados indesejados (Yeh *et al.*, 2021).

Algoritmos são desenvolvidos por equipes multidisciplinares e cada projetista e desenvolvedor traz a sua compreensão ho-

lística do processo, técnicas, conhecimentos, seus valores e vieses. Não se trata de uma trajetória neutra e linear. São muitas escolhas nos estágios de desenvolvimento onde alguns valores e interesses podem ser mais privilegiados em detrimento de outros. Assim, intencionalmente ou não, os valores dos projetistas e desenvolvedores de algoritmos são congelados no código e institucionalizados. O viés técnico surge de restrições tecnológicas, erros ou decisões de projeto. Além dos vieses, decisões tomadas por algoritmos em muitas situações podem contrastar com a tomada de decisão tradicional, no qual humanos, tomadores de decisões, podem, em princípio, articular sua lógica quando questionados, limitados apenas por seu desejo e capacidade de dar uma explicação, e a capacidade do questionador de entendê-la. Contrariamente, a lógica de um algoritmo pode ser incompreensível para os humanos, o que torna difícil contestar a legitimidade das decisões (Floridi *et al.*, 2020).

O ato de depositar confiança substancial nos algoritmos e de delegar a decisão à máquina, cria uma tendência de desresponsabilizar os atores humanos envolvidos em todo o ciclo de desenvolvimento de um sistema de IA. Portanto, diante do desenvolvimento exponencial e a aplicação de algoritmos de ML para diferentes setores, os pesquisadores indicam a necessidade de ampliar estudos e investigações para entender as responsabilidades distintas no campo ético e jurídico de sistemas de tomada de decisão orientados por algoritmos e para discernir como minimizar justificativas de desresponsabilização por atos nocivos em contextos complexos de uso, erros de design, erros de operação, erros de decisão, presença de efeitos colaterais não intencionais (mau funcionamento). Apenas tornar transparente o código de um algoritmo é insuficiente para garantir um comportamento ético. Logo, a auditoria algorítmica é uma pré-condição necessária para atender os princípios da transparência, responsabilização e prestação de contas (Floridi *et al.*, 2020).

A consciência dos possíveis problemas com decisões automatizadas está aumentando rapidamente, porém, a capacidade da comunidade de IA de agir para mitigar os riscos associados ainda está em sua infância. Desenvolvedores e projetistas reclamam que os princípios e recomendações éticas direcionados à IA são altamente abstratos e que gostariam que fossem mais práticos para auxiliá-los. Traduzir princípios éticos em protocolos de design exige abordagens mais sofisticadas, coordenadas, interdisciplinares, governança, responsabilidade e regulação. Uma abordagem ética em todo o ciclo de vida da IA (projeto, desenvolvimento, implantação e

uso) para muitos pode representar uma desvantagem competitiva. Contudo, a ameaça do retorno imediatista e se algo der errado é significativa, o que pode resultar em custos de erros éticos que superam os benefícios de sucessos éticos. Inclusive, o excesso de cautela que se pretende ofertar ao uso da IA atrelada à agricultura pode significar minar a aceitação pública e reduzir a adoção de sistemas de algoritmos. Economicamente, a falta de adoção de princípios éticos em todo o seu ciclo de vida poderá se transformar em perda de confiança de investidores e financiadores de pesquisas com consequente prejuízos àqueles inseridos no campo da investigação e estudos mais profundos acerca da temática (Morley *et al.*, 2020).

Singer e Tse (2023) realizaram uma revisão de 68 declarações sobre ética em IA de governos, organizações não governamentais e empresas. A revisão mostrou que a grande maioria das declarações atribuem um lugar central aos seres humanos, dentre todas os seres senscientes, o que implica em dizer que só os humanos importam eticamente. Somente duas das sessenta e oito declarações incluem os animais no escopo de proteção. Os autores concordam que a IA deve beneficiar o ser humano, mas os grandes danos infringidos aos animais e a natureza não podem mais serem justificados moralmente. Para um sistema de IA agir eticamente, os autores argumentam que ela deve ter igual consideração aos interesses de todos os seres capazes de experiências conscientes, como dor e prazer (Singer; Tsé, 2023)

Quando mal projetados, sistemas de IA podem causar danos muito significativos. Por isso, é importante desenvolver e habilitar equipes multidisciplinares que sejam capazes de projetar sistemas robustos com apoio de projetistas, desenvolvedores e pesquisadores das áreas biológicas, ambientais, ética, bioética, saúde, ciências sociais aplicadas, engenharias e de ciências da computação. Da mesma forma, é necessário que os esforços de longo prazo sejam direcionados para criar protocolos padrões de coleta, processamento e análise de dados. Como peça central no futuro da agricultura digital orientada por dados, a importância da qualidade dos dados brutos não pode ser subestimada (Jung *et al.* 2021).

Quando projetados à luz de princípios éticos, desde a concepção e em todo o seu ciclo de vida, os sistemas podem ofertar consideráveis benefícios e a sociedade poderá aproveitar positivamente as oportunidades advindas da IA. Obviamente, erros ao longo do caminho poderão ocorrer. Todavia, é inaceitável atrasar qualquer compromisso ético quando se tem ciência do quão graves são as consequências em razão de nada ser feito (Morley *et al.*,

2020). Daí dizer que as escolhas realizadas atualmente, na infância do desenvolvimento da IA, serão importantes para determinar a direção que a agricultura tomará em longo prazo. Surge, portanto, o alerta para que sejam tomadas decisões bem alicerçadas sobre os benefícios e os riscos em todo o ciclo de vida de cada produto agrícola, para evitar ou minimizar riscos éticos que ainda possam surgir ao maximizar o impacto positivo da IA na agricultura (COWLS *et al.*, 2023).

Impulsionar a agricultura para que se obtenha produtividade e qualidade mediante o uso de tecnologias duvidosas não poderá ser considerada uma técnica apartada da consecução do ODS, sobretudo de valores e princípios éticos e morais. Portanto, para que os sistemas de IA na agricultura sejam eticamente confiáveis, sólidos, inclusivos, seguros e desenvolvidos em uma direção benéfica, são necessárias políticas e diretrizes para tornar essa tecnologia sustentável ambientalmente e em conformidade com os esforços para prevenção e mitigação de inúmeros riscos e que permita assegurar alimentos e qualidade de vida para a atual e as futuras gerações.

CONCLUSÃO

A inteligência artificial, além dos vários usos já constatados, chega ao campo para revolucionar as técnicas de plantio, desenvolvimento das lavouras, colheita e logística de toda uma produção. É uma tecnologia que promete maior segurança, produtividade e menores índices de perdas. Consiste num processo onde o homem delega à máquina a capacidade do poder de decisão sobre a semente ideal, a época correta do plantio, a necessidade de aplicação de defensivos e o quanto utilizar, a necessidade de suplementação do solo, a utilização e racionamento de recursos naturais, qual a melhor hora para a colheita e, inclusive, a redução da emissão de GEE (gases do efeito estufa), fatores que estão diretamente ligados às mudanças climáticas e à possibilidade de manter a produção para atender às demandas da população.

Existe, para tanto, um grande aparato de maquinários, computadores e sistemas inteligentes, advindos de pesquisas e o envolvimento de deferentes áreas do conhecimento, em um processo que envolve desde os agricultores, os fornecedores de insumos e

outros que participam da cadeia alimentar, ainda que indiretamente. Tem-se com isso, um caminho trilhado rumo ao tecnocentrismo como uma forma de absolutização da tecnologia em sobreposição à inteligência e atividades que até então eram desempenhadas pelo homem.

Em termos, abandonam-se os métodos de uma agricultura tradicional, baseada em ferramentas e técnicas rudimentares, dando-se espaço a equipamentos autônomos coordenados por GPS, drones de alta precisão, sistemas de IA de análise preditiva para converter dados precisos em conhecimento para a tomada de decisões complexas, além de inúmeras formas sintetizadas a partir da artificialidade. A máquina, então, mimetiza a inteligência humana.

No entanto, é importante ressaltar que a implementação da IA na agricultura não possui o condão de substituir o papel fundamental do agricultor, mas sim aperfeiçoar a relação entre a tríade homem-tecnologia-alimento, na busca de processos mais eficientes. A expertise e o conhecimento humano continuam sendo essenciais para tomar decisões estratégicas e interpretar os resultados gerados pelas tecnologias de IA e suas contínuas adequações. É importante ter em mente que esse deve, sem sombra de dúvidas, ser um ciclo que combine a inteligência humana com a inteligência artificial, o que resultará no caminho para a agricultura do futuro, sem que se distorça o equilíbrio com o realismo da sociedade.

Todavia, a implementação dos sistemas baseados em IA não podem se descuidar de valores éticos e morais, os quais existem e persistem antes mesmo do surgimento da mais rudimentar tecnologia. Deve-se, portanto, a partir da concepção de toda uma nova técnica, voltada à melhoria da agricultura, garantir a priorização dos valores humanos e princípios éticos, mediante a análise prévia de impactos sobre a sociedade. Para tanto, exige-se, além da complexa estrutura arquitetônica, necessária a empreender os sistemas de IA, o seu entrelaçamento com a normatividade e suas adaptações futuras e frequentes, sempre a primar não apenas pela produção e lucratividade, mas pela segurança, justiça e tomada de decisões éticas e legalmente relevantes pelas máquinas.

Por fim, o medo não pode estar voltado às máquinas, computadores e outros artificios eletrônicos. O maior receio é em relação àquele que programa esse conjunto dotado de fios, processadores e chips e a sua capacidade de estabelecer uma interface, um caráter holístico e sistêmico com a sustentabilidade, dirigida não apenas ao campo, mas à humanidade.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Marcelo de. **Sustentabilidade**. Rio de Janeiro: SESES, 2015.
- ARAÚJO, Isabelle Maria Mendes de; OLIVEIRA, Ângelo Giuseppe Roncalli da Costa. Agronegócio e agrotóxicos: impactos à saúde dos trabalhadores agrícolas no nordeste brasileiro. **Trabalho, Educação e Saúde**, v. 15 n. 1, jan./abr. 2017, p. 117-129. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/tes/a/Ny5PpLyDMmSJbhNc8CBfKVf/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 5 ago. 2023.
- ASSOCIAÇÃO PSICOLÓGICA AMERICANA. **Dicionário de Psicologia**. 13. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- BEORLEGUI, Carlos. La singularidad del ser humano como animal bio-cultural. **Realidad**, n. 129, p. 443-480, 2011. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6521283.pdf>. Acesso em 21 ago. 2023.
- BLANCO, Marília Bazan; OLIVEIRA, Julielli Ismara de; CARVALHO, Gabriely Trujillo Pereira Latorre; ARAÚJO, Roberta Negrão de. O que é inteligência? percepções de professores do ensino fundamental. **Espacios**, v. 38, n. 50, p. 25-34, 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n50/a17v38n50p25.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2023.
- BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em: 20 jul. 2023.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). **Estimativas de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 6. ed., Brasília: MCTI, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee/arquivos/6a-ed-estimativas-anuais.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2023.
- CAMARGO, Ana Luiza de Brasil. **Desenvolvimento sustentável: dimensões e desafios**. Campinas: Papirus, 2013
- CARVALHO, André Carlos Ponce de Leon Ferreira de. Inteligência artificial: riscos, benefícios e uso responsável. **Estudos Avançados**, v. 35, n. 101, jan./abr. 2021, p. 21-35. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/185020/171202>. Acesso em: 14 jul. 2023.

- CARVALHO, Aparecida de; PILAU SOBRINHO, Liton Lanes. A concepção do paradigma de desenvolvimento sustentável e de sustentabilidade como um conceito sistêmico. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL DE JURISDIÇÃO CONSTITUCIONAL, DEMOCRACIA E RELAÇÕES SOCIAIS, 1., 23 a 25 de agosto de 2017, Passo Fundo. **Anais [...]**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2017. p. 19-42. Disponível em: http://editora.upf.br/images/ebook/anais_direito_2017.pdf. Acesso em: 20 jul. 2023.
- CORTEZ, Henrique. Riscos e preocupações em torno da inteligência artificial (IA). **IHU On-line**, São Leopoldo, 13 maio 2023. Disponível em: <https://www.ihu.unisinos.br/categorias/628632-riscos-e-preocupacoes-em-torno-da-inteligencia-artificial-ia-artigo-de-henrique-cortez>. Acesso em: 14 jul. 2023.
- COSTA, Patrícia Spagnolo Parise; LINO, Estefânia Naiara da Silva. O agronegócio no Brasil: uma análise contra hegemônica voltada à sustentabilidade e ao direito ao desenvolvimento. **Revista Videre**, v. 10, n. 20, p. 14-28, jul./dez. 2018. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/videre/article/view/7224/4877>. Acesso em: 4 ago. 2023.
- COWLS, Josh; TSAMADOS, Andreas; TADDEO, Mariarosaria; FLORIDI, Luciano. The AI gambit: leveraging artificial intelligence to combat climate change: opportunities, challenges, and recommendations. **AI & Society**, v. 38, p. 283-307, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00146-021-01294-x>. Acesso em: 12 ago. 2023.
- DIAS, Sylmara Lopes Francelino Gonçalves; LABEGALINI, Letícia; CSILLAG, João Mário. Sustentabilidade e cadeia de suprimentos: uma perspectiva comparada de publicações nacionais e internacionais. **Produção**, v. 22, n. 3, p. 517-533, maio/ago. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/fp-3vDcGVDcWhhgfNbdqw73N/?format=pdf>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- DEMO, Pedro. **Por que não há inteligência suficiente para definir inteligência?** Texto publicado em 2020. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/12JFHZJ_2Cl4ch4UB3D1Tiy4eZrWDWhm7/view. Acesso em: 18 dez. 2023.
- DIERKES, Hermann. **Ökologischer Marxismus**: marxistische ökologie. Köln: VSPVerlag, 1998.

- DIVINO, Sthéfano Bruno Santos. Reflexões sobre a inteligência artificial na agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. **Revista Eletrônica Direito e Política**, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciência Jurídica da UNIVALI, Itajaí, v. 16, n. 1, p. 30-64, 1º quadrimestre de 2021. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/rdp/article/view/17534>. Acesso em: 23 jul. 2023.
- FLORIDI, Luciano; COWLS, Josh; KING, Thomas; TADDEO, Mariarosaria. How to design AI for social good: seven essential factors. **Science and Engineering Ethics**, v. 26, p. 1771-1796, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11948-020-00213-5>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- FOGEL, David B. **Evolutionary computation: toward a new philosophy of machine intelligence**. New York: John Wiley, 2006.
- GÁSPARI, Josset Campagna de; SCHWARTZ, Gisele Maria. Inteligências múltiplas e representações. **Psicologia, Teoria e Pesquisa**, Brasília, v. 18, n. 3, p. 261-266, set./dez. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ptp/a/pRM7K8rZ9FZ6vX57NRgVNDb/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 4 jul. 2023.
- GÓMEZ, Maira Bastidas; GÓMEZ, Raúl José Martelo; HERRERA, Tomás José Fontalvo. Caracterización de smart cities para el fortalecimiento del turismo en la ciudad de Cartagena. **Agla-la**, v. 10, n. 2, p. 241-268, maio 2019. Disponível em: <https://revistas.curn.edu.co/index.php/aglala/issue/view/93>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- GRUPO DE TRABALHO DA SOCIEDADE CIVIL PARA A AGENDA 2030 – GTSC A2030. **VI Relatório Luz da sociedade civil: Agenda 2030 de desenvolvimento sustentável Brasil**. 2022. Disponível em: https://brasilnaagenda2030.files.wordpress.com/2022/07/pt_rl_2022_final_web-1.pdf. Acesso em: 2 ago. 2022.
- HAENLEIN, Michael; KAPLAN, Andreas. A Brief History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence. **California Management Review**, v. 61, n. 4, p. 5-14, 2019. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0008125619864925>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- HAN, Barbara A. *et al.* Inteligência artificial inspirada na Ecologia pode ficar mais sábia. **Inovação Tecnológica**, 29 set. 2023. Disponível em: <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=ecologia-inteligencia-artificial-mais-for>

tes-juntas&id=010150230929&ebol=sim Acesso em: 21 dez. 2023.

HOFFMANN-RIEM, Wolfgang. **Teoria Geral do Direito Digital**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Forense, 2022.

JAVAID, Mohd; HALEEM, Abid; KHAN, Ibrahim Hallem; SUMAN, Rajiv. Understanding the potential applications of artificial intelligence in agriculture sector. **Advanced Agrochem**, v. 2, n. 7, p. 15-30, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/364940450_Understanding_the_potential_applications_of_artificial_intelligence_in_agriculture_sector. Acesso em: 21 ago. 2023.

JUNG, Jinha; MAEDA; Murilo; CHANG, Anjin; BHANDARI, Mahendra; ASHAPURE, Akash; LANDIVAR-BOWLES, Juan. The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 70, p. 15-22, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958166920301257>. Acesso em: 21 ago. 2023.

LARA, Stephanie Sommerfeld de; COHEN, Simone Cynamon. Reflexões sobre a agricultura brasileira e Agenda 2030: perspectivas para políticas públicas saudáveis e sustentáveis. In: ROCCON, Pablo Cardozo; BEL, Haya Del; COSTA, Alane Andréa Souza; PIGNATI, Wanderlei Antônio. **Ambiente, saúde e agrotóxicos: desafios e perspectivas na defesa da saúde humana, ambiental e do(a) trabalhador(a)**. São Carlos: Pedro & João Editores, 2023.

LEW, Tedrick Thomas Salim; SAROJAM, Rajani; JANG, In-Cheol; PARK, Bon Soo; NAVKI, Naweed Isaak; WONG, Min Hao; SINGH, Gajendra Pratap; RAM, Rajeev; SHOSEYOV, Oded; SAITO, Kazuki; CHUA, Nam-Hai; STRANO, Michael Steven. Species-independent analytical tools for next-generation agriculture. **Nature Plants**, v. 6, n. 12, p. 1.408-1.417, 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41477-020-00808-7>. Acesso em: 21 ago. 2023.

LEYTER, Bruna; NOSCHANG, Patrícia Grazziotin. O caso do Rio Vilcabamba no Equador: o reconhecimento da natureza como sujeito de direito e o rompimento com o paradigma antropocentrista. In: CALGARO, Cleide (org.). **Constitucionalismo e meio ambiente: conquistas e desafios na América Latina**. Porto Alegre, RS: Fundação Fênix, 2021.

- LIMA, Fábio Martins de; ALMEIDA, Roselaine Bonfim de; SILVA, Jonathan Gonçalves da; CARVALHO, Leandro Vinícios. Governança da política ambiental e o agronegócio brasileiro. **Colóquio**, v. 19, n. 2, p. 237-258, abr./jun. 2022. Disponível em: <https://seer.faccat.br/index.php/coloquio/article/view/2492>. Acesso em: 5 ago. 2023.
- LOUREIRO, Carlos Frederico Bernardo. **Sustentabilidade e educação: um olhar da ecologia política**. São Paulo: Cortez, 2012.
- MANZAN, Célia Teresinha. Perspectivas constitucionais a um meio ambiente equilibrado em um contexto interno e latino americano: garantia humana fundamental. In: CALGARO, Cleide (org.). **Constitucionalismo e meio ambiente: conquistas e desafios na América Latina**. Porto Alegre, RS: Fundação Fênix, 2021.
- MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT). Como a IA pode turbinar a pesquisa de baterias. **MIT Technology Review**, 1 nov. 2023. Disponível em: <https://mittechreview.com.br/como-a-ia-pode-turbinar-a-pesquisa-de-baterias/>. Acesso em: 13 dez. 2023.
- MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT). Tecnologias emergentes no Agronegócio: tendências para um futuro mais sustentável e eficiente. **MIT Technology Review**, 2022. Disponível em: <https://rd.mittechreview.com.br/special-edition-tecnologiasnoagro-cubo>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- MORLEY, Jessica; FLORIDI, Luciano; KINSEY, Libby; ELHALAL, Anat. From what to how: an initial review of publicly available AI ethics tools, methods and research to translate principles into practices. **Science and engineering ethics**, v. 26, n. 4, p. 141-168, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11948-019-00165-5>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- NASCIMENTO, Amauri Mascaro. **Curso de direito do trabalho: história e teoria geral do direito do trabalho – relações individuais e coletivas do trabalho**. 26. ed., São Paulo: Saraiva, 2011.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). Measuring the environmental impacts of AI compute and applications: the AI footprint. **OCDEiLibrary**, 15 nov. 2022. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/7babf571-en.pdf?expires=1689966260&id=id&accname=guest&checksum=2A47DDDBDBD1DE8E1810189AC11DCECD>. Acesso em: 21 jul. 2023.

- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). Recommendation of the Council on Artificial Intelligence. **OECD Legal Instruments**, 21 maio 2019. Disponível em: <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0449>. Acesso em: 20 out. 2023.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). Chefe da FAO adverte sobre a “globalização da obesidade” e pede ao G20 que garanta dietas saudáveis através de regulamentação. **FAO no BRASIL**, 11 maio 2019. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/de-tail-events/pt/c/1193890/>. Acesso em: 12 ago. 2023.
- PÁDUA, José Augusto; LAGO, Antônio. **O que é ecologia?** São Paulo: Brasiliense, 2004.
- PEREIRA JÚNIOR, Alfredo. A publicação científica na atualidade. **Jornal Vascular Brasileiro**, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 307-308, 2007. Disponível em: <https://app.periodikos.com.br/article/10.1590/S1677-54492007000400002/pdf/jvb-6-4-5ddb7290e8825f9727279a1.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2023.
- RECH, Adir Ubaldo. Inteligência artificial e natureza. **Revista Humanidades e Inovação**, Palmas, v. 9, n. 18, p. 10-20, set. 2022. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/article/view/7838>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- RECH, Adir Ubaldo. **Inteligência artificial, meio ambiente e cidades inteligentes**. Caxias do Sul: Educs, 2020.
- ROLIM, Francisco Petrônio de Oliveira; JATOBÁ, Augusto César Maurício de Oliveira; BARACHO, Hertha Urquiza. Sustentabilidade à luz da Constituição de 1988: uma análise contemporânea. **Revista CEJ**, ano XVIII, n. 64, p. 53-60, set./dez. 2014. Disponível em: <https://revistacej.cjf.jus.br/cej/index.php/re-vcej/article/download/1889/1856/>. Acesso em: 25 jul. 2023.
- ROLNICK, David *et al.* Tackling climate change with machine learning. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, v. 55, n. 2, p. 1-96, 2022. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3485128>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- ROTZ, Sarah *et al.* Automated pastures and the digital divide: how agricultural technologies are shaping labour and rural communities. **Journal of Rural Studies**, v. 68, p. 112-122, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0743016718307769>. Acesso em: 21 ago. 2023.

- RUEDA, Jon. ¿Automatizando la mejora moral humana? la inteligencia artificial para la ética. **Daimon Revista Internacional de Filosofía**, n. 89, p. 199-209, maio/ago. 2023. Disponível em: <https://philpapers.org/rec/RUEALM>. Acesso em: 6 jul. 2023.
- RUIZ-REAL, José Luis; URIBE-TORIL, Juan; ARRIAZA, Jose Antonio; VALENCIANO, Jaime de Pablo. A look at the past, present and future research trends of artificial intelligence in agriculture. **Agronomy**, v. 10, n. 11, p. 1.839, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/11/1839>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- RUSSEL, Stuart Jonathan; NORVIG, Peter. **Inteligência artificial**. Tradução de Regina Célia Simille. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- SÁNCHEZ, Amadeo Muntané; CLARAMUNT, Enrique Roberto Moros. ¿La neurociencia puede explicar el funcionamiento global del cerebro? **Cuadernos de Neuropsicología – Panamerican Journal of Neuropsychology**, v. 14, n. 1, p. 88-102, 2020.
- SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. Teoria Geral do Direito Climático. In: WEDY, Gabriel; SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito climático**. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2023.
- SINGER, Peter; TSE, Yip Fai. AI ethics: the case for including animals. **AI and Ethics**, v. 3, n. 2, p. 539-551, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43681-022-00187-z>. Acesso em: 16 dez. 2023.
- SOUZA, Vitória Colvara Gomes de. A lenta inclusão do meio ambiente nas demandas políticas fruto de um despertar ecológico tardio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE DIREITO AMBIENTAL: AMBIENTE, SOCIEDADE E CONSUMO SUSTENTÁVEL, 20., 2015, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Instituto O Direito por um Planeta Verde, 2015. Disponível em: http://www.planetaverde.org/arquivos/biblioteca/arquivo_20150602201330_8751.pdf. Acesso em: 21 jul. 2023.
- THOMPSON, Michael J. Repensando a alienação como atrofia moral. **Verinotio**, ano VIII, n. 14, out. 2012. Disponível em: <http://www.verinotio.org/sistema/index.php/verinotio/article/view/137/127>. Acesso em: 6 jul. 2023.
- UNIÃO EUROPEIA (UE). Parlamento Europeu. Artificial Intelligence Act: deal on comprehensive rules for trustworthy AI. **Atualidade de Parlamento Europeu**, 9 dez. 2023. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/press-room/20231206IP>

- R15699/artificial-intelligence-act-deal-on-comprehensive-rules-for-trustworthy-ai. Acesso em: 13 dez. 2023.
- VINUESA, Ricardo *et al.* The role of artificial intelligence in achieving the sustainable development goals. **Nature Communications**, v. 11, n. 233, p. 1-10, 13 jan. 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-019-14108-y>. Acesso em: 24 jul. 2023.
- VIOLA, Eduardo; MENDES, Vinícius. Agricultura 4.0 e mudanças climáticas no Brasil. **Ambiente e Sociedade**, v. 25, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/i/2022.v25/>. Acesso em: 10 ago. 2023.
- VITALE, Denise; SANTOS NETO, Mário Joaquim. Da agenda da ONU à produção das ciências sociais no Brasil: reflexões sobre desenvolvimento sustentável e povos indígenas. *In*: IVO, Anete Brito Leal (org.). **A reinvenção do desenvolvimento**: agências multilaterais e produção sociológica. Salvador: EDUFBA, 2016, p. 105-150. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/fhr95/pdf/ivo-9788523218577-04.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2023.
- WEDY, Gabriel; CAMPOS, Eduardo Coimbra Villa Coimbra. Breves reflexões sobre a inteligência artificial e o estado de direito. **Revista Jurídica Unicuritiba**, Curitiba, v. 2, n. 74, p. 259-286, abr./jun. 2023. Disponível em: <https://revista.unicuritiba.edu.br/index.php/RevJur/issue/view/263>. Acesso em: 5 jul. 2023.
- YEH, Shin-Cheng; WU, Ai-Wei; YU, Hui-Ching; WU, Homer C.; KUO, Yi-Ping; CHEN, Pei-Xuan Chen. Public perception of artificial intelligence and its connections to the sustainable development goals. **Sustainability**, v. 13, n. 16, p. 9.165, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/16/9165>. Acesso em: 21 ago. 2023.