

MEIO AMBIENTE, INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E SUSTENTABILIDADE

*Elizabeth Nantes Cavalcante
Rebeca Alves de Souza Garcia*

RESUMO

O conceito de meio ambiente, atualmente, não se reduz aos espaços físicos ocupados pelos seres humanos, mas inclui também o meio ambiente digital e as relações que nele ocorrem em razão das tecnologias, sobretudo a inteligência artificial. Em razão disso, o objetivo geral do presente artigo é traçar uma análise geral sobre o meio ambiente, a inteligência artificial e os critérios acerca da sustentabilidade. Como objetivos específicos se propõe a investigar a relação paradigmática entre o uso desses sistemas inteligentes e a preservação ambiental, na medida em que se questiona sobre os impactos ambientais existentes pelo uso massivo e, cada vez maior, das tecnologias. O resultado pretendido é constatar se a inteligência artificial pode ser aplicada com o objetivo de atender diversos propósitos de sustentabilidade. Com relação a metodologia optou-se pela revisão da literatura com o auxílio de mecanismos de busca digital e o apoio de textos doutrinários sobre

meio ambiente e inteligência artificial. O método escolhido é o lógico-dedutivo, cujas análises de artigos e textos doutrinários pertinentes aos assuntos tratados muito contribuíram para a realização deste artigo.

Palavras-chave: meio ambiente; meio ambiente digital; inteligência artificial; sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

A inteligência artificial (IA) influencia o crescimento econômico e o ambiente digital; sua aplicabilidade gera impactos no ambiente, tanto negativos quanto positivos. Ao mesmo tempo, os recursos tecnológicos contam com sistemas inteligentes que necessariamente comporão a agenda da economia circular na interface produção/consumo. Na esteira de se compreender qual o papel das tecnologias no ecossistema digital, este capítulo propõe-se a conceituar, contextualizar e trazer as contribuições da IA na promoção do desenvolvimento tecnológico sustentável no ambiente digital. Para isso, traçou-se como objetivo geral situar essa tecnologia na sociedade contemporânea e discorrer não só sobre as suas potencialidades no meio ambiente digital e na economia circular, mas também sobre seus riscos, constituindo-se, portanto, a IA como paradigma de sustentabilidade.

1. MEIO AMBIENTE E MEIO AMBIENTE DIGITAL

Por meio ambiente entende-se as condições naturais e artificiais que contribuem para o desenvolvimento dos seres biológicos e não biológicos, influenciados por essas condições nas esferas física, psíquica e comportamental. De maneira mais didática, o meio ambiente natural refere-se à natureza e seus recursos, e o meio ambiente digital refere-se a tudo o que paira no âmbito cibernético, também conhecido como ambiente virtual. Diz-se digital por se tratar de uma tecnologia em oposição ao que é natural, e, portanto, artificial, fruto das transformações trazidas pela engenhosidade da mente humana. O ser humano, utilizando-se da ampla criatividade que lhe é peculiar, ao desenvolver o sistema computacional, substituiu o sistema analógico pelo digital, inaugurando, assim, por meio da internet, o ambiente digital.

Sirvinkas defende que o termo meio ambiente foi utilizado pela primeira vez em 1835 e cunhado por Geoffroy de Saint Hilaire, em sua obra denominada *Études progressives d'un naturaliste* (ou *Estudos progressivos de um naturalista*) (Sirvinkas, 2015). O físico Albert Einstein se referia ao meio ambiente como tudo aquilo que não é parte do indivíduo. Considerando o dinamismo das relações humanas, Coimbra propõe que o meio ambiente implica as relações humanas e, portanto, com tudo o que a sociedade interage, resumidamente (Coimbra, 2002).

O meio ambiente, concebido inicialmente como as condições físicas e químicas, junto com ecossistemas do mundo natural e que constitui o habitat do homem, também é, por outro lado, uma realidade com dimensão de tempo e espaço. Essa realidade pode ser tanto histórica (do ponto de vista do processo de transformação dos aspectos estruturais e naturais desse meio pelo próprio homem, em razão de suas atividades) como social (na medida em que o homem vive e se organiza em sociedade), na produção de bens e serviços destinados a atender à própria sobrevivência humana na medida de suas necessidades (Emídio, 2017).

Granziera conceitua o meio ambiente ecológico como sendo todos os componentes físicos e químicos que formam o meio ambiente (biótipo) e a comunidade, quando em interação, designando-o como ecossistema. Como ecossistema, o meio ambiente possui características específicas dentro de um certo equilíbrio (Granziera, 2014). Dessa forma, o meio ambiente se relaciona e guarda grande afinidade com a ecologia, já que ambos têm conexão direta com os seres vivos e todo o tipo de vida biológica; é nessa conjunção de interações entre meio ambiente e organismos vivos que se forma o ecossistema.

Por isso, tudo aquilo que permeia os espaços sociais e se reflete na sadia qualidade de vida humana é assim considerado como meio ambiente. Supera-se, desse modo, a noção padrão de que o meio ambiente se resume ao meio ambiente natural; também se inclui, na questão ambiental, elementos artificiais e culturais que propiciam o desenvolvimento equilibrado da vida em todas as suas formas (Fiorillo, 2009).

Portanto, fala-se em: meio ambiente natural (físico), meio ambiente artificial (espaço urbano), meio ambiente do trabalho, patrimônio genético. Com isso, a questão social também foi abarcada, de maneira que o paradigma holístico da defesa do meio ambiente foi claramente ampliado.

É evidente que a proteção do meio ambiente tem por objetivo precípuo a defesa da qualidade e da continuidade da vida (Brasil, 1988). Por essa razão, não deve ser confundido com algo material específico, ou seja, uma floresta, o mar ou mesmo uma espécie protegida, pois que se manifesta como um complexo de bens agregados compondo uma realidade ambiental.

Na verdade, o meio ambiente poderia ser equiparado a uma verdadeira entidade, na qual se destacam vários bens materiais e imateriais em que se firma, ganhando, assim, proeminência na sua identificação, dado o valor relativo à composição, à característica ou à utilidade de algo que se sobressai sobre a própria coisa. Nesse sentido, o meio ambiente também pode ser visto como microbem (elementos materiais ambientais considerados isoladamente, por exemplo: as florestas, os rios, os mares) e como macrobem (a dimensão imaterial do meio ambiente).

Nesse contexto, pode-se afirmar que qualquer componente do meio ambiente merece ser protegido, pelo simples fato de pertencer a um sistema em que todas as partes estão interconectadas. Em razão dessas concepções serem facilmente notadas, historicamente, tem-se hoje o que é denominado meio ambiente digital (Benjamin, 1993).

Numa melhor compreensão, seria possível definir meio ambiente digital como o espaço virtual onde as relações humanas se desenvolvem, inclusive, para além dos territórios nacionais. As interações ocorrem por meio da tecnologia, e, sobretudo, por meio da internet. Ao mesmo tempo, trata-se de um elemento amplo e inexoravelmente ligado à qualidade de vida de todos os seres humanos no planeta Terra. Contudo, quando se pensa no ambiente digital, é inevitável considerar que a internet, dentro dos moldes que conhecemos hoje, resultou de um projeto impulsionado pelo governo norte-americano destinado a criar uma rede de comunicação composta de outras sub-redes.

Em razão dos mais diversos tipos de relações e interações sociais estabelecidos pela internet, pode-se considerar que, para além de ser uma tecnologia, a internet é também um ambiente virtual e um espaço social, ou seja, um espaço digital socializante. Assim, o meio ambiente digital (ou virtual) se vale do conjunto de tecnologias, infraestruturas, sistemas, redes e dispositivos conectados digitalmente que permitem a criação, o armazenamento, o processamento, o compartilhamento e o acesso de informações e dados na forma online.

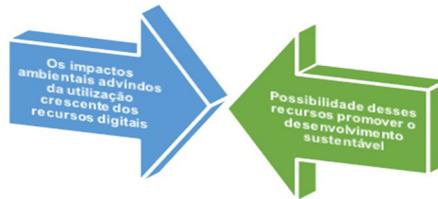
Dessa forma, a internet, os computadores, os smartphones, os tablets, servidores, redes sociais, *websociais*, aplicativos, softwares e outros instrumentos digitais são utilizados pela sociedade para estabelecer comunicação, proporcionar entretenimento, acessar trabalho e educação e diversas outras atividades como parte da interação social virtual e digital. Nota-se que o ambiente digital possui tanto aspectos positivos quanto diversos desafios relacionados à segurança e à privacidade que, somados, impactam de forma substancial no meio ambiente.

Se, por um lado, o ambiente digital oferece inúmeras oportunidades de conexão global, com acesso a informações, serviços essenciais e avanços em várias áreas, por outro lado, gera preocupações em relação ao risco de ataques virtuais, vazamento de dados, dependência excessiva da tecnologia, consumo de energia e geração de resíduos eletrônicos, entre outros.

De toda sorte, o meio ambiente digital apresenta características peculiares justamente por abranger sujeitos distintos: tanto público, quanto privado, numa multiplicidade de atores sociais que, quando conjugados à intensidade das trocas sociais que ocorrem por meio das redes de informação, apresentam problemas específicos, especialmente quando permeados pela IA.

Nesse contexto, uma vez que o objetivo principal da proteção do meio ambiente é promover a sadia qualidade de vida, o que pressupõe o desenvolvimento sustentável, surgem alguns desafios para a sociedade contemporânea e possibilidades de otimizar recursos de forma sustentável (Figura 5.1).

Figura 5.1 – Desafios e possibilidades.



É evidente que essa questão envolve a adoção de políticas ambientais que, paulatinamente, vêm sendo adotadas por alguns países, sobretudo no que tange a regulação, padrões de segurança, conscientização sobre o uso responsável da tecnologia, incentivo à economia circular (em razão dos impactos ambientais ocasionados pela implementação, cada vez maior, de ferramentas tecnológicas), dentre outras questões.

2. POTENCIALIDADES DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA O MEIO AMBIENTE DIGITAL

Alguns modelos de negócios circulares com tecnologia 4.0, utilizando IA, têm promovido relevantes benefícios à economia sustentável, especialmente no ambiente digital. No Brasil, tecnologias convergentes como IoT (*internet of things* – internet das coisas), drones, sensores e IA auxiliam na agricultura sustentável e de precisão, bem como no melhoramento genético, na bioenergia e na biomassa, que funcionam como modelos de economia circular.

No âmbito da bioeconomia, essas tecnologias ajudam a reduzir os impactos ambientais por meio da eficiência de recursos, água e energia (CTC-N, 2020). Diante das mais diversas tentativas de mitigação dos efeitos ambientais por meio da IA, dentre as iniciativas de economia circular no Chile, por exemplo, encontram-se os sistemas duais de IA e robótica avançada com vistas a melhorar a capacidade de redução de resíduos, a fim de se obter um maior número de materiais de melhor qualidade, cujos potenciais benefícios são eficiência e redução de processos de impacto ambiental (CTC-N, 2020).

No Uruguai, o Projeto Biovalor (2017) visa a promover tecnologias de recuperação de resíduos, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa, com a utilização de tecnologias 4.0, dentre elas a IA. Note-se que o modelo de negócio adotado é circular; o escopo é alcançar formas sustentáveis de promoção e consumo na evidência de que a eficiente gestão de recursos deve vir aliada à redução de custos e aos impactos ao meio ambiente (CTC-N, 2020). Embora existam iniciativas inovadoras para mitigar os impactos ambientais do uso da internet, é fato que o aumento do consumo de energia para alimentar equipamentos de computação e de informática em geral impactam negativamente na qualidade ambiental.

A utilização da IA em disseminação cada vez mais crescente está intrinsecamente relacionada com o meio digital. Se por um lado a IA consiste em uma eficiente ferramenta para aprimorar e otimizar as mais diversas atividades humanas, por outro lado, o uso do meio digital não impacta menos, mas até mais do que outras intervenções altamente poluidoras (Bordage, 2019). Assim, os centros de processamento de dados poderiam ser mais ecológicos, pois além do abastecimento energético dos computadores, com o resfriamento das instalações, há um significativo consumo de energia, uma vez que os sistemas geram grandes quantidades de calor residual (Cypionka, 2020).

Explicando em linhas gerais, enquanto alguém lê uma notícia em algum site, está acessando um conteúdo disponível na internet. Significa que, em algum lugar (neste caso, na empresa), existe ao menos um computador (servidor) responsável por armazenar o texto. Da mesma forma, existem outros servidores no percurso, permitindo que essa informação (texto) chegue até a pessoa. Logo, não é somente um notebook ou o celular que está sendo utilizado naquele momento, mas diversos outros computadores estão sobrecarregados, ligados 24 horas/dia para garantir que o conteúdo chegue até a pessoa. Quanto mais sobrecarregados, mais esses servidores consomem energia.

Um estudo realizado pela Universidade Massachusetts Amherst (Strubell; Ganesh; McCallum, 2019) demonstrou os impactos do uso de energia e de emissões de carbono de algumas inteligências artificiais. Esse estudo constatou que, em sistemas que emulam redes neurais, o treinamento de um único sistema de IA gera até cinco vezes mais emissões de carbono que um carro médio dos Estados Unidos ao longo de sua vida útil, incluindo fabricação e uso de combustível.

Na análise, quatro modelos de IA foram estudados: *transformer*, ELMo, BERT e GPT- 2, com aprendizado profundo para processamento de linguagem natural (PLN). Isto porque, para processar algo tão complexo como a linguagem, é necessário processar uma grande quantidade de dados. O processo exige a leitura de bilhões de textos; para se ter o significado das palavras e a construção de

frases, exige-se uma imensa capacidade de armazenamento e energia (Strubell; Ganesh; McCallum, 2019).

O estudo faz comparação com outras fontes de emissão carbono. No caso, um automóvel com emissão de 57 toneladas de CO₂ durante a sua vida útil. O treinamento de uma unidade de IA, capaz de decifrar linguagem, poderia emitir até 284 toneladas de carbono. Ainda que as grandes empresas de plataformas digitais busquem fazer com que parte da energia utilizada seja retirada de fontes renováveis, essa medida ainda não é suficiente para atingir o crescimento exponencial da demanda digital e seus impactos (Strubell; Ganesh; McCallum, 2019).

O exemplo citado foi extraído do referido estudo e demonstra apenas como uma alarmante demanda por energia na era digital deve ser somada aos seus outros impactos, aos quais geralmente não fazem-se associação. Assim ocorre com o lixo eletrônico e o acúmulo de materiais, a escassez de recursos, o agravamento da mudança climática, além do inexorável impacto na saúde humana (Opas, 2021). São efeitos diretos advindos da radiação eletromagnética das redes de telefonia e internet, assim como os derivados de outras formas de poluição nesse segmento industrial.

Parece crível que o consumo de energia aumente cada vez mais em função do maior acesso à internet. Segundo Cypionka (2020), mesmo que os centros de processamento de dados, computadores e smartphones passem a utilizar energia de forma mais eficiente, atualmente, essa economia ainda não é capaz de compensar o consumo adicional causado pelo crescimento da internet.

Por outro lado, somadas às grandes plataformas digitais, estão a regulamentação e a supervisão independentes, que, na prática, correm o risco de serem fortemente enviesadas a favor do interesse econômico das grandes empresas privadas. Nesse sentido, é inevitável uma melhor compreensão sobre o papel do poder público e o controle que este deve exercer em relação às atividades empreendidas no mundo digital, especialmente no que tange à utilização da internet e o consumo energético. Para além da esfera privada, é preciso que o ambiente digital ganhe a dimensão do debate também na esfera pública, de forma que as ações sociais sobre as implicações dessas tecnologias que afetam a sociedade global sejam voltadas para um ecossistema digital sustentável em nível global.

De todo modo, é de notar que as tecnologias auxiliam o meio ambiente dependendo da aplicabilidade em que estejam inseridas. Nesse sentido, a IA pode ser uma ferramenta importante no tocante à sustentabilidade no meio ambiente natural e digital.

3. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: UMA RELAÇÃO PARADIGMÁTICA

Verificou-se que as relações econômicas, enquanto parte do elemento social de interação entre os indivíduos, refletem-se no meio ambiente digital e alinham-se às ferramentas de inteligência artificial, sobretudo quando se leva em conta que uma economia pautada na tecnologia precisa estar alinhada à sustentabilidade. Assim, para que as potencialidades da IA se concretizem de forma construtiva para a sociedade, é indispensável que a sua aplicabilidade seja realizada com transparência e responsabilidade, de modo a manter o equilíbrio ecológico com vistas ao desenvolvimento econômico e social de maneira sustentável.

Antes de se adentrar no protagonismo da IA na esfera econômica e social, notadamente no ambiente digital, parece importante trazer ao contexto as observações de Norvig e Russel sobre esse tipo de tecnologia. Os autores não definem o que é a IA, mas admitem que um sistema é racional se “faz a coisa certa”, dado que ele sabe (Norvig; Russel, 2013).

Na verdade, os autores reconhecem que todo programa de computador realiza algo, mas quando se trata de um agente computacional, é de se esperar que supere o computador. Assim, a máquina – autônoma – deve perceber o meio ambiente no qual interage, deve persistir por um período prolongado e deve se adaptar às mudanças, sendo capaz de elaborar metas e tentar realizá-las (Norvig; Russel, 2013). Desse modo, sendo a IA um sistema autônomo inteligente ou um agente inteligente, espera-se que desenvolva processos inteligentes que envolvam não só operação, controle, percepção, mas determinação em acertar e adaptação a ambientes, além da criatividade e atingimento de metas.

A história é protagonista do papel que essa tecnologia desempenha na indústria e na agricultura. Nos últimos anos, com a ajuda da IA, a economia tem sido bastante impactada, notadamente no setor industrial. Sabe-se que o desenvolvimento industrial e tecnológico afeta de forma substancial o ecossistema, sobretudo o seu equilíbrio em razão da limitação dos recursos naturais. Nesse sentido, Romeiro (2010) destaca o equilíbrio do ecossistema, que não é estático, mas dinâmico, posto que se altera e se transforma em face das mais diversas interações, ocorridas entre as mais variadas espécies que dele fazem parte. Segundo ele, esse processo é conhecido como coevolução.

Nota-se que, quando a meta é preservar, no sentido de conservar, a colaboração e a cooperatividade são fundamentais. Por essa razão, a economia tem se voltado para sistemas colaborativos e de forma não linear (uso – descarte) encampando a sustentabilidade como propósito. Nasce assim a economia circular e todos os benefícios que dela se espera. Aliada a essa possibilidade, a IA se mostra como uma tecnologia facilitadora, uma vez que promove a transformação na vida

dos produtos por meio da análise preditiva. Essa técnica se vale da estatística para, com o auxílio dos dados, realizar previsões. Isso ocorre na prevenção de danos, no gerenciamento e na separação de lixo eletrônico, entre outras possibilidades, graças ao aprendizado da máquina (Enel, 2020).

Com efeito, a economia circular, cujo modelo de produção e de consumo envolve a partilha, o aluguel, a reutilização, a reparação, a renovação e a reciclagem de materiais e de produtos existentes, enquanto possível, alarga o ciclo de vida dos produtos (Parlamento Europeu, 2013), além de inserir-se como tecnologia de ponta.

Nesse contexto, a IA tem promovido grandes revoluções no âmbito da economia circular. É de se destacar que esses dois fenômenos combinados poderão turbinar o campo de alcance do desenvolvimento sustentável. Ambas partem de uma estrutura sistêmica e promovem transformações numa variedade de aplicações nos mais diversos setores da economia e da indústria.

Segundo o estudo intitulado *Artificial intelligence and the circular economy* (Inteligência artificial e economia circular), a IA é uma importante ferramenta para promover essa transição da economia linear para a economia circular. Essa tecnologia não só promove a aceleração do desenvolvimento de novos produtos, componentes e materiais adequados para nova economia circular por meio de processos iterativos de design como possibilita uma rápida prototipagem e testes (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

De acordo com um trabalho promovido pela McKinsey Sustainability, ambas, IA e economia circular, são duas megatendências que vão alavancar o desenvolvimento sustentável (McKinsey Sustainability, 2019). De acordo com esse estudo, na eliminação de resíduos em uma economia circular, a IA alavancará US\$ 127 bilhões ao ano em 2030.

Note-se que a IA está presente em todo o processo de produção, desde os estágios de plantio, colheita e processamento até o momento logístico e de consumo. Aplicações como reconhecimento de imagem são ferramentas eficientes que auxiliam não apenas no momento certo da colheita, mas também no processo de oferta e demanda até o escoamento final da produção (McKinsey Sustainability, 2019).

Para saber mais sobre a relação entre a IA e a economia circular, sugere-se a seguinte leitura:



Por outro lado, no âmbito da sustentabilidade, o segmento da gestão industrial na agricultura é a que mais se beneficia da IA, uma vez que as atividades desse segmento são muito impactantes para o meio ambiente. Nesse sentido, a IA permite a redução de diferentes tipos de resíduos e auxilia na diminuição do desperdício e das emissões em prol da sustentabilidade. Essa tecnologia, segmento da agricultura, não só realiza a análise dados, mas também auxilia desde a otimização do plantio até o monitoramento de culturas com a ajuda dos drones. Assim, com o auxílio de sistemas autônomos e robôs equipados com IA, torna-se possível estabelecer condições de desenvolvimento para tarefas complexas e sob condições adversas, melhorando a produção e promovendo eficiência no campo alimentar de forma sustentável (Merladete, 2023).

Sobre a utilização da IA na agricultura, vale a pena conferir essa matéria:



Convém ressaltar que, no campo das tecnologias aptas a garantir a sustentabilidade oceânica, a IA se destaca não só pelo seu potencial de precisão, mas pela identificação de mudanças de temperatura e salinidade, além de outros fatores ambientais de monitoramento de impactos climáticos (Frackiewicz, 2023a; 2023b). Ao otimizar a coleta e a análise de dados costeiros e oceânicos, a IA possibilita a identificação de espécies marinhas para viabilizar o processamento de imagens e gravações acústicas e obter informações em áreas remotas e de difícil acesso para um ser humano (Globo, 2023).

Não obstante, a IA, por meio das imagens de satélite, pode auxiliar no combate à pobreza, mapeando os locais mais vulneráveis por meio da digitalização.

A técnica utilizada seria de grande valor a governos e entidades comprometidas com o combate à fome e à pobreza (Veja Mercado, 2017).

Não é só na indústria e na agricultura que a IA tem promovido avanços. No segmento da saúde, há inúmeros progressos, a iniciar pela contribuição para as pesquisas e para a melhoria no atendimento ao público em geral. A assertividade e a precisão nos diagnósticos, aliadas ao tratamento precoce e personalizado, faz da IA uma ferramenta útil e necessária, sem precedentes.

CONCLUSÃO

O objetivo geral do presente capítulo é situar as tecnologias digitais na sociedade contemporânea aliadas à consolidação da internet e ao uso da IA, em suas mais variadas aplicações. Percebe-se que as inovações, nesses segmentos, ampliam-se cada vez mais, formando um ambiente apto e propício para o desenvolvimento das relações sociais, inclusive econômicas, ao que se denomina ambiente digital.

Não obstante os aspectos positivos e benéficos, a tecnologia digital esbarra numa relevante premissa: embora as ferramentas digitais forneçam soluções com uma demanda aparentemente menor de recursos naturais do que as versões analógicas, elas não são completamente inofensivas para o planeta. A poluição digital é um problema em ascensão ligado em grande medida ao consumo de eletricidade por parte do setor das tecnologias da informação (TIC). Além disso, o advento da IA aumentou ainda mais a potência computacional necessária para a realização de pesquisas, o que gera um maior consumo de energia. Pelo fato de a computação por pesquisa ser maior atualmente em virtude do maior acesso à internet, o aumento do tamanho dos centros de dados torna-se necessário, o que gera impactos ambientais e resulta em custos de energia mais altos e, por consequência, maior poluição.

A inovação da máquina a vapor e a difusão da eletricidade mudaram a sociedade. A transformação digital com o advento da internet alterou o cenário da realidade social, econômica, cultural e política. A conectividade e as tecnologias disruptivas, especialmente com relação a IA, propiciaram alternativas que possibilitam uma economia mais sustentável. No entanto, repensar a economia linear com vistas à implementação de uma economia circular requer uma análise sobre as potenciais contribuições dessas novas tecnologias. Considerando o contexto apresentado, cuja meta é a sustentabilidade dentro de um ecossistema equilibrado, a preservação, a colaboração e a cooperação são elementos fundamentais nesse processo, uma vez que essas premissas orientam a economia circular.

A IA se mostra como uma ferramenta fortemente aliada a esse processo não linear, haja vista o aprendizado da máquina e a possibilidade de promover a pre-

venção de danos no gerenciamento econômico, incluindo a identificação de dados e a triagem de resíduos para separação do lixo eletrônico, entre outras funções que promovem a continuidade do círculo de vida dos produtos, além de servir de apoio ao ser humano.

O uso da IA, na manipulação e na coleta de dados, otimiza a tomada de decisões complexas nos mais diversos setores: pesquisas, indústria, agricultura, produção de alimentos, área da saúde, entre outros. Atualmente, a IA insere-se como uma tecnologia, como tantas outras, já incorporada pela humanidade; seu advento trouxe relevantes transformações para a sociedade, característica inerente à inovação. De todo modo, é importante ressaltar os riscos e as oportunidades que o uso dessa tecnologia oferece, uma vez que eles ainda não são totalmente compreendidos. Por essa razão, é certo que o papel paradigmático da IA implica um campo enorme de pesquisa e estudo sobre as suas reais vantagens e desvantagens.

REFERÊNCIAS

- BENJAMIN, A. H. V. Função ambiental. In: BENJAMIN, A. V. (Coord.). *Dano ambiental: prevenção, reparação e repressão*. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1993, p. 75.
- BORDAGE, F. The environmental footprint of the digital world. *GreenIt.fr.*, setembro de 2019. Disponível em: https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2019/11/GREENIT_EENM_etude_EN_accessible.pdf. Acesso em: 24 jul. 2023.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em: 13 nov. 2023.
- COIMBRA, A. *O outro lado do meio ambiente*. Campinas: Millenium, 2002, p. 72.
- CTC-N. *Diagnóstico do benefício potencial da aplicação da indústria 4.0 a modelos de economia circular no Brasil, Chile, México e Uruguai. Projeto: Avaliação da situação atual da economia circular para o desenvolvimento de um roteiro para o Brasil, Chile, México e Uruguai RFP/UNIDO/7000003530*. Novembro de 2020, pp. 43-49. Disponível em: <http://www.ctc-n.org>. Acesso em: 11 jul. 2023.
- CYPIONKA, A. A internet como devoradora de energia. In: *Goethe-Institut*. Janeiro de 2020. Disponível em: <https://www.goethe.de/prj/hum/pt/nac/21737853.html>. Acesso em: 14 nov. 2023.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. *Artificial intelligence and the circular economy: AI's a tool to accelerate the transition* (2019). Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/artificial-intelligence-and-the-circular-economy>. Acesso em: 14 nov. 2023.
- EMIDIO, T. *Meio ambiente e paisagem*. São Paulo: Senac, 2017, p. 127.

- ENEL. *O robô não joga nada fora*. 15/9/2020. Disponível em: <https://www.enel.com/es/nuestra-compania/historias/articles/2020/09/inteligencia-artificial-economia-circular>. Acesso em: 6 set. 2023.
- FIORILLO, C. A. P. *Curso de direito ambiental brasileiro*. 10. ed. São Paulo: Saraiva, 2009, p. 21.
- FRACKIEWICZ, M. Como a IA está revolucionando o sensoriamento remoto dos oceanos por satélite. *TS2*, 14/5/2023a. Disponível em: <https://ts2.space/pt/como-a-ia-esta-revolucionando-o-sensoriamento-remoto-dos-oceanos-por-satelite/>. Acesso em: 6 set. 2023.
- FRACKIEWICZ, M. Oceanografia com inteligência artificial: uma nova era de descobertas marinhas. *TS2*. 30/8/2023b. Disponível em: <https://ts2.space/pt/oceanografia-com-inteligencia-artificial-uma-nova-era-de-descobertas-marinhas/#gsc.tab=0>. Acesso em: 13 nov. 2023.
- GLOBO. *Inteligência artificial pela biodiversidade: iniciativas identificam espécies a partir de imagens, medidas e sons*. 16/8/2023. Disponível em: <https://umsoplaneta.globo.com/biodiversidade/noticia/2023/08/16/inteligencia-artificial-pela-biodiversidade-iniciativas-identificam-especies-a-partir-de-imagens-medidas-e-sons.ghtml>. Acesso em: 18 set. 2023.
- GRANZIERA, M. L. M. *Direito ambiental*. São Paulo: Atlas, 2014, p. 76.
- MERLADETE, A. *Qual o papel da inteligência artificial na agricultura?* 27/6/2023. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/qual-e-o-papel-da-inteligencia-artificial-na-agricultura-_480728.html. Acesso em: 6 set. 2023.
- MCKINSEY SUSTAINABILITY. *Inteligência artificial e economia circular: a IA como ferramenta para acelerar transição*. 23/1/2019. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/artificial-intelligence-and-the-circular-economy-ai-as-a-tool-to-accelerate-the-transition/pt-BR>. Acesso em: 6 set. 2023.
- NORVIG, P.; RUSSELL, S. *Inteligência artificial: uma abordagem moderna*. Tradução de Regina Célia Simille. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013, p. 24-27.
- ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). *Aumento do lixo eletrônico afeta saúde de milhões de crianças, alerta OMS*. 15/06/2021. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/15-6-2021-aumento-do-lixo-eletronico-afeta-saude-milhoes-criancas-alerta-oms>. Acesso em: 14 nov. 2023.
- PARLAMENTO EUROPEU. *Atualidade. Economia circular: definição, importância e benefícios*. 24/5/2023. Disponível em: https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicao-importancia-e-beneficios?&at_campaign=20234-Economy&at_medium=Google_Ads&at_platform=Search&at_creation=RSA&at_goal=TR_G&at_audience=economia%20circular&at_topic=Circular_Economy&at_location=PT&gclid=Cj0KCCQjwxuCN-BhDLARIsAB-cq1pD2kPPCN9lxAjNbmHBUVIFCBP57JJ1gpOCU802FvHP-Q7MKH0OS8oYaAnlZEALw_wcB. Acesso em: 6 set. 2023.

ROMEIRO, A. R. Economia ou economia política da sustentabilidade. In: MAY, P. H. (Org.). *Economia do meio ambiente. Teoria e prática*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010, p. 24.

SIRVINKAS, L. P. *Manual de direito ambiental*. São Paulo: Saraiva, 2015, p. 759.

STRUBELL, E.; GANESH A.; MCCALLUM, A. Energy and policy considerations for deep learning in NLP. *57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL), Julho 2019, Florença Itália*. Disponível em: aclanthology.org. Acesso em: 22 jul. 2023.

VEJA MERCADO. Cientistas vão usar inteligência artificial no combate à pobreza. *Veja*. 18/8/2017. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/economia/cientistas-vao-usar-inteligencia-artificial-no-combate-a-pobreza>. Acesso em: 6 set 2023.