

XXXII CONGRESSO NACIONAL DO CONPEDI SÃO PAULO - SP

DIREITO E SUSTENTABILIDADE II

NIVALDO DOS SANTOS

LAURA MAGALHÃES DE ANDRADE

SOLANGE TELES DA SILVA

Todos os direitos reservados e protegidos. Nenhuma parte destes anais poderá ser reproduzida ou transmitida sejam quais forem os meios empregados sem prévia autorização dos editores.

Diretoria - CONPEDI

Presidente - Profa. Dra. Samyra Haydée Dal Farra Naspolini - FMU - São Paulo

Diretor Executivo - Prof. Dr. Orides Mezzaroba - UFSC - Santa Catarina

Vice-presidente Norte - Prof. Dr. Jean Carlos Dias - Cesupa - Pará

Vice-presidente Centro-Oeste - Prof. Dr. José Querino Tavares Neto - UFG - Goiás

Vice-presidente Sul - Prof. Dr. Leonel Severo Rocha - Unisinos - Rio Grande do Sul

Vice-presidente Sudeste - Profa. Dra. Rosângela Lunardelli Cavallazzi - UFRJ/PUCRio - Rio de Janeiro

Vice-presidente Nordeste - Prof. Dr. Raymundo Juliano Feitosa - UNICAP - Pernambuco

Representante Discente: Prof. Dr. Abner da Silva Jaques - UPM/UNIGRAN - Mato Grosso do Sul

Conselho Fiscal:

Prof. Dr. José Filomeno de Moraes Filho - UFMA - Maranhão

Prof. Dr. Caio Augusto Souza Lara - SKEMA/ESDHC/UFMG - Minas Gerais

Prof. Dr. Valter Moura do Carmo - UFERSA - Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Fernando Passos - UNIARA - São Paulo

Prof. Dr. Edinilson Donisete Machado - UNIVEM/UENP - São Paulo

Secretarias

Relações Institucionais:

Prof. Dra. Claudia Maria Barbosa - PUCPR - Paraná

Prof. Dr. Heron José de Santana Gordilho - UFBA - Bahia

Profa. Dra. Daniela Marques de Moraes - UNB - Distrito Federal

Comunicação:

Prof. Dr. Robison Tramontina - UNOESC - Santa Catarina

Prof. Dr. Liton Lanes Pilau Sobrinho - UPF/Univali - Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Lucas Gonçalves da Silva - UFS - Sergipe

Relações Internacionais para o Continente Americano:

Prof. Dr. Jerônimo Siqueira Tybusch - UFSM - Rio Grande do sul

Prof. Dr. Paulo Roberto Barbosa Ramos - UFMA - Maranhão

Prof. Dr. Felipe Chiarello de Souza Pinto - UPM - São Paulo

Relações Internacionais para os demais Continentes:

Profa. Dra. Gina Vidal Marcilio Pompeu - UNIFOR - Ceará

Profa. Dra. Sandra Regina Martini - UNIRITTER / UFRGS - Rio Grande do Sul

Profa. Dra. Maria Claudia da Silva Antunes de Souza - UNIVALI - Santa Catarina

Educação Jurídica

Profa. Dra. Viviane Coêlho de Séllos Knoerr - Unicuritiba - PR

Prof. Dr. Rubens Beçak - USP - SP

Profa. Dra. Livia Gaigher Bosio Campello - UFMS - MS

Eventos:

Prof. Dr. Yuri Nathan da Costa Lannes - FDF - São Paulo

Profa. Dra. Norma Sueli Padilha - UFSC - Santa Catarina

Prof. Dr. Juraci Mourão Lopes Filho - UNICHRISTUS - Ceará

Comissão Especial

Prof. Dr. João Marcelo de Lima Assafim - UFRJ - RJ

Profa. Dra. Maria Creusa De Araújo Borges - UFPB - PB

Prof. Dr. Antônio Carlos Diniz Murta - Fumec - MG

Prof. Dr. Rogério Borba - UNIFACVEST - SC

D597

Direito e sustentabilidade II[Recurso eletrônico on-line] organização CONPEDI

Coordenadores: Nivaldo Dos Santos, Laura Magalhães de Andrade, Solange Teles da Silva – Florianópolis: CONPEDI, 2025.

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-5274-327-5

Modo de acesso: www.conpedi.org.br em publicações

Tema: Os Caminhos Da Internacionalização E O Futuro Do Direito

1. Direito – Estudo e ensino (Pós-graduação) – Encontros Nacionais. 2. Direito. 3. Sustentabilidade. XXXII Congresso Nacional do CONPEDI São Paulo - SP (4: 2025: Florianópolis, Brasil).

CDU: 34

XXXII CONGRESSO NACIONAL DO CONPEDI SÃO PAULO - SP

DIREITO E SUSTENTABILIDADE II

Apresentação

A apresentação do Conpedi no GRUPO DE TRABALHO DIREITO E SUSTENTABILIDADE II evidenciou uma tendência de temáticas contemporâneas como a Sustentabilidade das Cidades e excludente, Regulação da Logística reversa, Responsabilidade socioambiental das empresas agroindustriais, Transição energética brasileira, Responsabilidade extraterritorial, Meio ambiente, saúde, moradia e mineração, Consumo sustentável, Economia Circular, Justiça energética, Mediação ambiental, Mudanças climáticas, Inteligência artificial verde, Ética e desenvolvimento, Compras públicas sustentáveis, Governança climática, Objetivos do milênio e Sociedade digital.

Essas abordagens demonstram uma atualidade dos conteúdos indicados ao CONPEDI para a avaliação e suas aprovações de textos de profundidade científica, teórica, acadêmica, técnica e tecnológica. Recomendamos a todos a leitura dos trabalhos comunicados como importantes aos Programas de pós-graduação em Direito e de outras áreas

Nivaldo dos Santos

Universidade Federal de Goiás

Laura Magalhães de Andrade

Universidade Federal Fluminense

Solange Teles da Silva

Universidade Presbiteriana Mackenzie

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL VERDE: SOLUÇÕES ALGORÍTMICAS PARA A CRISE CLIMÁTICA GLOBAL

GREEN ARTIFICIAL INTELLIGENCE: ALGORITHMIC SOLUTIONS FOR THE GLOBAL CLIMATE CRISIS

Lucas Lima dos Anjos Virtuoso ¹

Maria Cláudia da Silva Antunes De Souza ²

Sergio Lima dos Anjos Virtuoso ³

Resumo

A intensificação da crise climática global tem impulsionado a busca por soluções inovadoras e sustentáveis, capazes não apenas de mitigar seus impactos, mas também de promover uma transição ecológica justa e efetiva. Nesse contexto, a Inteligência Artificial Verde (Green AI) se apresenta como uma ferramenta estratégica, permitindo análises preditivas sobre desastres naturais, otimizando o uso de recursos energéticos e aprimorando o monitoramento ambiental em tempo real. Este artigo tem como objetivo investigar o papel da Inteligência Artificial na formulação e implementação de políticas climáticas mais eficazes, analisando suas aplicações, riscos, limitações e possibilidades de integração com as políticas públicas ambientais já existentes. A abordagem metodológica é qualitativa, de cunho bibliográfico e documental, fundamentada em fontes nacionais e internacionais, documentos oficiais e literatura especializada. Os resultados indicam que, embora a IA Verde apresente avanços concretos na detecção precoce de riscos ambientais, na redução do desperdício energético e na preservação da biodiversidade, sua eficácia plena ainda é limitada por desafios tecnológicos, sociais e éticos. Dessa forma, evidencia-se a necessidade de articulação com políticas públicas robustas, regulamentação adequada e cooperação internacional, a fim de garantir sua efetividade e aplicação ética. O estudo pretende contribuir para o debate interdisciplinar sobre sustentabilidade, tecnologia e governança ambiental, destacando o potencial transformador da IA como instrumento de enfrentamento e adaptação diante da crise climática global.

Palavras-chave: Inteligência artificial verde, Sustentabilidade, Crise climática, Políticas públicas ambientais, Soluções algorítmicas

¹ Mestrando em Ciência Jurídica (Univali) no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciência Jurídica. Pós-Graduando em Direito Processual Civil (UNIVALI). <http://lattes.cnpq.br/5546824088969378>. lucasvirtuosoo@icloud.com;

² Doutora e Mestre em Derecho Ambiental y Sostenibilidad Universidade de Alicante –Espanha. Mestre em Direito – UNIVALI. Professora Permanente no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciência Jurídica - UNIVALI.

³ Mestre em Gestão de Políticas Públicas. Pós-Graduado em Advocacia Prática Criminal (UNIVALI). Pós-Graduado em Direito Penal e Processo Penal (EBRADI e na UNIVALI). <http://lattes.cnpq.br/8494972447453804>. limas.sergio@hotmail.com;

Abstract/Resumen/Résumé

The intensification of the global climate crisis has driven the search for innovative and sustainable solutions, capable not only of mitigating its impacts but also of promoting a just and effective ecological transition. In this context, Green Artificial Intelligence (Green AI) emerges as a strategic tool, enabling predictive analyses of natural disasters, optimizing energy resource usage, and enhancing real-time environmental monitoring. This article aims to investigate the role of Artificial Intelligence in the formulation and implementation of more effective climate policies, analyzing its applications, risks, limitations, and possibilities for integration with existing environmental public policies. The methodological approach is qualitative, bibliographic, and documental, based on national and international sources, official documents, and specialized literature. The results indicate that, although Green AI presents concrete advances in early detection of environmental risks, reducing energy waste, and preserving biodiversity, its full effectiveness is still limited by technological, social, and ethical challenges. Thus, the need for articulation with robust public policies, adequate regulation, and international cooperation is evident to ensure its effectiveness and ethical application. This study seeks to contribute to the interdisciplinary debate on sustainability, technology, and environmental governance, highlighting the transformative potential of AI as an instrument for confronting and adapting to the global climate crisis.

Keywords/Palabras-claves/Mots-clés: Green artificial intelligence, Sustainability, Climate crisis, Environmental public policies, Algorithmic solutions

INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, a humanidade tem se deparado com sinais cada vez mais claros de que os limites naturais do planeta não são infinitos. Fenômenos extremos, eventos climáticos imprevisíveis e a degradação ambiental acelerada evidenciam que as ações humanas estão profundamente interligadas ao equilíbrio ecológico. Essa conjuntura não apenas desafia a capacidade de adaptação das sociedades, mas também exige repensar paradigmas de desenvolvimento, consumo e governança ambiental, abrindo espaço para novas abordagens tecnológicas e políticas capazes de enfrentar os complexos problemas socioambientais contemporâneos.

O século XXI é marcado pela intensificação dos alertas científicos sobre os limites do planeta e os impactos das ações humanas no clima global. O aquecimento da Terra, a perda da biodiversidade e o colapso de ecossistemas decorrem de um modelo de desenvolvimento insustentável, sustentado em padrões de produção e consumo que ignoram a finitude dos recursos naturais e as desigualdades sociais.

Nesse cenário, a Agenda 2030 e seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 13 – Ação contra a mudança global do clima –, impõem aos Estados, empresas e à sociedade civil a urgência de soluções inovadoras e tecnologicamente avançadas.

Entre essas inovações, destaca-se a Inteligência Artificial Verde (Green AI), conceito que combina os avanços computacionais da IA com preocupações éticas, energéticas e ecológicas. Essa abordagem não se limita à redução do consumo energético dos sistemas de IA, mas envolve sua aplicação em áreas críticas da transição ecológica, como o monitoramento de desmatamentos, o controle de emissões de gases do efeito estufa, a previsão de desastres naturais e a otimização de recursos energéticos (REZENDE, 2021). Assim, a IA Verde configura-se como uma aliada estratégica no enfrentamento dos desafios climáticos globais.

Contudo, embora o potencial da IA para a sustentabilidade seja amplamente reconhecido, sua efetividade depende da integração com políticas públicas, estruturas regulatórias e modelos de governança ambiental (ACSELRAD, 2010). Sem isso, há o risco de que essas tecnologias reproduzam desigualdades, agravem a dependência tecnológica do Sul Global e contribuam para uma nova forma de colonialismo digital.

A sustentabilidade, portanto, deve ser compreendida em suas dimensões social, ambiental e tecnológica, considerando os direitos humanos, a justiça ambiental e o respeito à autodeterminação dos povos (PORTO-GONÇALVES, 2006).

Diante dessa complexidade, o presente estudo parte do seguinte problema de pesquisa: em que medida a Inteligência Artificial Verde pode contribuir para a mitigação da crise climática global, promovendo uma governança ambiental sustentável e inclusiva?

A partir disso, formula-se a hipótese de que a aplicação de soluções algorítmicas baseadas em Inteligência Artificial Verde, quando integradas a políticas públicas e orientadas por princípios éticos e ambientais, pode favorecer a mitigação efetiva da crise climática e impulsionar a sustentabilidade social e ecológica no Brasil.

O objetivo geral consiste em analisar a eficácia e os limites da Inteligência Artificial Verde como ferramenta de enfrentamento da crise climática global.

Os objetivos específicos são: (i) discutir o conceito e as origens da IA Verde e suas principais subáreas; (ii) mapear aplicações concretas da IA em políticas ambientais e climáticas no Brasil e no mundo; (iii) avaliar os riscos, limitações e desafios éticos da adoção da IA na governança ambiental; e (iv) propor diretrizes para a integração de soluções algorítmicas em políticas públicas sustentáveis.

O estudo adota o método hipotético-dedutivo, partindo de premissas teóricas consolidadas sobre desenvolvimento sustentável, justiça climática e tecnologia, para testar a viabilidade de soluções algorítmicas no enfrentamento da crise ambiental. Será utilizada a pesquisa qualitativa, de caráter bibliográfico e documental, fundamentada em obras doutrinárias, artigos científicos, relatórios internacionais e documentos normativos, especialmente os relatórios do IPCC e os marcos das Conferências das Partes (COPs).

A análise se concentrará na necessidade de democratização do acesso à tecnologia, na articulação entre ciência e política e na regulação ética da IA no contexto climático. Além disso, buscará avaliar a importância da IA Verde como ferramenta de antecipação e resposta a desastres ambientais, bem como sua viabilidade enquanto instrumento de justiça ambiental, transparência e sustentabilidade.

1. CRISE CLIMÁTICA GLOBAL E OS DESAFIOS DA SUSTENTABILIDADE

A crise climática configura-se como um dos maiores desafios da contemporaneidade, não apenas por seus impactos ambientais imediatos, mas também

por suas implicações sociais, econômicas e jurídicas. O aumento da temperatura média do planeta, a intensificação de eventos climáticos extremos e a aceleração da perda de biodiversidade revelam um cenário em que a humanidade se confronta com os limites de sua própria atuação sobre a natureza. Trata-se de uma crise multidimensional que exige respostas urgentes, interdisciplinares e globais, capazes de repensar modelos de desenvolvimento, reorientar políticas públicas e incorporar a sustentabilidade como princípio estruturante da governança internacional.

A crise climática global, conforme destaca Oliveira (2022), resulta de um modelo econômico insustentável que ultrapassa os limites planetários, gerando degradação ambiental sem precedentes.

No cenário internacional, as orientações do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC), consolidadas nos seus relatórios periódicos, apontam que a mitigação efetiva exige ações urgentes em diversos setores, com especial atenção à eficiência energética como eixo de transição para uma economia de baixo carbono (IPCC, 2021).

De acordo com Moreno Molina (2021), fomentar a eficiência energética e o uso racional da energia constitui um objetivo “constitucionalizado” da política energética da União Europeia, sendo incorporado em instrumentos como a Diretiva 2006/32/CE e a Diretiva 2012/27/UE, que estabelecem metas vinculantes de redução do consumo energético e das emissões de gases de efeito estufa.

Entre as metas destacam-se a redução de 20% no consumo de energia primária até 2020 e a melhoria de 27% na eficiência até 2030, com discussões para alcançar 40% no mesmo horizonte temporal. Essas metas se alinham às decisões das Conferências das Partes (COPs), especialmente o Acordo de Paris (2015), que busca limitar o aquecimento global a 1,5°C (UNFCCC, 2015).

A Agenda 2030 incorpora no ODS 13 a urgência de medidas contra a mudança climática, estabelecendo relação direta entre governança climática, eficiência energética e inovação tecnológica (ONU, 2015).

Nesse sentido, Moreno Molina (2021) ressalta que políticas climáticas eficazes devem integrar ciência, tecnologia e inovação, promovendo uma transição justa para modelos sustentáveis e assegurando que os benefícios sejam distribuídos equitativamente.

As tecnologias digitais emergem como aliadas estratégicas: redes energéticas inteligentes (smart grids) otimizam a distribuição e reduzem perdas; modelos preditivos

baseados em inteligência artificial permitem antecipar eventos extremos; e sistemas de monitoramento em tempo real apoiam a tomada de decisões baseada em evidências.

Essas soluções não apenas aumentam a eficiência e reduzem custos ambientais, mas também fortalecem a cooperação internacional no intercâmbio de dados, conhecimentos e tecnologias (MORENO MOLINA, 2021).

Em síntese, a governança ambiental global contemporânea incorpora a eficiência energética como elemento central das estratégias de mitigação, articulando políticas públicas, inovação tecnológica e cooperação internacional para o cumprimento das metas do IPCC, dos compromissos das COPs e do ODS 13.

No entanto, como observa Oliveira (2022), a eficácia dessas medidas dependerá da superação da lógica econômica de crescimento ilimitado e da consolidação de políticas climáticas de longo prazo.

Diante desse panorama internacional, observa-se que a eficiência energética, a inovação tecnológica e a cooperação multilateral são elementos estratégicos para a mitigação das mudanças climáticas e para o cumprimento das metas globais estabelecidas pelo IPCC, COPs e ODS 13.

Entretanto, como alerta Oliveira (2022), a implementação dessas medidas enfrenta obstáculos estruturais que extrapolam a esfera técnica ou científica.

A persistência de uma lógica econômica orientada para o crescimento ilimitado, a desigualdade na distribuição de recursos e tecnologias, e a fragilidade de mecanismos de governança ambiental em diversos países comprometem o alcance das metas estabelecidas.

Assim, a discussão desloca-se para um ponto crucial: compreender quais são os desafios reais da sustentabilidade no contexto da crise climática global. Isso implica analisar não apenas os aspectos ambientais, mas também os fatores sociais, econômicos e institucionais que influenciam a capacidade dos Estados e da comunidade internacional de adotar políticas climáticas robustas, justas e efetivas.

A construção de um modelo de desenvolvimento sustentável enfrenta obstáculos que vão muito além da dimensão ambiental, abrangendo aspectos econômicos, sociais, políticos e institucionais. Como observa Sachs (2008), a sustentabilidade deve ser compreendida como um conceito multidimensional, envolvendo simultaneamente as dimensões social, econômica, ecológica, espacial e cultural. Quando qualquer uma dessas dimensões é negligenciada, o equilíbrio sistêmico se rompe.

No plano econômico, Oliveira (2022) enfatiza que a lógica dominante do crescimento ilimitado é incompatível com os limites ecológicos do planeta. A economia global, baseada na extração intensiva de recursos naturais e no consumo acelerado, perpetua padrões de produção e consumo que contrariam os princípios de regeneração ambiental.

Essa dinâmica é agravada por incentivos fiscais e subsídios a combustíveis fósseis, que continuam a predominar em muitos países, mesmo após compromissos assumidos no âmbito das Conferências das Partes (COPs) e das metas do Acordo de Paris (UNFCCC, 2015).

Do ponto de vista social, Sachs (2015) e Leff (2004) alertam para a necessidade de que as políticas de sustentabilidade considerem a justiça social e a equidade na distribuição de custos e benefícios das medidas ambientais.

A transição energética, por exemplo, pode gerar desigualdades se não for acompanhada de políticas públicas que assegurem emprego digno, capacitação e inclusão das comunidades vulneráveis. Essa perspectiva é coerente com a noção de justiça climática, destacada por Robinson (2021), segundo a qual os impactos e benefícios das políticas climáticas devem ser distribuídos de forma equitativa.

No âmbito institucional, Moreno Molina (2021) identifica entraves como a fragmentação normativa, a falta de harmonização entre legislações nacionais e internacionais e a insuficiência de mecanismos de monitoramento e cumprimento efetivo das metas. A experiência da União Europeia com diretivas de eficiência energética demonstra que, mesmo em blocos econômicos com alta capacidade técnica, a implementação prática enfrenta resistências políticas, dificuldades orçamentárias e disparidades entre os Estados-membros.

Além disso, desafios tecnológicos também se impõem. Embora avanços como redes elétricas inteligentes (smart grids), sistemas de monitoramento ambiental em tempo real e modelos preditivos para eventos extremos tenham potencial para reduzir emissões e otimizar recursos, sua implementação demanda elevados investimentos e marcos regulatórios robustos (MORENO MOLINA, 2021).

Essa realidade é particularmente crítica nos países em desenvolvimento, onde a escassez de recursos financeiros e a dependência tecnológica dificultam a adoção de soluções inovadoras.

Por fim, um dos maiores desafios reside na governança global. A eficácia dos compromissos multilaterais depende da capacidade de coordenação entre Estados,

organizações internacionais e setor privado. Sem mecanismos de responsabilização e monitoramento transparentes, as metas estabelecidas no âmbito do IPCC, do ODS 13 e das COPs correm o risco de permanecerem como compromissos formais de baixa efetividade.

Em síntese, a superação dos desafios da sustentabilidade requer uma abordagem integrada, que combine: (i) reformas econômicas para internalizar os custos ambientais; (ii) políticas sociais que garantam uma transição justa; (iii) fortalecimento institucional e jurídico para assegurar a implementação de metas; e (iv) investimentos em ciência, tecnologia e inovação voltados à resiliência climática. Sem essa integração, a transição para um modelo sustentável permanecerá vulnerável às mesmas forças que hoje perpetuam a crise climática global.

As políticas públicas climáticas constituem o principal instrumento dos Estados para enfrentar a crise climática, traduzindo compromissos internacionais em ações concretas no plano doméstico. Segundo Viola e Franchini (2019), a política climática pode ser compreendida como um conjunto integrado de medidas legislativas, regulatórias, econômicas e administrativas voltadas à mitigação e à adaptação às mudanças climáticas, com base nas melhores evidências científicas.

No plano internacional, os compromissos assumidos nas Conferências das Partes (COPs) e nas diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) orientam a formulação dessas políticas. O Acordo de Paris (UNFCCC, 2015) estabeleceu o mecanismo das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), por meio do qual cada país apresenta metas voluntárias e revisáveis de redução de emissões. Entretanto, como observa Oliveira (2022), a efetividade dessas metas depende de mecanismos robustos de monitoramento, transparência e responsabilização, sob pena de se tornarem compromissos meramente formais.

A governança ambiental global, conforme definido por Keohane e Victor (2016), é o arranjo institucional que coordena múltiplos atores — Estados, organizações internacionais, empresas, sociedade civil e comunidades locais — para lidar com problemas ambientais transnacionais. No campo climático, essa governança é caracterizada por um regime complexo, formado por tratados multilaterais (como a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima), iniciativas regionais (como o Pacto Verde Europeu) e acordos setoriais (como a International Solar Alliance).

A integração entre políticas energéticas e climáticas é apontada como essencial para a efetividade das metas internacionais. Como destacam Santos e Ferreira (2020), a

mitigação das mudanças climáticas depende de “uma transição energética acelerada, com diversificação da matriz e substituição progressiva dos combustíveis fósseis por fontes renováveis” (p. 2). No caso brasileiro, embora exista elevado potencial para energias renováveis, barreiras institucionais e de financiamento ainda limitam a plena adoção dessas fontes (SANTOS; FERREIRA, 2020).

Além da mitigação, a adaptação às mudanças climáticas exige uma abordagem transversal e intersetorial. Costa, Souza e Almeida (2019) observam que “a fragmentação institucional é um dos principais entraves à governança climática no Brasil” (p. 5) e que a resiliência climática depende da integração entre políticas ambientais, de saúde, segurança hídrica e desenvolvimento urbano. Essa visão reforça a necessidade de uma governança que articule políticas setoriais em todos os níveis de governo, incorporando a participação social e a ciência cidadã como elementos estruturantes.

Exemplos relevantes de governança climática incluem a política da União Europeia de neutralidade climática até 2050, que combina instrumentos regulatórios (como o European Climate Law), mecanismos de precificação de carbono (EU ETS) e investimentos em tecnologias limpas. Moreno Molina (2021) destaca que a experiência europeia com diretivas de eficiência energética e normas de desempenho para edifícios demonstra que a governança climática eficaz exige integração vertical (entre níveis de governo) e horizontal (entre setores econômicos).

No contexto latino-americano, países como Brasil, Chile e Colômbia incorporaram metas climáticas em legislações nacionais, como a Lei nº 14.119/2021 no Brasil, que institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais, e a Lei de Mudança Climática de 2021 na Espanha, que inclui medidas para eficiência energética e renovação de edifícios (MORENO MOLINA, 2021). Essas iniciativas buscam alinhar compromissos internacionais aos objetivos de desenvolvimento sustentável, notadamente o ODS 13 (ONU, 2015).

A governança climática global enfrenta, contudo, desafios significativos: ausência de autoridade supranacional para impor sanções, divergências entre países desenvolvidos e em desenvolvimento sobre responsabilidades históricas e futuras, e insuficiência de financiamento climático para adaptação em países mais vulneráveis. Robinson (2021) defende que a superação dessas barreiras requer a adoção de um princípio de justiça climática como eixo da cooperação internacional, assegurando que os custos da transição para uma economia de baixo carbono não recaiam desproporcionalmente sobre as populações mais pobres.

Assim, políticas públicas climáticas e uma governança ambiental global eficaz devem ser compreendidas como dimensões complementares e interdependentes: as primeiras materializam as metas e compromissos internacionais no plano nacional; a segunda assegura a coordenação, a transparência e a cooperação necessárias para enfrentar um problema que, por natureza, não reconhece fronteiras.

2. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E SUSTENTABILIDADE

A relação entre tecnologia e sustentabilidade tem adquirido relevância crescente no debate acadêmico e político, sobretudo diante da necessidade de soluções inovadoras para enfrentar os limites planetários. Nesse contexto, a Inteligência Artificial desponta como ferramenta capaz de potencializar diagnósticos ambientais, antecipar riscos e apoiar políticas públicas climáticas. Ao mesmo tempo, sua utilização impõe dilemas éticos, sociais e energéticos que não podem ser negligenciados. Assim, compreender a Inteligência Artificial em suas múltiplas subáreas, bem como o conceito emergente de Inteligência Artificial Verde (Green AI), torna-se essencial para avaliar se a inovação tecnológica pode ser conciliada com os objetivos de justiça ambiental e transição ecológica.

A Inteligência Artificial (IA) pode ser definida como o conjunto de técnicas computacionais capazes de realizar tarefas que tradicionalmente exigiriam inteligência humana, como reconhecimento de padrões, tomada de decisão, aprendizado e raciocínio (Gomes; Almeida, 2021; Martins; Oliveira, 2022; Silva; Rocha; Mendes, 2023). Trata-se de um campo multidisciplinar que integra ciência da computação, estatística, matemática e áreas afins, visando criar sistemas capazes de aprender, adaptar-se e melhorar seu desempenho com base em dados.

Entre as principais subáreas da IA, destaca-se o Machine Learning (ML), responsável pelo desenvolvimento de algoritmos capazes de aprender padrões a partir de dados e aplicá-los para previsão ou classificação de informações, sendo amplamente utilizado em setores como energia, gestão ambiental e segurança (Martins; Oliveira, 2022; Almeida; Santos; Lima, 2023).

O Deep Learning (DL), por sua vez, é uma vertente do ML que utiliza redes neurais profundas para lidar com problemas de alta complexidade, como o reconhecimento de imagens de satélite e a detecção de alterações ambientais sutis (Gomes; Almeida, 2021; Silva; Rocha; Mendes, 2023).

O Big Data Analytics refere-se à análise massiva e integrada de grandes volumes de dados, permitindo identificar padrões e tendências que seriam invisíveis em conjuntos de dados menores.

Essa subárea é crucial para o monitoramento ambiental e climático, pois possibilita cruzar dados de sensores, imagens e modelos de previsão para subsidiar decisões estratégicas (Martins; Oliveira, 2022; Castro; Leal; Brito, 2025).

Já o Processamento de Linguagem Natural (PLN) e a Visão Computacional representam subáreas específicas voltadas, respectivamente, para a interpretação de textos e fala, e para a análise automatizada de imagens e vídeos — recursos essenciais para a extração de informações de relatórios ambientais e para a detecção de desmatamento ou degradação florestal (Silva; Rocha; Mendes, 2023; Almeida; Santos; Lima, 2023).

Conforme destaca Castro, Leal e Brito (2025), a incorporação dessas subáreas no setor energético e ambiental não apenas otimiza processos, mas também abre caminho para um novo paradigma técnico-econômico, em que decisões estratégicas passam a ser tomadas com base em evidências e análises preditivas de alta precisão.

A compreensão das subáreas da Inteligência Artificial é fundamental para avançar na análise de sua aplicação em prol da sustentabilidade. Nesse sentido, ganha destaque a chamada Inteligência Artificial Verde (Green AI), conceito que sintetiza o uso estratégico da IA para promover a preservação ambiental, reduzir impactos negativos e otimizar recursos energéticos (Martins; Oliveira, 2022; Silva; Rocha; Mendes, 2023).

De acordo com Martins e Oliveira (2022), o termo Green AI está associado a dois eixos principais: IA para Sustentabilidade, voltada ao desenvolvimento e aplicação de sistemas inteligentes que contribuam para a mitigação de impactos ambientais e para o apoio a políticas climáticas; e Sustentabilidade da IA, que busca minimizar o consumo energético e a pegada de carbono dos próprios sistemas de IA. Esse duplo enfoque reforça que a inovação tecnológica deve ser acompanhada de responsabilidade socioambiental.

Silva, Rocha e Mendes (2023) exemplificam a aplicação prática do Green AI no contexto da Floresta Amazônica, onde sistemas de aprendizado de máquina e visão computacional auxiliam na detecção precoce de desmatamento e queimadas, alinhando-se diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 13 – Ação Climática – e 15 – Vida Terrestre. Para os autores, trata-se de um modelo de tecnologia orientado não apenas à eficiência, mas também à equidade ambiental e social.

O termo Green AI em sua essência se manifesta em múltiplas iniciativas, como na aplicação da IA à gestão inteligente de resíduos sólidos, com otimização de rotas de coleta e consequente redução de emissões (Almeida; Santos; Lima, 2023), ou na modernização do setor elétrico, tornando-o mais eficiente e resiliente por meio da integração de fontes renováveis e da diminuição de perdas operacionais (Castro; Leal; Brito, 2025).

Em ambos os casos, observa-se um denominador comum: o emprego de sistemas inteligentes como ferramentas estratégicas para o cumprimento de metas ambientais globais, incluindo aquelas previstas no Acordo de Paris.

Nesse sentido, o Green AI não se limita à mitigação de impactos ambientais diretos, mas incorpora uma visão de governança tecnológica sustentável, na qual inovação e preservação se entrelaçam para construir soluções escaláveis e replicáveis em diferentes contextos (Gomes; Almeida, 2021; Martins; Oliveira, 2022). Trata-se de um paradigma emergente que reposiciona a IA como ferramenta central na transição para uma economia de baixo carbono e na conservação dos ecossistemas.

A lógica do Green AI, discutida anteriormente, ganha concretude por meio de aplicações práticas que integram inovação tecnológica e objetivos ambientais. Essas soluções têm se mostrado decisivas para viabilizar a transição energética, otimizar o controle de emissões e promover a preservação de ecossistemas estratégicos (Martins; Oliveira, 2022; Silva; Rocha; Mendes, 2023).

No campo da transição energética, a IA tem sido utilizada para prever a geração de energias renováveis intermitentes, como a solar e a eólica, e para integrar essas fontes às redes inteligentes (smart grids), aumentando a confiabilidade e eficiência do sistema elétrico (Castro; Leal; Brito, 2025; Gomes; Almeida, 2021). Algoritmos de machine learning permitem gerenciar a distribuição de energia de forma dinâmica, considerando variações de demanda e disponibilidade, enquanto gêmeos digitais possibilitam simular cenários e planejar expansões com menor risco (Castro; Leal; Brito, 2025).

Quanto ao controle de emissões, a IA tem se mostrado fundamental para o monitoramento e quantificação de gases de efeito estufa (GEE), identificando fontes de poluição não mapeadas e auxiliando na formulação de políticas de mitigação (Martins; Oliveira, 2022).

Sensores integrados à Internet das Coisas (IoT) e análises de big data são empregados para medir níveis de poluentes atmosféricos em tempo real, permitindo respostas rápidas e precisas (Almeida; Santos; Lima, 2023).

No setor de resíduos, a otimização de rotas de coleta reduz o consumo de combustíveis fósseis e, consequentemente, as emissões associadas (Almeida; Santos; Lima, 2023).

Na preservação ambiental, as aplicações de IA incluem o uso de imagens de satélite e drones para monitoramento de florestas, detecção de desmatamento e queimadas, bem como o acompanhamento da biodiversidade por meio de visão computacional e análise acústica (Silva; Rocha; Mendes, 2023).

Iniciativas como o projeto PrevisIA, na Amazônia, utilizam modelos preditivos para identificar áreas sob risco de degradação, alcançando taxas de precisão superiores a 90% e permitindo ações preventivas antes que danos irreversíveis ocorram (Silva; Rocha; Mendes, 2023).

Essas aplicações demonstram que a IA, quando orientada por princípios de sustentabilidade, não atua apenas como ferramenta de otimização, mas como componente central de uma estratégia de governança ambiental baseada em dados.

A convergência entre inteligência computacional, energias limpas e preservação de recursos naturais representa um caminho promissor para o cumprimento das metas do Acordo de Paris e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, em especial os ODS 7 (Energia Acessível e Limpa), ODS 13 (Ação Climática) e ODS 15 (Vida Terrestre) (Gomes; Almeida, 2021; Martins; Oliveira, 2022).

3. SOLUÇÕES ALGORÍTMICAS E FERRAMENTAS DE MITIGAÇÃO CLIMÁTICA

A crescente sofisticação dos sistemas algorítmicos possibilita a criação de modelos preditivos e ferramentas de monitoramento que transformam a forma como governos, empresas e sociedade civil lidam com a crise climática. Ao integrar grandes volumes de dados e técnicas de aprendizado de máquina, a Inteligência Artificial oferece novas perspectivas para previsão de desastres naturais, otimização de redes energéticas e preservação ambiental. Contudo, a adoção dessas ferramentas também demanda reflexão sobre seus riscos e limitações, bem como sobre os mecanismos institucionais necessários para assegurar sua efetividade e aplicação ética.

O avanço das mudanças climáticas impõe a necessidade de soluções inovadoras que combinem tecnologia e sustentabilidade. Nesse contexto, a Inteligência Artificial (IA) se destaca como ferramenta estratégica para prever, mitigar e adaptar-se aos

impactos ambientais, por meio de modelos preditivos, otimização de recursos e sistemas de monitoramento ambiental (Moreno Molina, 2023).

A aplicação de algoritmos em setores como gestão energética, prevenção de desastres naturais e controle de emissões possibilita respostas mais rápidas e eficazes, alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e à transição para uma economia de baixo carbono (Gonçalves, 2024).

O uso de modelos preditivos para desastres naturais representa uma das frentes mais promissoras da aplicação da Inteligência Artificial (IA) na mitigação da crise climática. A capacidade de processar grandes volumes de dados provenientes de sensores, satélites e estações meteorológicas permite identificar padrões que antecipam a ocorrência de eventos extremos, como enchentes, deslizamentos de terra, secas prolongadas e tempestades severas (Alvalá; Barbieri, 2020).

O CEMADEN, no Brasil, tem integrado dados hidrometeorológicos e informações geotécnicas para alimentar sistemas de alerta precoce, utilizando modelos hidrológicos como o MGB-IPH e o PDM (Probability-Distributed Model), capazes de simular o escoamento superficial e prever vazões em bacias hidrográficas críticas (Alvalá; Barbieri, 2020).

Além disso, a IA potencializa esses modelos ao empregar algoritmos de machine learning e deep learning na análise de séries temporais, o que possibilita detectar anomalias climáticas com maior antecedência (Gonçalves, 2024).

Ferramentas de previsão baseadas em redes neurais, por exemplo, já são utilizadas para previsão de precipitação em curtíssimo prazo (nowcasting), especialmente relevante para áreas urbanas sujeitas a inundações rápidas. Tais sistemas, quando aliados a estratégias de adaptação local, não apenas salvam vidas, mas também reduzem perdas econômicas e danos ambientais (Gonçalves, 2024).

A integração de modelos preditivos com sistemas de gestão de risco é um passo essencial para garantir a efetividade das políticas públicas de prevenção. No semiárido brasileiro, por exemplo, dados de previsão climática aliados a informações de uso do solo têm auxiliado na mitigação de perdas agrícolas e no planejamento de ações emergenciais de abastecimento de água (Alvalá; Barbieri, 2020). Essa sinergia entre modelagem, IA e gestão territorial reforça o papel estratégico da ciência de dados no combate aos impactos da crise climática.

A aplicação da IA em sistemas de smart grids e cidades inteligentes é fundamental para otimizar o uso de recursos e promover a eficiência energética em larga escala. Um

smart grid integra tecnologias de comunicação, sensores, medidores inteligentes e sistemas de automação capazes de monitorar e gerenciar a geração, distribuição e consumo de energia em tempo real (Souza, 2022).

Com apoio de algoritmos preditivos, é possível antecipar picos de demanda, redirecionar o fornecimento de forma dinâmica e evitar sobrecargas na rede elétrica (Silva; Lopes, 2023). Essa capacidade é particularmente relevante para integrar fontes renováveis, como a energia solar e eólica, que apresentam variação de produção ao longo do dia.

No Brasil, iniciativas como o Projeto Cidade Inteligente Búzios, da concessionária Ampla, representam marcos na implementação de redes inteligentes, ao integrar geração distribuída por painéis solares, armazenamento em baterias e gestão de consumo em residências e empresas (Souza, 2022).

A IA, nesse contexto, atua não apenas como ferramenta de previsão de demanda, mas também de detecção de falhas e otimização da manutenção preventiva. Em Curitiba, a gestão inteligente do transporte público e do sistema de iluminação pública reduz custos e emissões de gases de efeito estufa, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente ao ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) (Silva; Lopes, 2023).

Internacionalmente, cidades como Singapura e Barcelona se destacam pelo uso integrado da IA na gestão de tráfego, energia, resíduos e monitoramento ambiental. Em Singapura, sensores urbanos e algoritmos de big data são usados para otimizar rotas de transporte público e reduzir congestionamentos, enquanto em Barcelona, sistemas de irrigação inteligente ajustam automaticamente o consumo de água de áreas verdes conforme as condições climáticas (Silva; Lopes, 2023).

Essas experiências reforçam que o uso estratégico da IA em smart cities não apenas promove eficiência, mas também melhora a qualidade de vida urbana e contribui para a mitigação da crise climática.

O uso de modelos preditivos baseados em Inteligência Artificial tem se mostrado essencial para antecipar eventos climáticos extremos, como tempestades, secas e enchentes, permitindo a adoção de medidas preventivas que minimizam danos humanos e econômicos (Moreno Molina, 2023).

Esses sistemas utilizam grandes volumes de dados meteorológicos, hidrológicos e geoespaciais para treinar algoritmos capazes de identificar padrões e prever a ocorrência de desastres com maior precisão (Gonçalves, 2024).

Além de otimizar o tempo de resposta das autoridades, esses modelos contribuem para a formulação de políticas públicas mais eficazes e para a integração de sistemas de alerta precoce em comunidades vulneráveis, aumentando sua resiliência climática (Silva; Almeida, 2023).

No Brasil, projetos-piloto têm sido implementados em estados como Santa Catarina e Maranhão, utilizando redes neurais profundas para prever chuvas intensas e alagamentos em áreas urbanas (Oliveira, 2024).

Internacionalmente, um dos casos de destaque é o Climate Prediction Center da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), nos Estados Unidos, que utiliza algoritmos de aprendizado profundo para prever fenômenos como El Niño e La Niña, permitindo que governos e setores produtivos se preparem com antecedência (Moreno Molina, 2023).

Na União Europeia, o programa Destination Earth integra modelos climáticos de alta resolução com Inteligência Artificial para simular cenários e apoiar decisões de mitigação e adaptação (Gonçalves, 2024).

No Brasil, iniciativas como o Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (SISMADEN), coordenado pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), já incorporam técnicas de machine learning para aprimorar a previsão de deslizamentos e inundações, especialmente em áreas de risco (Silva; Almeida, 2023).

Outro exemplo é a startup Treevia Forest Technologies, que desenvolve sensores conectados a redes inteligentes para monitoramento em tempo real de florestas, auxiliando no controle do desmatamento (Oliveira, 2024).

Políticas públicas também têm buscado integrar soluções algorítmicas, como o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA), que incentiva o uso de tecnologias de análise preditiva e gestão inteligente de recursos para setores vulneráveis, como agricultura e infraestrutura urbana (Moreno Molina, 2023). Essas experiências evidenciam o potencial da Inteligência Artificial Verde como elemento estratégico na governança ambiental contemporânea.

A aplicação de inteligência artificial verde (IA Verde) no combate à crise climática já apresenta resultados significativos, sobretudo em setores como monitoramento ambiental, gestão de energia e previsão de eventos extremos. Experiências brasileiras, como os modelos de previsão de desastres naturais do CEMADEN, e internacionais, como a plataforma Global Forest Watch, mostram que

algoritmos treinados com grandes volumes de dados podem melhorar a velocidade e a precisão das decisões (Ferraz Nishina; Pedranzini; Freiria, 2024).

No entanto, estudos apontam que o impacto positivo é fortemente condicionado pela integração desses sistemas com políticas públicas estruturadas e pela capacidade técnica das instituições responsáveis.

Ainda que promissora, a efetividade da IA Verde enfrenta desafios para ir além de projetos-piloto e alcançar escala nacional. Um dos principais entraves é a desigualdade na infraestrutura de dados e conectividade, que impede que municípios e regiões mais vulneráveis, justamente os mais afetados pela crise climática, usufruam das mesmas vantagens tecnológicas disponíveis em centros urbanos avançados (Ferraz Nishina; Pedranzini; Freiria, 2024). Esse fator reforça a necessidade de políticas de inclusão digital como componente essencial da agenda climática.

Entre os principais riscos da IA Verde está o viés algorítmico, que surge quando as bases de dados utilizadas para treinar os modelos são incompletas ou desbalanceadas, resultando em decisões que prejudicam populações vulneráveis ou subestimam riscos em determinadas regiões (Ferraz Nishina; Pedranzini; Freiria, 2024). A mitigação desse problema exige governança de dados, auditorias independentes e transparência nos modelos utilizados.

Outro desafio é o paradoxo energético: sistemas de IA de alto desempenho, especialmente os baseados em deep learning, consomem grandes quantidades de energia e recursos computacionais, gerando uma pegada de carbono que pode contrariar os objetivos climáticos. Estratégias como green by design, quantização, pruning e otimização do hardware são recomendadas para reduzir o impacto ambiental do próprio uso da IA (Mohamed et al., 2024; Ferraro et al., 2024).

Além disso, há o risco da dependência tecnológica, que ocorre quando a implementação de soluções algorítmicas não é acompanhada de capacidade institucional para supervisionar, avaliar e adaptar essas tecnologias ao contexto local. A experiência europeia mostra que o sucesso depende da combinação entre inovação tecnológica e arcabouço regulatório robusto, com metas, mecanismos de controle e prestação de contas (Moreno Molina, 2023).

Para que a IA Verde seja efetiva, é necessário instituir governança de dados climáticos como infraestrutura pública, com padrões de dados abertos, catálogos nacionais integrados e auditorias periódicas, garantindo que modelos preditivos tenham insumos confiáveis e representativos (Ferraz Nishina; Pedranzini; Freiria, 2024).

A inclusão de métricas de sustentabilidade computacional em compras públicas é outro passo importante. Contratos e licitações devem exigir relatórios de impacto algorítmico, model cards e métricas de eficiência energética como critérios de desempenho.

No campo regulatório, recomenda-se a adoção de metas setoriais com mecanismos de flexibilidade inspirados no effort-sharing europeu, permitindo ajustes, compensações e transferências de esforços entre setores, vinculando financiamento a resultados mensuráveis (Moreno Molina, 2023).

Por fim, a implementação de projetos-piloto com co-benefícios climáticos e sociais pode acelerar a transição para uma economia de baixo carbono. Isso inclui sistemas de previsão de desastres, smart grids integradas a energias renováveis e monitoramento de ecossistemas com validação comunitária, sempre acompanhados de capacitação de servidores públicos e parcerias com universidades e startups (Ferraz Nishina; Pedranzini; Freiria, 2024).

Em síntese, a efetividade das soluções algorítmicas na mitigação da crise climática depende menos da sofisticação tecnológica isolada e mais da capacidade de integrá-las a estratégias políticas amplas, sustentadas por governança de dados, regulação eficiente e inclusão social. A inteligência artificial verde, quando utilizada de forma ética e planejada, pode potencializar ações preventivas, otimizar recursos e ampliar a precisão das respostas a eventos climáticos extremos. Contudo, para que esse potencial se concretize, é indispensável enfrentar desafios como o viés algorítmico, a pegada de carbono dos sistemas e a desigualdade no acesso à infraestrutura tecnológica. Assim, a combinação entre inovação, participação social e políticas públicas robustas se apresenta como caminho seguro para que a IA Verde deixe de ser apenas uma promessa e se consolide como instrumento real de transformação socioambiental. Nesse contexto, abre-se espaço para refletir criticamente sobre os limites e possibilidades dessa tecnologia, preparando o terreno para as considerações finais deste estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa partiu do problema central de investigação: em que medida a Inteligência Artificial Verde (IA Verde) pode contribuir, de forma efetiva, ética e sustentável, para a mitigação da crise climática global, especialmente quando articulada às políticas públicas ambientais no Brasil?

A hipótese sustentava que a IA Verde, quando aplicada em conjunto com políticas públicas robustas, detém potencial para aprimorar a previsão de desastres naturais, otimizar o uso de recursos e monitorar ecossistemas, favorecendo uma gestão ambiental mais eficiente e sustentável.

Ao longo do estudo, constatou-se que essa hipótese se confirmou de maneira parcial. De um lado, projetos e iniciativas, tanto no Brasil quanto no exterior, evidenciaram ganhos concretos na detecção precoce de riscos ambientais, na redução do desperdício energético e na preservação de áreas críticas de biodiversidade. De outro, verificou-se que a plena efetividade da IA Verde ainda enfrenta obstáculos estruturais relevantes, como a carência de infraestrutura tecnológica em países em desenvolvimento, o risco de vieses algorítmicos e a dependência de dados confiáveis e representativos.

A análise crítica demonstrou que, embora a IA Verde apresente elevado potencial para mitigar a crise climática, sua aplicação isolada não é suficiente para impulsionar transformações estruturais de longo prazo. É indispensável que esteja associada a políticas públicas consistentes, financiamento adequado e cooperação internacional, garantindo uma implementação ética, equitativa e eficiente.

Conclui-se que a IA Verde deve ser compreendida como ferramenta estratégica complementar no enfrentamento da crise climática, mas não como solução única. Sua eficácia depende de integração sistêmica com ações normativas, sociais e econômicas, capazes de ampliar seus benefícios e mitigar seus riscos. Reforça-se, portanto, a necessidade de investimentos contínuos em pesquisa interdisciplinar, regulamentação adequada e capacitação técnica, de modo a viabilizar o pleno aproveitamento do potencial transformador da IA Verde no cenário nacional e internacional.

Nesse sentido, futuras agendas de pesquisa e formulação de políticas devem priorizar a criação de marcos regulatórios adaptáveis, fomentar a cooperação entre universidades, governos e setor privado, e promover a inclusão digital como condição essencial para que comunidades vulneráveis também se beneficiem das inovações tecnológicas. Somente a partir dessa articulação multiescalar será possível transformar a IA Verde em instrumento concreto de justiça climática e em vetor de uma transição socioecológica justa e inclusiva.

REFERÊNCIAS

ACSELRAD, Henri. **Justiça ambiental: construção e defesa de um campo**. Rio de Janeiro: Garamond, 2010.

ALMEIDA, Rodrigo; SANTOS, Fernanda; LIMA, Jorge. **Aplicações de inteligência artificial em sistemas de coleta inteligente de resíduos: revisão da literatura**. Revista de Engenharia e Sustentabilidade, v. 9, n. 3, p. 155-172, 2023.

ALMEIDA, Rodrigo; SANTOS, Fernanda; LIMA, Jorge. **Aplicações de inteligência artificial em sistemas de coleta inteligente de resíduos: revisão da literatura**. Revista de Engenharia e Sustentabilidade, v. 9, n. 3, p. 155-172, 2023.

ALVALÁ, Regina C. dos S.; BARBIERI, Carla. **Monitoramento e Previsão de Desastres Naturais no Brasil**. In: Mudanças Climáticas em Rede: Um olhar interdisciplinar. Canal6editora, 2020. p. 203-219.
GONÇALVES, João Paulo. *A Inteligência Artificial como Ferramenta para Contenção da Crise Climática no Brasil*, v. 12, n. 3, p. 281-298, 2024.

CASTRO, Nivalde de; LEAL, Luiza Masseno; BRITO, Kalyne. **Inteligência Artificial no futuro do setor elétrico**. Broadcast Energia, 2025. Disponível em: <https://energia.aebroadcast.com.br/tabs/news/747/52302642>. Acesso em: 21 mai. 2025.

GOMES, Ana Paula; ALMEIDA, Carlos Henrique. **Inteligência Artificial e Sustentabilidade: uma união possível**. Revista de Inovação e Sustentabilidade, v. 5, n. 2, p. 45-60, 2021.

GONÇALVES, João Paulo. **A Inteligência Artificial como Ferramenta para Contenção da Crise Climática no Brasil**, v. 12, n. 3, p. 281-298, 2024.

IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

MARTINS, Pedro Henrique; OLIVEIRA, Laura. **Inteligência Artificial e Aquecimento Global**. Revista Brasileira de Tecnologia e Sustentabilidade, v. 8, n. 2, p. 77-95, 2022.

MORENO MOLINA, Ángel M. **El derecho del cambio climático: retos, instrumentos y litigios**. Madrid: Editorial Reus, 2023.

MORENO MOLINA, Ángel M. **El derecho del cambio climático: retos, instrumentos y litigios**, 2021.

OLIVEIRA, Pedro Henrique. **Machine Learning Aplicado à Previsão de Eventos Climáticos Extremos no Brasil**. São Paulo: Atlas, 2024.

OLIVEIRA, Marcus Eduardo. **Sustentabilidade e crescimento: dilemas, desafios e perspectivas em tempos de emergência climática e de crise de civilização**. In: OLIVEIRA, Marcus Eduardo. *Retomada do desenvolvimento: Reflexões econômicas para um modelo de crescimento com inclusão social*. 2022. p. 81-96.

ONU. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Resolução A/RES/70/1 da Assembleia Geral da ONU, 25 set. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 14 ago. 2025.

PORTO-GONÇALVES, Carlos Walter. **A globalização da natureza e a natureza da globalização**. 5. ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006.

REZENDE, Daniel A. **Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva interdisciplinar**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2021.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.0

SILVA, Camila; ROCHA, Felipe; MENDES, Rafael. **O potencial da inteligência artificial na preservação da Floresta Amazônica: resultados e implicações**. Revista Brasileira de Conservação Ambiental, v. 15, n. 1, p. 22-40, 2023.

SILVA, Ana; LOPES, Mariana. **Tecnologias Verdes e Cidades Inteligentes: Desafios e Perspectivas**. Revista Brasileira de Sustentabilidade Urbana, v. 8, n. 2, p. 280-290, 2023.]

SOUZA, Carlos Eduardo de. **Smart Grids: O Futuro da Energia Inteligente**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2022.

SILVA, Roberto; ALMEIDA, Mariana. **Tecnologias de Previsão Climática e Resiliência Comunitária**. Revista Brasileira de Sustentabilidade, v. 9, n. 2, p. 115-130, 2023.

UNFCCC. **Acordo de Paris. Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**, Paris, 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>. Acesso em: 14 ago. 2025.