

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA, APROPRIAÇÃO ESTÉTICA E SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA: IMPLICAÇÕES PARA O DIREITO INTERNACIONAL AMBIENTAL NO CASO DO ESTÚDIO GHIBLI

GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AESTHETIC APPROPRIATION AND ENERGY SUSTAINABILITY: IMPLICATIONS FOR INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL LAW IN THE CASE OF STUDIO GHIBLI

INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA, APROPIACIÓN ESTÉTICA Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA: IMPLICACIONES PARA EL DERECHO INTERNACIONAL AMBIENTAL EN EL CASO DEL ESTUDIO GHIBLI

Luís Gustavo Cardoso¹

DOI: 10.54899/dcs.v23i88.4981

Recibido: 13/02/2026 | Aceptado: 09/03/2026 | Publicación en línea: 16/03/2026.

RESUMO

O artigo examina a apropriação estética do estilo gráfico do Estúdio Ghibli por usuários de modelos de inteligência artificial generativa e os impactos ambientais associados a essa prática. Embora tais usos estejam frequentemente vinculados a finalidades recreativas ou expressivas, eles dependem de infraestruturas computacionais concentradas e intensivas em energia, com efeitos relevantes sobre o consumo de eletricidade, água e emissões de gases de efeito estufa. A partir de dados técnicos recentes e revisão de literatura sobre sustentabilidade digital, o estudo compara o custo ambiental de diferentes aplicações da inteligência artificial, indicando a desproporcionalidade entre atividades de entretenimento gráfico e usos socialmente relevantes, como produção científica ou resolução de problemas computacionais. Sob perspectiva jurídico-normativa, sustenta-se que o Direito Internacional do Meio Ambiente, como ramo do Direito Internacional Público, já dispõe de fundamentos adequados para enquadrar essas externalidades tecnológicas, especialmente à luz do Acordo de Paris, da Convenção de Aarhus, dos princípios da Declaração do Rio e da jurisprudência da Corte Internacional de Justiça sobre prevenção de danos ambientais transfronteiriços. Em diálogo com o artigo 225 da Constituição brasileira, argumenta-se que os Estados possuem dever jurídico de monitorar e regular tecnologias digitais de elevado impacto ambiental. Conclui-se pela necessidade de incorporar métricas de sustentabilidade à governança da inteligência artificial e de desenvolver mecanismos internacionais de monitoramento da pegada ecológica das infraestruturas digitais.

Palavras-chave: Direito Internacional do Meio Ambiente. Inteligência Artificial. Sustentabilidade. Governança Ambiental. Regulação Tecnológica. Estúdio Ghibli.

¹ Doutor em Direito, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, Paraná, Brasil.
E-mail: prof.luisgustavocardoso@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9388-0689>

ABSTRACT

This article examines the aesthetic appropriation of Studio Ghibli's graphic style by users of generative artificial intelligence models and the environmental impacts associated with this practice. Although such uses are often linked to recreational or expressive purposes, they rely on energy-intensive and highly concentrated computational infrastructures, generating significant pressures on electricity consumption, water use, and greenhouse gas emissions. Drawing on recent technical data and literature on digital sustainability, the study compares the environmental costs of different AI applications, showing the disproportionate resource demand of graphic entertainment tasks when contrasted with socially relevant uses such as scientific writing or computational problem solving. From a legal perspective, the article argues that international environmental law, as a branch of public international law, already provides an adequate normative framework to address these technological externalities, particularly through the Paris Agreement, the Aarhus Convention, the principles of the Rio Declaration, and the jurisprudence of the International Court of Justice concerning transboundary environmental harm. In dialogue with article 225 of the Brazilian Federal Constitution, the study contends that States have a legal duty to monitor and regulate digital technologies with significant environmental impact. The article concludes by advocating the incorporation of sustainability metrics into AI governance and the development of international mechanisms to monitor the ecological footprint of digital infrastructures.

Keywords: Public International Law. Artificial Intelligence. Sustainability. Environmental Governance. Technology Regulation. Ghibli Studio.

RESUMEN

El artículo examina la apropiación estética del estilo gráfico del Estudio Ghibli por usuarios de modelos de inteligencia artificial generativa y los impactos ambientales asociados a esta práctica. Aunque tales usos suelen estar vinculados a finalidades recreativas o expresivas, dependen de infraestructuras computacionales concentradas y altamente intensivas en energía, con efectos relevantes sobre el consumo de electricidad, agua y las emisiones de gases de efecto invernadero. A partir de datos técnicos recientes y de una revisión de la literatura sobre sostenibilidad digital, el estudio compara el costo ambiental de distintas aplicaciones de la inteligencia artificial, señalando la desproporción entre actividades de entretenimiento gráfico y usos socialmente relevantes, como la producción científica o la resolución de problemas computacionales. Desde una perspectiva jurídico-normativa, se sostiene que el Derecho Internacional del Medio Ambiente, como rama del Derecho Internacional Público, ya dispone de fundamentos adecuados para encuadrar estas externalidades tecnológicas, especialmente a la luz del Acuerdo de París, el Convenio de Aarhus, los principios de la Declaración de Río y la jurisprudencia de la Corte Internacional de Justicia sobre la prevención de daños ambientales transfronterizos. En diálogo con el artículo 225 de la Constitución brasileña, se argumenta que los Estados tienen el deber jurídico de monitorear y regular tecnologías digitales de alto impacto ambiental. Se concluye señalando la necesidad de incorporar métricas de sostenibilidad en la gobernanza de la inteligencia artificial y de desarrollar mecanismos internacionales de monitoreo de la huella ecológica de las infraestructuras digitales.

Palabras clave: Derecho Internacional del Medio Ambiente. Inteligencia Artificial. Sostenibilidad. Gobernanza Ambiental. Regulación Tecnológica. Estudio Ghibli.



1 INTRODUÇÃO

Entre 2023 e 2024, consolidou-se uma prática recorrente de uso de modelos de inteligência artificial generativa para a produção de imagens baseadas em propriedades gráficas associadas ao Estúdio Ghibli, estúdio japonês de animação fundado por Hayao Miyazaki. A popularização desses modelos, como Midjourney, DALL·E e Stable Diffusion, viabilizou que usuários, de forma descentralizada e massiva, gerassem imagens com base em instruções textuais que simulam a estética visual de produções audiovisuais específicas². No Brasil, esse processo se intensificou em plataformas como X, Instagram e YouTube, sendo replicado com finalidades que vão do uso recreativo à propaganda comercial.

Do ponto de vista técnico, essa apropriação depende de modelos de linguagem e imagem treinados em larga escala, cuja infraestrutura demanda alto consumo de energia elétrica, processamento computacional intensivo e, em muitos casos, uso significativo de água para resfriamento de servidores³. Estudos recentes estimam que a geração de uma única imagem por IA pode demandar entre 0,01 e 0,08 kWh, emitir entre 10 g e 80 g de CO₂ e consumir até 250 ml de água. Considerando a escala global de uso, os impactos ambientais agregados tornam-se relevantes do ponto de vista de políticas públicas de sustentabilidade. As estimativas apresentadas devem ser interpretadas com cautela metodológica, uma vez que o consumo energético associado a sistemas de inteligência artificial varia significativamente conforme o modelo utilizado, a infraestrutura computacional, a eficiência energética dos data centers e a

² A prática de reutilização e recombinação de elementos culturais em ambientes digitais é frequentemente descrita na literatura como “cultura do remix”. Nesse contexto, tecnologias digitais ampliam a capacidade de usuários reinterpretarem obras existentes, deslocando parcialmente a fronteira entre consumo e produção cultural. Cf. LESSIG, Lawrence. *Remix: Making Art and Commerce Thrive in the Hybrid Economy*. New York: Penguin Press, 2008.

³ A materialidade da infraestrutura digital tem sido objeto de crescente atenção na literatura sobre governança tecnológica e sustentabilidade. Longe de constituir um espaço “imaterial”, a internet e os sistemas de inteligência artificial dependem de complexas infraestruturas físicas, incluindo data centers, redes de transmissão, sistemas de resfriamento e cadeias globais de produção de hardware. Estima-se que os data centers representem parcela significativa do consumo global de eletricidade e que sua expansão esteja diretamente relacionada ao crescimento da computação em nuvem e das aplicações de inteligência artificial. Cf. MASANET, Eric et al. *Recalibrating global data center energy-use estimates*. Science, v. 367, n. 6481, 2020. e IEA. *Data Centres and Data Transmission Networks*. International Energy Agency, 2023.

matriz energética do país onde ocorre o processamento. Além disso, muitas plataformas comerciais não divulgam integralmente seus dados de consumo energético e emissões associadas, o que impõe limitações à mensuração precisa da pegada ambiental das aplicações de IA.

Tal situação enseja um problema jurídico específico: como conciliar a liberdade de uso de tecnologias digitais para fins expressivos individuais com as obrigações internacionais de proteção ambiental, eficiência energética e justiça intergeracional? A questão ganha complexidade no contexto do Direito Internacional do Meio Ambiente, que já dispõe de instrumentos normativos que regulam, de maneira direta ou indireta, o uso de recursos naturais, a emissão de gases de efeito estufa, o acesso à informação ambiental e o princípio da precaução.

Essa tensão pode ser compreendida também a partir da literatura recente sobre infraestruturas digitais e materialidade da informação, que tem demonstrado que o espaço virtual não é imaterial, mas depende de complexas redes energéticas e logísticas. Como observam Kate Crawford e Vladan Joler (2018), a inteligência artificial deve ser compreendida como um sistema socioambiental que mobiliza mineração de recursos naturais⁴, cadeias globais de produção de hardware e consumo intensivo de energia. Nesse sentido, a produção aparentemente trivial de imagens digitais revela uma dimensão material frequentemente invisibilizada nas narrativas sobre inovação tecnológica.

A reflexão sobre a materialidade das infraestruturas digitais também tem sido desenvolvida no campo do direito da tecnologia e da governança algorítmica. Autores como Frank Pasquale, Mireille Hildebrandt e Luciano Floridi destacam que os sistemas contemporâneos de inteligência artificial não podem ser compreendidos apenas como instrumentos informacionais, mas como infraestruturas sociotécnicas que reorganizam relações de poder, produção e consumo de recursos. Nessa perspectiva, a análise jurídica da inteligência artificial deve considerar não apenas seus efeitos sobre dados, decisões automatizadas e processos informacionais, mas também as bases materiais que sustentam sua operação, incluindo redes de data centers, cadeias energéticas e sistemas de resfriamento intensivos em recursos naturais.

Ao trazer o caso da apropriação estética do estilo do Estúdio Ghibli para o campo do

⁴ A análise da inteligência artificial como infraestrutura material tem sido desenvolvida também por autores da área de estudos de mídia e tecnologia. Benjamin Bratton argumenta que a computação planetária contemporânea constitui uma “infraestrutura geopolítica empilhada” (“stack”) que integra camadas energéticas, logísticas e informacionais, evidenciando a dimensão territorial e ambiental da computação em larga escala. Cf. BRATTON, Benjamin. *The Stack: On Software and Sovereignty*. Cambridge: MIT Press, 2016.

Direito Internacional do Meio Ambiente, este artigo procura demonstrar que fenômenos culturais aparentemente periféricos podem funcionar como indicadores privilegiados de transformações mais amplas na relação entre tecnologia, consumo energético e governança ambiental global.

Este artigo parte da hipótese de que o uso de IA generativa com elevado custo energético e ambiental, mesmo em aplicações não industriais, pode ser analisado à luz de instrumentos internacionais como o Acordo de Paris (2015), a Convenção de Aarhus (1998), o Acordo de Escazú (2018), o Tratado da Carta da Energia (1994) e a jurisprudência ambiental da Corte Internacional de Justiça. A pesquisa propõe, ainda, considerar as contribuições recentes da União Internacional de Telecomunicações (ITU) e das Conferências das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima - UNFCCC (como a COP28 e a COP29), que vêm discutindo os efeitos ambientais de tecnologias digitais.

A partir desse referencial, busca-se demonstrar que a produção massiva de imagens por IA, mesmo em contextos de apropriação estética descentralizada, pode ser objeto de obrigações positivas por parte dos Estados no plano internacional, especialmente no que tange à regulação, transparência, mitigação de impactos e formulação de políticas públicas orientadas à sustentabilidade tecnológica. O artigo propõe, por fim, o enquadramento jurídico do fenômeno em curso, contribuindo para a consolidação de parâmetros normativos que articulem inovação tecnológica e proteção ambiental no campo do direito internacional.

A pesquisa adota abordagem qualitativa, com método dedutivo e base teórico-normativa. Utiliza análise documental de tratados internacionais, jurisprudência da Corte Internacional de Justiça e atos normativos nacionais, bem como revisão bibliográfica de relatórios técnicos da ITU, UNESCO, Stanford HAI e literatura especializada em direito ambiental. A escolha do caso Ghibli se justifica por sua ampla repercussão, alta carga gráfica e caráter representativo dos impactos não regulados da IA recreativa⁵.

A estratégia metodológica adotada pode ser descrita como estudo de caso exploratório com análise jurídico-normativa, no qual um fenômeno cultural específico, a difusão massiva de imagens produzidas por IA inspiradas no estilo do Estúdio Ghibli, é utilizado como ponto de observação para examinar tensões estruturais entre inovação tecnológica e governança ambiental. Tal abordagem permite evidenciar como práticas aparentemente dispersas podem gerar externalidades ambientais relevantes quando consideradas em escala sistêmica.

⁵ Os dados energéticos apresentados possuem caráter estimativo e são utilizados com finalidade analítica comparativa, não constituindo medições diretas de consumo individual por tarefa.

Assim, o artigo adota uma abordagem jurídico-dogmática com diálogo interdisciplinar. A análise combina o exame normativo de instrumentos de direito internacional ambiental, especialmente tratados, princípios e jurisprudência internacional, com a revisão de literatura técnica recente sobre o consumo energético e hídrico associado a sistemas de inteligência artificial generativa. O estudo utiliza o caso da apropriação estética do estilo gráfico do Estúdio Ghibli como ponto de partida para discutir a materialidade energética da computação contemporânea e suas implicações jurídicas no campo da regulação ambiental.

A principal contribuição deste artigo consiste em demonstrar que aplicações culturalmente difusas de inteligência artificial generativa, frequentemente tratadas como fenômenos meramente estéticos ou recreativos, podem produzir externalidades ambientais juridicamente relevantes quando analisadas em escala sistêmica. Ao utilizar o caso da apropriação estética do estilo do Estúdio Ghibli como estudo de caso, o trabalho propõe uma interpretação integrada entre governança tecnológica e direito internacional ambiental, evidenciando que os princípios de prevenção, precaução e transparência ambiental já fornecem fundamentos normativos suficientes para enquadrar juridicamente os impactos ambientais da infraestrutura digital contemporânea. Dessa forma, o artigo contribui para o desenvolvimento de uma agenda emergente de pesquisa sobre sustentabilidade computacional e regulação ambiental da inteligência artificial no campo do Direito Internacional Público.

A APROPRIAÇÃO ESTÉTICA E GRÁFICA: DIFUSÃO E CENTRALIZAÇÃO

A apropriação de elementos estéticos por modelos de inteligência artificial generativa ocorre, em regra, mediante treinamento supervisionado ou não supervisionado sobre bases de dados compostas por milhões de imagens. No caso específico da estética do Estúdio Ghibli, não há indício de autorização formal do estúdio para o uso de suas obras como material de treinamento⁶. Ainda assim, modelos como Midjourney e Stable Diffusion foram capazes de replicar com precisão características visuais associadas às produções do estúdio, incluindo paleta de cores, traço artístico, ambientação e composição de cena.

⁶ O uso de obras protegidas por direitos autorais em bases de treinamento de modelos de inteligência artificial tem sido objeto de controvérsias jurídicas relevantes em diversas jurisdições. Nos Estados Unidos, ações judiciais recentes questionam se o treinamento de modelos de IA sobre grandes bases de dados contendo obras protegidas constitui violação de copyright ou se pode ser enquadrado como fair use. Cf. LEMLEY, Mark A.; CASEY, Bryan. *Fair Learning*. Texas Law Review, v. 99, 2021.

Mecanismo de Difusão

A produção de imagens com base no estilo Ghibli não seguiu um padrão institucional ou coordenado. Ao contrário, houve disseminação espontânea por usuários individuais, com frequência motivada por objetivos recreativos ou autoexpressivos. Essa difusão se deu sobretudo em redes sociais, por meio de comandos simples nos modelos de IA (“prompt engineering”), que incorporavam termos como “in Ghibli style” ou variações semânticas equivalentes.

No Brasil, essa prática foi amplamente observada entre produtores de conteúdo, influenciadores e usuários comuns. A replicação foi potencializada pela ausência de barreiras técnicas e pela gratuidade ou baixo custo de uso das plataformas envolvidas. Trata-se, portanto, de um fenômeno caracterizado pela descentralização da agência criativa, embora baseado em modelos concentrados de processamento.

Concentração dos meios técnicos

Apesar da difusão horizontal do uso, o controle sobre a infraestrutura de produção dessas imagens permanece verticalizado. A totalidade dos modelos generativos que permitem a criação de imagens no estilo Ghibli pertence a empresas com sede nos Estados Unidos, Europa e Ásia. Essas empresas detêm, de forma exclusiva, os dados de treinamento, os algoritmos, a capacidade de ajuste fino dos modelos e o controle sobre os servidores utilizados para o processamento das imagens.

A desigualdade entre o acesso ao produto (interface pública) e o controle do processo (infraestrutura e modelo) é tecnicamente verificável. O usuário opera um prompt e recebe um resultado visual, mas não tem acesso nem ao dataset, nem ao consumo de energia envolvido, tampouco às métricas de impacto ambiental da operação.

Essa centralização técnica produz ao menos três tipos de assimetria. A primeira é informacional: o usuário não possui acesso aos dados relativos ao impacto energético de sua própria atividade. A segunda é energética, pois os recursos consumidos localmente produzem efeitos transnacionais. A terceira é regulatória, uma vez que as empresas responsáveis pela infraestrutura operam sob regimes jurídicos fragmentados, muitas vezes sem obrigações robustas de transparência ambiental.

Entre Descentralização Estética e Centralização Técnica: um Paradoxo Estrutural

Essa configuração, aqui tomada como a apropriação estética difusa operando sobre um regime técnico concentrado, produz uma tensão entre a aparência de democratização cultural e a realidade de opacidade tecnológica. Além disso, dificulta a aferição de responsabilidade quanto aos impactos agregados do uso massivo da IA. Ainda que a atividade de um único usuário seja insignificante em termos de emissões ou consumo, a escala total do fenômeno requer análise agregada e normativamente orientada.

Do ponto de vista jurídico, essa estrutura reforça a importância de abordagens internacionais e transversais. A produção e circulação global de imagens dependentes de alto consumo energético, mesmo quando descentralizada em sua aparência, demanda estruturas regulatórias que articulem a proteção de bens comuns ambientais com os direitos à inovação e à expressão cultural.

FINALIDADES DO USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA: DO ENTRETENIMENTO À INSTRUMENTALIZAÇÃO INSTITUCIONAL

A análise das finalidades associadas ao uso de imagens produzidas por modelos de inteligência artificial generativa inspiradas no estilo gráfico do Estúdio Ghibli revela uma pluralidade de práticas sociais, econômicas e comunicacionais. Embora a geração dessas imagens seja tecnicamente mediada por plataformas digitais específicas, o significado jurídico e social dessas práticas depende das finalidades que orientam sua utilização. Nesse contexto, é possível identificar diferentes padrões de uso que variam desde atividades recreativas individuais até aplicações comerciais, institucionais ou politicamente estratégicas.

A distinção entre essas finalidades não possui apenas relevância sociológica, mas também jurídica. Em diferentes áreas do direito, como propriedade intelectual, regulação econômica e direito ambiental, a finalidade da atividade constitui elemento relevante para determinar o regime normativo aplicável. No caso das imagens geradas por inteligência artificial, essa diversidade funcional evidencia que a tecnologia não opera em um vazio regulatório, mas interage simultaneamente com múltiplos regimes jurídicos, incluindo o direito autoral, a governança da economia digital e o direito ambiental internacional.

A literatura recente sobre plataformas digitais destaca que as tecnologias algorítmicas

tendem a transformar práticas sociais aparentemente triviais em processos economicamente estruturados e tecnicamente intensivos. Tarleton Gillespie observa que as plataformas digitais contemporâneas operam como infraestruturas sociotécnicas que organizam, amplificam e monetizam atividades culturais cotidianas⁷ (Gillespie, 2018). Nesse contexto, mesmo práticas inicialmente motivadas por entretenimento individual podem gerar efeitos econômicos, comunicacionais e ambientais em escala significativa quando mediadas por sistemas computacionais de grande alcance.

No caso da geração de imagens no estilo gráfico do Estúdio Ghibli, essa dinâmica torna-se particularmente evidente. A facilidade técnica proporcionada por modelos de inteligência artificial generativa permite que usuários individuais produzam imagens estilizadas por meio de comandos textuais simples, frequentemente incorporando expressões como “*in the style of Ghibli*” ou variações semânticas semelhantes. Embora a produção dessas imagens seja frequentemente percebida como prática recreativa ou experimental, sua difusão massiva nas redes digitais evidencia a existência de múltiplos contextos de uso, cada um com implicações jurídicas e socioambientais distintas.

Uso Individual, Recreativo e Expressivo

Uma parcela significativa das imagens geradas por inteligência artificial inspiradas no estilo do Estúdio Ghibli surge em contextos de uso individual e recreativo. Nessas situações, usuários utilizam ferramentas de geração de imagens para reinterpretar fotografias pessoais, criar representações estilizadas de cenários cotidianos ou experimentar possibilidades estéticas associadas ao universo visual característico das produções do estúdio japonês.

Esse tipo de uso insere-se em práticas culturais mais amplas associadas à criatividade digital participativa. Henry Jenkins descreve esse fenômeno como parte da chamada cultura da convergência, na qual consumidores também se tornam produtores ativos de conteúdo, reinterpretando e remixando referências culturais existentes (Jenkins, 2006). No ambiente das plataformas digitais contemporâneas, essas práticas de remixagem estética tornaram-se ainda mais acessíveis graças à disseminação de ferramentas automatizadas de criação visual baseadas

⁷ A literatura sobre plataformas digitais tem destacado que essas infraestruturas exercem papel central na organização da circulação de informação e cultura online. Ao estruturar os mecanismos de visibilidade e distribuição de conteúdo, plataformas como redes sociais e serviços de hospedagem tornam-se atores regulatórios informais da esfera pública digital.

em inteligência artificial.

Do ponto de vista jurídico, o uso recreativo individual tende a apresentar baixo risco imediato de responsabilização individual, especialmente quando não envolve exploração econômica direta. No entanto, essa avaliação não esgota a dimensão normativa do fenômeno. A multiplicação de atos individuais de geração de imagens, mesmo quando motivados por fins puramente expressivos, produz efeitos agregados relevantes do ponto de vista técnico e ambiental. Cada operação de geração de imagem implica a execução de processos computacionais complexos em data centers de grande escala, envolvendo consumo de energia elétrica, utilização de sistemas de resfriamento e emissão indireta de gases de efeito estufa.

Essa dimensão estrutural transforma práticas aparentemente triviais em fenômenos com potencial impacto coletivo. A literatura sobre sustentabilidade digital tem enfatizado que a fase de inferência⁸, isto é, o uso cotidiano de sistemas de inteligência artificial por milhões de usuários, pode gerar consumo energético significativo quando analisada em escala global (Strubell; Ganesh; McCallum, 2019; Masanet et al., 2020). Nesse sentido, a análise jurídica do uso recreativo da inteligência artificial não pode limitar-se à avaliação de condutas individuais isoladas, devendo considerar também os efeitos cumulativos produzidos pela agregação de milhões de interações semelhantes.

Uso Comercial, Publicitário e Institucional

Além do uso recreativo individual, observa-se crescente utilização de imagens geradas por inteligência artificial inspiradas no estilo Ghibli em contextos comerciais, publicitários e institucionais. Empresas de marketing digital, marcas pessoais e organizações públicas ou privadas têm explorado o potencial estético dessas imagens para aumentar engajamento em redes sociais, promover produtos ou divulgar campanhas institucionais.

Nesse contexto, a produção de imagens estilizadas deixa de ser apenas prática cultural espontânea e passa a integrar estratégias estruturadas de comunicação e marketing digital. A lógica algorítmica das plataformas digitais favorece conteúdos visualmente atrativos e

⁸ A literatura recente distingue duas fases principais no ciclo de vida energético dos sistemas de inteligência artificial: o treinamento dos modelos e a fase de inferência, isto é, o uso cotidiano desses sistemas por usuários finais. Embora o treinamento inicial possa demandar grande volume de energia, estudos recentes indicam que, em aplicações amplamente difundidas, a fase de inferência pode representar parcela significativa do consumo energético total, especialmente quando milhões de usuários realizam requisições simultâneas ao sistema (Strubell; Ganesh; McCallum, 2019; Masanet et al., 2020).

emocionalmente envolventes, incentivando a utilização de estilos gráficos reconhecíveis como ferramenta de amplificação comunicacional. Como observa José van Dijck, as plataformas digitais contemporâneas operam segundo modelos econômicos baseados na maximização de visibilidade e circulação de conteúdo, o que incentiva a adoção de estratégias visuais capazes de gerar maior engajamento do público (Van Dijck; Poell; De Waal, 2018).

Do ponto de vista jurídico, o uso comercial de imagens geradas por inteligência artificial suscita questões relevantes no campo da propriedade intelectual. A replicação de estilos visuais associados a obras protegidas pode levantar debates sobre limites da criação derivada, concorrência desleal e proteção de identidade estética. Embora a jurisprudência internacional ainda esteja em fase inicial de consolidação nesse campo, tribunais e autoridades regulatórias têm demonstrado crescente preocupação com os impactos da inteligência artificial sobre regimes tradicionais de proteção autoral.

Além das questões relacionadas à propriedade intelectual, o uso comercial dessas tecnologias também levanta questões relativas à internalização de seus custos ambientais. Documentos recentes sobre sustentabilidade digital enfatizam a necessidade de considerar o consumo energético e as emissões associadas às operações computacionais como parte integrante do custo de produção de serviços digitais (IEA, 2023; ITU, 2023). Nesse sentido, a utilização sistemática de inteligência artificial generativa em campanhas publicitárias ou estratégias de marketing digital pode exigir avaliação mais ampla de seus impactos ambientais.

Usos Híbridos e Dinâmicas de Influência Digital

Entre o uso recreativo individual e o uso explicitamente comercial existe uma zona intermediária caracterizada por finalidades híbridas. Nesse contexto, a produção e circulação de imagens geradas por inteligência artificial podem integrar estratégias de construção de reputação digital, influência social ou mobilização política, mesmo quando não há monetização direta da atividade.

Influenciadores digitais frequentemente utilizam recursos estéticos associados a estilos visuais populares para ampliar sua visibilidade nas plataformas digitais. De maneira semelhante, campanhas políticas, movimentos sociais e iniciativas culturais podem recorrer a essas representações visuais como forma de gerar identificação simbólica e ampliar o alcance de suas mensagens. Embora essas práticas não se configurem necessariamente como atividades

comerciais no sentido estrito, elas produzem efeitos análogos em termos de geração de tráfego digital, fortalecimento de capital simbólico e potencial monetização indireta.

A literatura sobre economia da atenção tem destacado que a circulação de conteúdo nas plataformas digitais é estruturada por mecanismos de amplificação algorítmica que favorecem conteúdos capazes de gerar maior engajamento emocional ou estético (Zuboff, 2019). Nesse contexto, a utilização de estilos visuais culturalmente reconhecíveis, como o universo gráfico associado ao Estúdio Ghibli, pode funcionar como recurso estratégico para ampliar a visibilidade de conteúdos digitais.

Do ponto de vista ambiental, esses usos híbridos também contribuem para a intensificação da demanda por capacidade computacional. À medida que conteúdos visualmente atraentes são replicados, compartilhados e reinterpretados por múltiplos usuários, a produção de novas imagens e variações estilísticas tende a aumentar, ampliando a carga computacional associada ao sistema.

Implicações Jurídicas Preliminares

A diversidade de finalidades associadas ao uso da inteligência artificial generativa evidencia que a análise jurídica desse fenômeno não pode limitar-se a uma única dimensão regulatória. Pelo contrário, a tecnologia opera na interseção de diferentes regimes normativos, incluindo o direito da propriedade intelectual, a regulação da economia digital e o direito ambiental internacional.

No plano ambiental, a distinção entre finalidades recreativas e comerciais não elimina a relevância jurídica das externalidades associadas ao uso dessas tecnologias. Instrumentos internacionais como o Acordo de Paris, a Convenção de Aarhus e o Acordo de Escazú estabelecem obrigações de transparência, prevenção e acesso à informação ambiental que podem ser interpretadas de maneira abrangente, incluindo atividades tecnológicas capazes de gerar impactos ambientais cumulativos.

A ausência de um regime jurídico internacional específico para a sustentabilidade da inteligência artificial não implica ausência de responsabilidade regulatória por parte dos Estados. Pelo contrário, princípios consolidados do direito ambiental internacional, como prevenção, precaução e transparência, oferecem bases normativas suficientes para justificar a adoção de políticas públicas destinadas a monitorar e mitigar os impactos ambientais associados às

infraestruturas digitais.

Nesse contexto, a geração massiva de imagens por inteligência artificial inspiradas em estilos visuais reconhecíveis representa mais do que uma curiosidade cultural ou tecnológica. Trata-se de exemplo concreto da forma como práticas culturais aparentemente difusas podem produzir efeitos materiais significativos quando mediadas por infraestruturas digitais globais. A análise desse fenômeno permite evidenciar a crescente convergência entre governança tecnológica e governança ambiental, revelando a necessidade de desenvolver abordagens jurídicas capazes de integrar inovação digital e sustentabilidade ecológica no âmbito do direito internacional contemporâneo.

CONSUMO ENERGÉTICO DA IA E EXTERNALIDADES

A utilização de modelos de inteligência artificial generativa, especialmente para tarefas de geração de imagens com alta carga gráfica, acarreta impactos ambientais mensuráveis. Esses impactos decorrem de processos computacionais executados em data centers de grande porte, que operam com alta densidade de energia elétrica, exigem sistemas de resfriamento constantes (com uso intensivo de água) e, em sua maioria, permanecem opacos em termos de transparência de consumo e rastreabilidade.

Este item analisa os custos ambientais da IA, com especial atenção à geração de imagens no estilo gráfico associado ao Estúdio Ghibli, e os compara a outras tarefas realizadas por IA, comumente vinculadas à pesquisa, à produção intelectual e ao uso educacional. O objetivo é demonstrar que atividades cognitivas de valor social elevado apresentam consumo energético muito inferior àquelas destinadas à recreação estética massiva.

Comparação entre Tarefas e seus Impactos Ambientais

Com base em estimativas técnicas publicadas por centros de pesquisa como Stanford HAI, MIT Tech Review, ITU-UNESCO, e relatórios independentes de auditoria energética de IA, é possível estabelecer a seguinte comparação entre diferentes tipos de tarefas executadas por modelos de IA generativa⁹:

⁹ Os dados sobre consumo de energia e emissões da IA foram obtidos em: ITU (2023), UNESCO (2021), e estudo de Morand et al. (2023)

Tabela 1 - Comparação de consumo energético entre diferentes usos da IA

| Tipo de Tarefa¹⁰ | Consumo¹¹ médio estimado por unidade (kWh) | CO₂ estimado (g) | Uso estimado de água (ml) | Observações principais |
|---|--|------------------------------------|----------------------------------|---|
| Geração de imagem no estilo Ghibli (Midjourney) | 0,06 – 0,08 | 60 – 80 | 200 – 250 | Alta carga gráfica; consumo intensivo; finalidade primária recreacional |
| Redação de texto acadêmico (GPT-4, Claude 3) | 0,01 – 0,015 | 8 – 15 | 30 – 50 | Alta complexidade linguística; consumo moderado; finalidade intelectual |
| Resolução de problemas matemáticos | 0,005 – 0,01 | 4 – 10 | 20 – 40 | Cálculo simbólico; baixo custo computacional |
| Pesquisa factual ou documental com IA textual | 0,003 – 0,008 | 3 – 8 | 15 – 35 | Inferência de dados estruturados; custo ambiental reduzido |

Fonte: tabela nossa.

A disparidade entre as tarefas examinadas é significativa. A geração de uma única imagem no estilo Ghibli pode consumir até 20 vezes mais energia do que uma pesquisa factual equivalente, ou até 8 vezes mais do que a redação de um parágrafo acadêmico. Essas diferenças tornam-se ainda mais relevantes quando se considera o volume de requisições em cada categoria: enquanto as tarefas cognitivas estão mais concentradas em ambientes educacionais e científicos, a produção de imagens estilo Ghibli ocorre de maneira viral e massiva, atingindo dezenas de milhões de unidades por dia.

Evidentemente, essa comparação não pretende desqualificar o valor cultural ou artístico das práticas recreativas associadas à criação digital. A produção estética, o entretenimento e a experimentação criativa constituem dimensões legítimas da cultura contemporânea e desempenham papel relevante na dinâmica das plataformas digitais. O ponto central da análise reside, contudo, na assimetria entre a escala ambiental dessas práticas quando mediadas por

¹⁰ A comparação entre diferentes tipos de tarefas de inteligência artificial apresentada nesta tabela possui caráter ilustrativo e baseia-se em estimativas médias obtidas a partir de estudos técnicos sobre eficiência energética de modelos generativos e sistemas de processamento de linguagem natural. Os valores podem variar de acordo com a arquitetura do modelo, o hardware utilizado (GPUs, TPUs ou CPUs), a eficiência energética dos data centers e o volume de requisições simultâneas. Apesar dessas variações, a literatura especializada converge ao indicar diferenças substanciais entre o consumo energético de tarefas gráficas intensivas e aplicações textuais ou analíticas de menor complexidade computacional.

¹¹ As estimativas de consumo energético, emissões de CO₂ e uso de água associadas a tarefas de inteligência artificial são baseadas em projeções derivadas de estudos sobre eficiência energética de data centers e operações de inferência em modelos de aprendizado profundo. Como a maioria das empresas responsáveis por modelos generativos não divulga integralmente seus dados de consumo, as estimativas disponíveis resultam de combinações entre medições experimentais, auditorias energéticas independentes e modelagens computacionais. Para discussões metodológicas sobre essas estimativas, ver Strubell; Ganesh; McCallum (2019); Masanet et al. (2020); Morand et al. (2023).

infraestruturas computacionais de grande porte e a ausência de mecanismos regulatórios capazes de considerar seus custos ecológicos agregados. Nesse sentido, a questão jurídica não diz respeito à legitimidade da criação cultural em si, mas à necessidade de incorporar critérios de sustentabilidade ao uso massivo de tecnologias intensivas em energia.

A literatura recente sobre sustentabilidade computacional tem destacado que o impacto ambiental da inteligência artificial não se limita à fase de treinamento dos modelos, frequentemente apontada como a etapa mais intensiva em energia. A fase de inferência, isto é, o uso cotidiano dos sistemas por milhões de usuários, pode gerar impactos cumulativos igualmente relevantes¹². Em aplicações recreativas altamente difundidas, como a geração de imagens estilizadas, essa fase de uso contínuo tende a representar parcela significativa do consumo energético total associado aos modelos de IA.

Características das Externalidades

As externalidades associadas à IA generativa apresentam características que dificultam sua regulação jurídica tradicional. Em primeiro lugar, possuem natureza transnacional, pois o usuário pode estar localizado em qualquer país enquanto o processamento ocorre em data centers distribuídos globalmente. Em segundo lugar, resultam de uma demanda altamente descentralizada, na qual milhões de interações individuais produzem impactos cumulativos. Soma-se a isso a opacidade estrutural das plataformas, que raramente informam o volume de energia, água ou emissões envolvidas em cada tarefa computacional. Finalmente, a ausência de mecanismos de precificação ambiental impede que esses custos sejam internalizados pelos usuários ou pelas empresas responsáveis.

Essas propriedades desafiam os modelos tradicionais de regulação ambiental, baseados na responsabilização direta e na visibilidade das externalidades. Elas também sugerem que a regulação não pode se limitar ao campo da propriedade intelectual, mas deve incorporar critérios de impacto ambiental, uso de recursos e justiça intergeracional.

¹² Estudos recentes indicam que o consumo energético associado à inferência de modelos de inteligência artificial pode superar, ao longo do tempo, o consumo energético da fase de treinamento, especialmente quando sistemas amplamente utilizados são acionados bilhões de vezes por usuários finais. Cf. PATTERSON, David et al. *Carbon Emissions and Large Neural Network Training*. arXiv:2104.10350, 2021.

Consequências Jurídicas e Normativas

A identificação das externalidades ambientais associadas ao uso massivo de sistemas de inteligência artificial generativa levanta questões jurídicas relevantes no âmbito do Direito Internacional Público, especialmente no campo do direito ambiental internacional. Ainda que não exista atualmente um regime jurídico internacional especificamente voltado à sustentabilidade das tecnologias digitais, o conjunto de normas, princípios e precedentes que compõem o direito ambiental contemporâneo oferece bases suficientes para enquadrar juridicamente as consequências ambientais decorrentes dessas atividades. Em outras palavras, a ausência de um tratado multilateral dedicado exclusivamente à inteligência artificial não implica a inexistência de obrigações jurídicas aplicáveis, uma vez que o direito internacional ambiental opera por meio de princípios amplos e deveres gerais de prevenção e cooperação que se estendem a novas tecnologias¹³.

Nesse contexto, o Acordo de Paris sobre Mudança do Clima (2015) constitui um dos instrumentos mais relevantes para compreender as implicações ambientais da expansão das infraestruturas digitais. O tratado estabelece compromisso global de redução das emissões de gases de efeito estufa e impõe aos Estados a obrigação de formular e implementar contribuições nacionalmente determinadas (NDCs) voltadas à mitigação das mudanças climáticas. Embora o Acordo de Paris não faça referência explícita às tecnologias digitais ou à inteligência artificial, sua lógica regulatória abrange qualquer atividade econômica ou tecnológica que contribua de forma significativa para as emissões globais. À medida que data centers, sistemas de computação em nuvem e aplicações de inteligência artificial passam a representar parcela crescente do consumo energético global, torna-se juridicamente plausível interpretar que essas infraestruturas devem ser consideradas no planejamento das políticas climáticas nacionais. Estudos recentes da Agência Internacional de Energia indicam que o setor digital já responde por parcela significativa da demanda energética global, tendência que tende a se intensificar com a expansão da inteligência artificial generativa (IEA, 2023; Masanet et al., 2020).

Outro conjunto de instrumentos relevantes refere-se aos regimes internacionais de transparência e acesso à informação ambiental. A Convenção de Aarhus sobre Acesso à

¹³ A centralidade dos princípios gerais no direito internacional ambiental é amplamente reconhecida pela doutrina. Esses princípios funcionam como mecanismos de adaptação normativa capazes de estender a aplicação do regime jurídico ambiental a novas tecnologias e atividades econômicas. Cf. BODANSKY, Daniel; BRUNNÉE, Jutta; RAJAMANI, Lavanya. *International Climate Change Law*. Oxford: Oxford University Press, 2017.

Informação, Participação Pública e Acesso à Justiça em Matéria Ambiental (1998) estabeleceu parâmetros jurídicos inovadores ao reconhecer o direito do público de acessar informações ambientais relevantes e participar de processos decisórios com impacto ecológico. Inspirado nesse modelo, o Acordo de Escazú (2018) introduziu regime semelhante na América Latina e no Caribe, consolidando obrigações estatais relacionadas à publicidade de informações ambientais, participação pública e proteção de defensores ambientais. No contexto das tecnologias digitais, esses instrumentos adquirem importância particular, pois a operação de plataformas de inteligência artificial frequentemente ocorre com elevado grau de opacidade quanto ao consumo energético, às emissões de carbono e ao uso de recursos hídricos associados aos data centers. A aplicação dos princípios de transparência ambiental previstos nesses tratados pode contribuir para reduzir essa opacidade informacional, permitindo que autoridades públicas e sociedade civil avaliem de forma mais precisa os impactos ambientais das infraestruturas digitais.

A jurisprudência da Corte Internacional de Justiça (CIJ) também fornece fundamentos relevantes para o enquadramento jurídico das externalidades ambientais associadas à inteligência artificial. No caso *Pulp Mills on the River Uruguay (Argentina v. Uruguay)*, julgado em 2010, a Corte reconheceu que a realização de avaliações de impacto ambiental constitui obrigação jurídica quando atividades planejadas apresentam risco significativo de causar danos ambientais em contexto transfronteiriço. A CIJ afirmou que esse dever integra o direito internacional costumeiro e se aplica a qualquer atividade potencialmente danosa ao meio ambiente, independentemente de sua natureza industrial ou tecnológica. Essa interpretação amplia o alcance do princípio da prevenção ambiental, permitindo que ele seja aplicado também a infraestruturas tecnológicas emergentes cujos impactos decorrem do consumo intensivo de recursos naturais e da geração de externalidades cumulativas. Doutrinadores como Philippe Sands e Jacqueline Peel destacam que o dever de prevenção ambiental exige que os Estados adotem medidas regulatórias adequadas para controlar atividades sob sua jurisdição que possam causar danos ambientais significativos, mesmo quando esses danos resultem de processos tecnológicos complexos e distribuídos (Sands; Peel; Fabra; Mackenzie, 2018).

Outro elemento normativo fundamental é o princípio da precaução, consagrado no Princípio 15 da Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992). Esse princípio estabelece que a ausência de certeza científica absoluta não deve ser utilizada como justificativa para postergar medidas destinadas a prevenir danos ambientais graves ou irreversíveis. A aplicação desse princípio ao campo das tecnologias digitais torna-se

particularmente relevante diante da rápida expansão da inteligência artificial e da ainda limitada compreensão científica de seus impactos ambientais de longo prazo. Embora estudos recentes já tenham identificado o elevado consumo energético associado ao treinamento e à operação de modelos de inteligência artificial, ainda existem lacunas metodológicas na quantificação precisa de sua pegada ecológica global (Crawford, 2021; Strubell; Ganesh; McCallum, 2019). Nesse contexto, o princípio da precaução oferece fundamento jurídico para que os Estados adotem medidas regulatórias destinadas a monitorar e mitigar os impactos ambientais dessas tecnologias, mesmo na ausência de consenso científico definitivo.

Dessa forma, a inexistência de tratados multilaterais específicos voltados à sustentabilidade da inteligência artificial não exonera os Estados de suas obrigações ambientais gerais. Pelo contrário, o crescimento acelerado das tecnologias digitais intensivas em energia exige interpretação evolutiva dos instrumentos jurídicos existentes, de modo a assegurar que os princípios fundamentais do direito ambiental internacional continuem capazes de proteger bens comuns globais diante de novas formas de atividade econômica e tecnológica. A aplicação combinada dos princípios de prevenção, precaução, transparência e responsabilidade ambiental permite sustentar que a governança das infraestruturas digitais deve ser progressivamente integrada ao regime jurídico internacional de proteção ambiental, especialmente quando essas infraestruturas produzem externalidades ambientais cumulativas em escala global.

ENQUADRAMENTO JURÍDICO: O PAPEL DO DIREITO INTERNACIONAL DO MEIO AMBIENTE

A crescente utilização de modelos de inteligência artificial generativa, com impactos ambientais mensuráveis e implicações transnacionais, exige análise à luz do Direito Internacional Público, em especial do ramo do Direito Internacional do Meio Ambiente. Embora ainda não haja um instrumento normativo vinculante específico sobre IA e meio ambiente, o Direito Internacional Ambiental contemporâneo dispõe de princípios e obrigações suficientemente amplos para abranger tecnologias emergentes, de modo que o conjunto normativo internacional já vigente oferece fundamentos jurídicos suficientes para sustentar obrigações estatais quanto à regulação, mitigação e transparência dos impactos ambientais decorrentes do uso dessas tecnologias.

Esse fenômeno é característico de períodos de transição normativa no direito

internacional, nos quais novas tecnologias emergem antes da consolidação de regimes jurídicos específicos para regulá-las. Situações semelhantes foram observadas historicamente no desenvolvimento do direito internacional ambiental, especialmente em relação à poluição atmosférica transfronteiriça e à proteção da camada de ozônio. Nesses contextos, princípios gerais e obrigações já existentes foram progressivamente reinterpretados para abranger novos tipos de atividade econômica ou tecnológica.

Esta seção examina os principais marcos jurídicos aplicáveis e sua articulação com o fenômeno analisado.

Obrigações Ambientais Gerais dos Estados

O Direito Internacional contemporâneo reconhece que a proteção do meio ambiente constitui um dos domínios mais consolidados da responsabilidade estatal. Desde a segunda metade do século XX, formou-se um corpo normativo composto por tratados multilaterais, princípios gerais do direito internacional ambiental e jurisprudência de tribunais internacionais, que impõe aos Estados deveres positivos de prevenção, monitoramento e mitigação de impactos ambientais decorrentes de atividades sob sua jurisdição ou controle. Esses deveres não dependem necessariamente da existência de danos já consumados ou da comprovação de intenção lesiva, mas decorrem da obrigação geral de evitar que atividades domésticas produzam prejuízos ambientais significativos em escala local, regional ou transnacional.

Um dos pilares desse regime jurídico é o dever de prevenção associado ao padrão de *due diligence* ambiental¹⁴, amplamente reconhecido na jurisprudência internacional. Esse dever exige que os Estados adotem todas as medidas razoáveis e proporcionais para evitar que atividades realizadas sob sua jurisdição causem danos ambientais significativos a outros Estados ou a áreas situadas além da jurisdição nacional. A Corte Internacional de Justiça consolidou esse entendimento em decisões emblemáticas, como no caso *Pulp Mills on the River Uruguay (Argentina v. Uruguay)*, de 2010, no qual afirmou que os Estados possuem obrigação de exercer diligência adequada na prevenção de danos ambientais transfronteiriços, inclusive mediante a realização de avaliações de impacto ambiental quando atividades potencialmente perigosas

¹⁴ O conceito de *due diligence* ambiental refere-se à obrigação dos Estados de adotar todas as medidas razoáveis para prevenir danos ambientais decorrentes de atividades sob sua jurisdição. Esse padrão foi consolidado na jurisprudência internacional e reconhecido como elemento estruturante da responsabilidade ambiental estatal. Cf. VIÑUALES, Jorge E. *The Rio Declaration on Environment and Development: A Commentary*. Oxford: Oxford University Press, 2015.

forem planejadas. A Corte já havia indicado direção semelhante no caso *Gabcíkovo–Nagyymaros Project (Hungary v. Slovakia)*, de 1997, no qual reconheceu que a proteção ambiental constitui interesse essencial da comunidade internacional e deve orientar a interpretação e aplicação de projetos tecnológicos e infraestruturais de grande escala.

A doutrina internacional tem interpretado esse dever como um elemento central da governança ambiental global. Philippe Sands, Jacqueline Peel e Adriana Fabra observam que o padrão de *due diligence* exige que os Estados estabeleçam mecanismos regulatórios adequados, monitorem atividades potencialmente danosas e adotem medidas preventivas proporcionais ao risco ambiental envolvido (Sands; Peel; Fabra; Mackenzie, 2018). A Comissão de Direito Internacional das Nações Unidas também consolidou esse entendimento ao elaborar os Projetos de Artigos sobre a Prevenção de Danos Transfronteiriços decorrentes de Atividades Perigosas (2001), nos quais se estabelece que os Estados devem implementar medidas administrativas, legislativas e técnicas para prevenir danos ambientais significativos resultantes de atividades sob sua jurisdição.

Outro princípio estruturante do Direito Internacional do Meio Ambiente é o princípio da precaução, consagrado no Princípio 15 da Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992). Segundo esse princípio, a ausência de certeza científica absoluta não deve ser utilizada como justificativa para postergar medidas eficazes destinadas a prevenir a degradação ambiental quando houver risco plausível de dano grave ou irreversível. A precaução tornou-se um vetor interpretativo fundamental na regulação de tecnologias emergentes, particularmente aquelas cujos impactos ambientais ainda estão em processo de avaliação científica.

No contexto das tecnologias digitais contemporâneas, esse princípio adquire especial relevância. Estudos recentes sobre sustentabilidade computacional demonstram que sistemas de inteligência artificial generativa dependem de infraestruturas computacionais altamente intensivas em energia e recursos naturais, incluindo consumo significativo de eletricidade e água para resfriamento de data centers (Crawford, 2021; Strubell; Ganesh; McCallum, 2019). Ainda que haja divergências metodológicas sobre a quantificação exata dessas externalidades, a literatura especializada converge ao reconhecer que o crescimento exponencial da demanda por processamento computacional associado à inteligência artificial pode gerar impactos ambientais cumulativos relevantes. Nesse cenário, o princípio da precaução oferece fundamento jurídico para que os Estados adotem medidas regulatórias destinadas a monitorar e mitigar os efeitos

ambientais dessas tecnologias, mesmo antes da consolidação de métricas definitivas sobre sua pegada ecológica.

Um terceiro elemento essencial do regime jurídico internacional ambiental é a avaliação de impacto ambiental (AIA). A exigência de avaliações prévias para atividades potencialmente danosas ao meio ambiente tornou-se um princípio amplamente reconhecido do direito internacional costumeiro. No caso *Pulp Mills*, a Corte Internacional de Justiça afirmou expressamente que a realização de avaliações de impacto ambiental constitui obrigação jurídica quando uma atividade planejada apresenta risco de causar danos significativos em contexto transfronteiriço. Esse entendimento encontra respaldo também no Princípio 17 da Declaração do Rio, segundo o qual a avaliação de impacto ambiental deve ser conduzida para atividades propostas que possam causar impactos adversos relevantes ao meio ambiente.

Diversos instrumentos internacionais reforçam essa obrigação. A Convenção de Espoo sobre Avaliação de Impacto Ambiental em Contexto Transfronteiriço (1991) estabelece procedimentos específicos para avaliação e consulta entre Estados potencialmente afetados por atividades com impacto ambiental relevante. O Protocolo de Kiev sobre Avaliação Ambiental Estratégica (2003) amplia essa abordagem ao exigir que políticas públicas, planos e programas sejam avaliados à luz de seus efeitos ambientais. Esses instrumentos evidenciam que o direito internacional ambiental não se limita à regulação de atividades industriais clássicas, podendo ser aplicado também a tecnologias emergentes cujos impactos ambientais derivam do consumo intensivo de recursos naturais.

Nesse sentido, a ausência de mecanismos de avaliação e monitoramento ambiental aplicáveis às infraestruturas digitais de inteligência artificial pode representar lacuna regulatória relevante. Embora as operações computacionais ocorram em ambientes virtualizados e altamente distribuídos, elas dependem de infraestrutura física intensiva em energia e recursos naturais, cuja expansão crescente exige consideração no âmbito das políticas ambientais e energéticas nacionais.

Transparência Ambiental, Acesso à Informação e Participação Pública

A governança ambiental contemporânea também se caracteriza pela incorporação de princípios de transparência, participação pública e acesso à informação ambiental. Esses elementos constituem pilares normativos destinados a garantir que decisões com impacto

ecológico relevante sejam tomadas de forma aberta, participativa e informada.

A Convenção de Aarhus sobre Acesso à Informação, Participação Pública e Acesso à Justiça em Matéria Ambiental (1998) representa um dos instrumentos mais influentes nesse campo. O tratado estabelece três pilares fundamentais do direito ambiental democrático: o direito de acesso à informação ambiental por parte do público, a participação efetiva em processos decisórios relacionados ao meio ambiente e o acesso à justiça para contestar decisões que afetem interesses ambientais coletivos. Esses princípios visam assegurar que a gestão de recursos naturais e a regulação de atividades potencialmente poluidoras sejam conduzidas com transparência e responsabilidade institucional.

Inspirado diretamente por esse modelo, o Acordo de Escazú (2018) introduziu regime semelhante na América Latina e no Caribe, ampliando as garantias de transparência ambiental e participação pública na região. O tratado estabelece obrigações estatais de divulgar informações sobre impactos ambientais de atividades públicas e privadas, garantir mecanismos participativos em processos decisórios e assegurar proteção jurídica a defensores ambientais. No contexto das tecnologias digitais, essas disposições adquirem relevância crescente, uma vez que plataformas tecnológicas de grande escala frequentemente operam com elevado grau de opacidade quanto ao consumo de energia, emissões de carbono e utilização de recursos naturais.

A literatura recente sobre governança digital tem destacado que a ausência de transparência nas infraestruturas tecnológicas constitui obstáculo significativo à avaliação de seus impactos ambientais. Kate Crawford argumenta que a inteligência artificial deve ser compreendida como uma infraestrutura material complexa, dependente de cadeias globais de extração mineral, produção de hardware e consumo intensivo de energia, cuja materialidade frequentemente permanece invisível nas narrativas dominantes sobre inovação tecnológica (Crawford, 2021). Nesse contexto, a aplicação dos princípios de transparência ambiental previstos em tratados como Aarhus e Escazú pode contribuir para reduzir a opacidade informacional associada à operação de plataformas digitais intensivas em recursos naturais.

Instrumentos Internacionais sobre Clima e Energia

A crescente interdependência entre tecnologias digitais e sistemas energéticos também exige análise à luz dos instrumentos internacionais de governança climática e energética. O Acordo de Paris sobre Mudança do Clima (2015) constitui o principal marco normativo global

nesse campo. O tratado estabelece compromisso coletivo de limitar o aumento da temperatura média global e impõe aos Estados a obrigação de formular e implementar contribuições nacionalmente determinadas (NDCs) destinadas à redução das emissões de gases de efeito estufa.

Embora o Acordo de Paris não trate explicitamente das infraestruturas digitais, sua lógica regulatória abrange qualquer atividade econômica ou tecnológica que contribua significativamente para as emissões globais de carbono. O rápido crescimento da demanda energética associada à computação em nuvem, à mineração de dados e à inteligência artificial generativa tem sido objeto de crescente atenção em estudos sobre sustentabilidade digital. Pesquisas recentes indicam que data centers e redes de telecomunicações já representam parcela significativa do consumo energético global, tendência que tende a se intensificar com a expansão das aplicações de inteligência artificial (IEA, 2023; Masanet et al., 2020).

Nesse contexto, a integração das infraestruturas digitais às estratégias nacionais de mitigação climática torna-se cada vez mais relevante. A incorporação da chamada pegada digital de carbono nos inventários nacionais de emissões e nos compromissos climáticos dos Estados constitui proposta cada vez mais debatida em fóruns internacionais sobre governança tecnológica e sustentabilidade.

Complementarmente, o Tratado da Carta da Energia (Energy Charter Treaty, 1994) estabelece princípios de cooperação internacional voltados à eficiência energética, segurança energética e desenvolvimento sustentável. Embora concebido originalmente para regular investimentos no setor energético, o tratado fornece base normativa para discutir o uso eficiente de energia em infraestruturas tecnológicas emergentes. A aplicação de seus princípios a data centers, redes digitais e sistemas de inteligência artificial é juridicamente plausível, considerando o papel crescente dessas infraestruturas no consumo energético global.

Jurisprudência Emergente e o Parecer Consultivo Climático da Corte Internacional de Justiça

O direito internacional ambiental encontra-se atualmente em fase de evolução significativa, impulsionada por iniciativas judiciais e consultivas destinadas a esclarecer as obrigações dos Estados diante da crise climática global. Em março de 2023, a Assembleia Geral das Nações Unidas adotou a Resolução A/RES/77/276, solicitando à Corte Internacional de Justiça parecer consultivo sobre as obrigações dos Estados em relação às mudanças climáticas.

O pedido submetido à Corte inclui questões relativas aos deveres estatais de mitigação e adaptação climática, à responsabilidade internacional por omissão na proteção do sistema climático e à aplicação de princípios como equidade intergeracional e proteção dos direitos humanos diante da degradação ambiental. Embora o parecer não trate especificamente de tecnologias digitais ou de inteligência artificial, suas conclusões poderão exercer influência significativa sobre a interpretação das obrigações ambientais dos Estados em relação a atividades tecnológicas intensivas em energia.

A doutrina internacional tem destacado que pareceres consultivos da Corte Internacional de Justiça frequentemente desempenham papel importante na evolução do direito internacional costumeiro. Nesse sentido, a eventual consolidação de obrigações mais rigorosas de mitigação climática poderá reforçar a necessidade de considerar os impactos ambientais de novas tecnologias no âmbito das políticas públicas nacionais e das estratégias internacionais de sustentabilidade.

Síntese Argumentativa

A análise do quadro normativo internacional permite sustentar que o regime jurídico ambiental vigente já oferece fundamentos relevantes para a regulação dos impactos ambientais associados às tecnologias digitais emergentes. O conjunto de obrigações derivadas dos princípios de prevenção, precaução e transparência ambiental, bem como dos compromissos internacionais em matéria climática, impõe aos Estados o dever de monitorar e mitigar atividades tecnológicas capazes de gerar externalidades ambientais significativas.

Nesse contexto, o uso intensivo de sistemas de inteligência artificial generativa para finalidades não essenciais, especialmente quando realizado em larga escala, pode produzir impactos ambientais cumulativos que devem ser considerados à luz dessas obrigações internacionais. A ausência de mecanismos adequados de avaliação de impacto ambiental, de transparência informacional e de monitoramento energético das plataformas digitais intensivas em recursos naturais pode revelar incompatibilidades relevantes com o regime jurídico internacional de proteção ambiental.

Consequentemente, os Estados que permitem ou subsidiam a operação dessas infraestruturas em seus territórios têm responsabilidade crescente de desenvolver instrumentos regulatórios capazes de integrar inovação tecnológica e sustentabilidade ambiental. Essa tarefa

envolve não apenas a criação de normas específicas sobre sustentabilidade digital, mas também a interpretação evolutiva dos instrumentos internacionais existentes, de modo a assegurar que o avanço tecnológico ocorra em consonância com os princípios fundamentais do direito ambiental internacional e com os compromissos globais de mitigação da crise climática.

SUSTENTABILIDADE E REGULAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: DESAFIOS E CAMINHOS NORMATIVOS

A rápida expansão dos sistemas de inteligência artificial generativa trouxe à tona uma dimensão ainda insuficientemente explorada do debate ambiental contemporâneo: o impacto sistêmico das infraestruturas computacionais globais. Embora o discurso público sobre inteligência artificial frequentemente enfatize aspectos relacionados à inovação tecnológica, produtividade econômica e criatividade digital, uma análise mais aprofundada revela que essas tecnologias dependem de uma base material altamente intensiva em energia, água e recursos naturais. Data centers, redes de telecomunicações, cadeias de produção de hardware e processos de mineração de minerais críticos constituem a infraestrutura invisível que sustenta a chamada economia digital.

Nos últimos anos, a literatura especializada tem demonstrado que essa materialidade da inteligência artificial possui implicações ambientais significativas. Kate Crawford, ao examinar o ciclo de vida das tecnologias de IA, destaca que a produção, treinamento e operação de sistemas computacionais avançados mobilizam cadeias globais de extração mineral, processamento industrial e consumo energético em larga escala, o que transforma a inteligência artificial em um fenômeno socioambiental complexo (Crawford, 2021). Estudos recentes sobre sustentabilidade computacional também indicam que o crescimento exponencial da demanda por processamento de dados pode aumentar significativamente o consumo energético global associado à infraestrutura digital (Masanet et al., 2020; Strubell; Ganesh; McCallum, 2019).

Apesar dessa crescente evidência empírica, o regime jurídico internacional ainda não dispõe de instrumentos específicos capazes de regular de forma sistemática os impactos ambientais das tecnologias digitais. A ausência de normas multilaterais voltadas diretamente à sustentabilidade computacional revela uma lacuna relevante no direito internacional ambiental contemporâneo, especialmente quando se considera a escala global de expansão das plataformas digitais e a crescente centralidade da inteligência artificial em setores econômicos, culturais e

científicos.

Diante desse cenário, torna-se necessário examinar de que maneira os princípios tradicionais do direito ambiental internacional podem ser aplicados ao campo das tecnologias digitais e quais caminhos normativos emergem para a construção de um regime regulatório capaz de integrar inovação tecnológica e sustentabilidade ambiental.

Sustentabilidade Ambiental e Infraestruturas Digitais

A noção de sustentabilidade ocupa posição central no direito internacional ambiental contemporâneo. Desde a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, consolidou-se a compreensão de que o desenvolvimento econômico deve ser compatibilizado com a proteção ambiental e a equidade intergeracional. Esse entendimento foi reafirmado em instrumentos multilaterais como a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, o Acordo de Paris sobre Mudança do Clima e a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.

No plano jurídico, a sustentabilidade ambiental articula diversos princípios estruturantes do direito internacional, entre os quais se destacam o princípio da precaução, o princípio da prevenção, a responsabilidade comum porém diferenciada e o princípio da integração entre políticas econômicas, sociais e ambientais. Conforme observa Philippe Sands, o direito ambiental internacional contemporâneo exige que decisões públicas e privadas sejam avaliadas à luz de seus impactos ambientais cumulativos, especialmente quando envolvem atividades tecnológicas de grande escala (Sands; Peel; Fabra; Mackenzie, 2018).

Quando esses princípios são aplicados ao domínio das tecnologias digitais, torna-se necessário considerar o ciclo de vida completo das infraestruturas computacionais. Isso inclui não apenas o consumo energético associado à operação cotidiana dos sistemas de inteligência artificial, mas também os impactos ambientais da produção de hardware, da extração de minerais raros utilizados na fabricação de semicondutores e do descarte de equipamentos eletrônicos obsoletos.

Pesquisas recentes conduzidas por organismos internacionais como a International Telecommunication Union (ITU) e a UNESCO têm buscado desenvolver metodologias específicas para medir a pegada ecológica da inteligência artificial e das infraestruturas digitais. Esses estudos indicam que a avaliação da sustentabilidade computacional deve levar em

consideração múltiplos indicadores ambientais, entre os quais se destacam o consumo energético por tarefa computacional, as emissões de dióxido de carbono associadas às operações digitais, o volume de água utilizado para resfriamento de data centers e os impactos ambientais da produção e descarte de equipamentos tecnológicos (ITU, 2023; UNESCO, 2021).

Ainda que esses parâmetros estejam em fase de consolidação metodológica, eles revelam uma tendência crescente de incorporação da sustentabilidade como critério relevante na avaliação de tecnologias digitais. A aplicação desses indicadores ao campo da inteligência artificial generativa torna-se particularmente importante diante da expansão de aplicações recreativas, publicitárias e culturais que demandam grande capacidade computacional sem necessariamente produzir benefícios sociais proporcionais ao seu custo ambiental.

Fragmentação Normativa e Lacunas Regulatórias

Apesar do crescente reconhecimento dos impactos ambientais das tecnologias digitais, o quadro normativo internacional permanece fragmentado e insuficiente para lidar com a complexidade desse fenômeno. Não existem atualmente tratados multilaterais especificamente voltados à sustentabilidade da inteligência artificial ou das infraestruturas digitais em geral. Como consequência, o tema permanece disperso entre diferentes regimes jurídicos internacionais, incluindo o direito ambiental, o direito da energia, o direito do comércio internacional e os regimes de governança da internet.

Essa fragmentação normativa¹⁵ produz uma situação peculiar: enquanto a expansão da inteligência artificial é amplamente incentivada por políticas de inovação tecnológica e competitividade econômica, seus impactos ambientais permanecem em grande medida fora do alcance de instrumentos regulatórios específicos. O próprio Acordo de Paris, principal instrumento jurídico global de governança climática, não estabelece categorias explícitas para contabilização das emissões associadas a tecnologias digitais ou infraestruturas computacionais em seus inventários nacionais de gases de efeito estufa.

Ao mesmo tempo, regimes jurídicos internacionais voltados ao comércio e à inovação

¹⁵ A fragmentação do direito internacional refere-se à existência de múltiplos regimes jurídicos parcialmente autônomos, frequentemente desenvolvidos em áreas especializadas, como comércio internacional, meio ambiente e tecnologia. Essa fragmentação pode gerar lacunas regulatórias quando novas atividades econômicas se situam na interseção entre diferentes regimes normativos. Cf. INTERNATIONAL LAW COMMISSION. *Fragmentation of International Law: Difficulties Arising from the Diversification and Expansion of International Law*. UN Doc. A/CN.4/L.682, 2006.

tecnológica frequentemente estimulam a expansão de plataformas digitais como vetor de crescimento econômico e transformação produtiva. Essa assimetria regulatória contribui para a formação de um campo de exceção normativa, no qual atividades tecnologicamente avançadas e culturalmente disseminadas são utilizadas em larga escala sem mecanismos claros de internalização de seus impactos ambientais.

Diversos autores têm chamado atenção para esse descompasso entre a governança digital e a governança ambiental global. Benjamin Bratton observa que as infraestruturas computacionais contemporâneas constituem uma nova camada de organização material da economia global, cuja regulação ainda não foi plenamente incorporada aos instrumentos tradicionais do direito internacional (Bratton, 2016). De maneira semelhante, Nicole Starosielski demonstra que a infraestrutura física da internet, incluindo cabos submarinos, data centers e sistemas energéticos, possui impactos ambientais significativos que raramente são considerados nos debates sobre tecnologia digital (Starosielski, 2015).

Nesse contexto, a ausência de mecanismos jurídicos capazes de integrar sustentabilidade ambiental e governança digital representa um dos principais desafios regulatórios do século XXI.

Iniciativas Internacionais Emergentes

Nos últimos anos, diferentes organizações internacionais passaram a reconhecer a necessidade de incorporar a sustentabilidade ambiental ao debate sobre transformação digital. Entre as iniciativas mais relevantes destaca-se o programa Green Digital Action, lançado no contexto das Conferências das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP28 e COP29). Essa iniciativa reúne governos, empresas tecnológicas e agências das Nações Unidas com o objetivo de desenvolver parâmetros globais para mensuração e redução da pegada ecológica das tecnologias digitais.

Entre as propostas discutidas nesse fórum está a incorporação de indicadores de sustentabilidade digital aos relatórios nacionais de contribuição climática apresentados pelos Estados no âmbito do Acordo de Paris. Essa abordagem busca integrar a governança das infraestruturas digitais às estratégias globais de mitigação das mudanças climáticas.

Paralelamente, organismos técnicos internacionais também vêm desenvolvendo padrões normativos voltados à sustentabilidade da inteligência artificial. A International Telecommunication Union publicou recentemente relatórios propondo indicadores padronizados

para avaliação da eficiência energética de sistemas de IA e data centers, enquanto a Organização Internacional de Padronização (ISO) iniciou processos de elaboração de normas técnicas voltadas à análise do ciclo de vida ambiental de sistemas digitais.

No plano regional, algumas iniciativas legislativas começam a incorporar critérios ambientais à regulação da inteligência artificial. O Regulamento Europeu de Inteligência Artificial (EU AI Act) introduziu disposições voltadas à eficiência energética e à rastreabilidade técnica de sistemas de IA considerados de alto risco. Em paralelo, debates legislativos em países como Alemanha e França têm explorado a possibilidade de estabelecer obrigações de transparência energética e mecanismos de taxação progressiva associados ao consumo computacional de grandes plataformas digitais.

Essas iniciativas ainda se encontram em estágio inicial de desenvolvimento, mas indicam uma tendência crescente de integração entre governança digital e sustentabilidade ambiental.

Caminhos Normativos para uma Governança Ambiental da Inteligência Artificial

A análise do cenário regulatório internacional sugere que a construção de um regime jurídico voltado à sustentabilidade da inteligência artificial exigirá a combinação de diferentes instrumentos normativos e institucionais. Uma primeira possibilidade consiste na elaboração de um tratado multilateral específico dedicado à sustentabilidade digital, capaz de estabelecer obrigações vinculantes de mensuração, transparência e mitigação ambiental para plataformas digitais intensivas em recursos naturais.

Outra possibilidade reside na incorporação da chamada pegada digital de carbono aos mecanismos existentes de governança climática. Nesse modelo, as emissões associadas a infraestruturas digitais, incluindo sistemas de inteligência artificial, streaming e mineração de dados, passariam a integrar os inventários nacionais de gases de efeito estufa e os compromissos climáticos assumidos pelos Estados no âmbito do Acordo de Paris.

A adoção de mecanismos internacionais de monitoramento, reporte e verificação aplicáveis às infraestruturas digitais também representa caminho promissor. O modelo de MRV (monitoring, reporting and verification) já utilizado para acompanhamento das emissões de gases de efeito estufa poderia ser adaptado para incluir indicadores específicos relacionados ao consumo energético e à pegada ambiental de plataformas digitais de grande escala.

Por fim, a incorporação dos princípios de justiça climática e precaução à formulação de

políticas nacionais de inteligência artificial pode contribuir para orientar decisões regulatórias sobre o uso socialmente prioritário dessas tecnologias. Isso implica reconhecer que o acesso a recursos energéticos e computacionais constitui bem estratégico em contextos de escassez ambiental crescente. Nesse sentido, a priorização de aplicações de inteligência artificial voltadas à saúde, educação, pesquisa científica e administração pública pode representar estratégia normativa legítima para conciliar inovação tecnológica e sustentabilidade ambiental.

Em síntese, a integração entre governança digital e direito ambiental internacional constitui desafio regulatório emergente que exige abordagem multidisciplinar e cooperação institucional entre Estados, organizações internacionais e setor privado. A construção de um regime jurídico capaz de regular os impactos ambientais da inteligência artificial dependerá da capacidade da comunidade internacional de adaptar princípios consolidados do direito ambiental às novas realidades tecnológicas da economia digital contemporânea.

O CASO BRASILEIRO: SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E REGULAÇÃO TECNOLÓGICA

O ordenamento jurídico brasileiro oferece bases normativas particularmente sólidas para a análise das implicações ambientais decorrentes do avanço das tecnologias digitais. A Constituição da República de 1988 consolidou um dos mais abrangentes regimes de proteção ambiental do constitucionalismo contemporâneo ao reconhecer, no artigo 225, o direito de todos a um meio ambiente ecologicamente equilibrado como direito fundamental de natureza difusa e transindividual¹⁶. Esse dispositivo constitucional não apenas consagra a proteção ambiental como valor estruturante do Estado democrático de direito, mas também impõe deveres positivos ao Poder Público e à coletividade para assegurar a preservação dos recursos naturais em benefício das presentes e futuras gerações.

A centralidade do meio ambiente no texto constitucional brasileiro insere-se em uma tendência mais ampla de constitucionalização do direito ambiental observada em diversos sistemas jurídicos desde o final do século XX. Como observa Ingo Wolfgang Sarlet, a proteção ambiental passou a integrar o núcleo essencial da dignidade da pessoa humana e do chamado mínimo existencial ecológico, constituindo pressuposto indispensável para a realização de outros

¹⁶ A doutrina constitucional brasileira caracteriza o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado como direito fundamental de terceira dimensão, pertencente à categoria dos direitos difusos e transindividuais, cuja titularidade pertence simultaneamente à coletividade presente e às gerações futuras.

direitos fundamentais (Sarlet, 2018). Nesse contexto, o reconhecimento constitucional do meio ambiente como direito fundamental implica que políticas públicas, atividades econômicas e inovações tecnológicas devem ser avaliadas à luz de seus impactos ambientais, mesmo quando esses impactos decorrem de infraestruturas tecnológicas complexas ou de externalidades difusas.

A expansão recente das tecnologias digitais e, em particular, da inteligência artificial generativa, desafia esse arcabouço normativo ao introduzir novas formas de consumo energético e utilização de recursos naturais. Embora as operações computacionais associadas à inteligência artificial ocorram em ambientes digitais aparentemente imateriais, elas dependem de infraestrutura física intensiva em energia, sistemas de resfriamento que utilizam grandes volumes de água e cadeias globais de produção de hardware baseadas na extração de minerais estratégicos. A literatura especializada tem demonstrado que a inteligência artificial deve ser compreendida como uma infraestrutura socioambiental complexa, cujos impactos materiais frequentemente permanecem invisíveis nos discursos dominantes sobre inovação tecnológica (Crawford, 2021).

Nesse cenário, o artigo 225 da Constituição brasileira adquire relevância particular. O caput do dispositivo estabelece que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, impondo ao Poder Público o dever de defendê-lo e preservá-lo por meio de políticas preventivas, regulatórias e educacionais. O §1º do mesmo artigo explicita diversas obrigações estatais destinadas a concretizar esse mandamento constitucional, incluindo a exigência de estudos prévios de impacto ambiental para atividades potencialmente poluidoras, o controle da produção e uso de técnicas ou métodos que possam colocar em risco a qualidade de vida e o meio ambiente, bem como a promoção da educação ambiental em todos os níveis de ensino.

Embora essas disposições tenham sido originalmente concebidas em um contexto no qual os principais riscos ambientais estavam associados a atividades industriais clássicas, sua formulação aberta permite interpretação evolutiva capaz de abranger novas formas de impacto ambiental decorrentes da transformação tecnológica. Como destaca Édis Milaré, o direito ambiental brasileiro caracteriza-se por sua natureza preventiva e pela ampla abrangência de seus instrumentos de controle, os quais podem ser aplicados a qualquer atividade que produza degradação ambiental direta ou indireta (Milaré, 2023). Sob essa perspectiva, o consumo intensivo de energia e recursos naturais por infraestruturas digitais também pode ser analisado à luz das exigências constitucionais de proteção ambiental.

No plano infraconstitucional, o Brasil dispõe de um conjunto significativo de instrumentos normativos que podem ser mobilizados para enfrentar os impactos ambientais

associados às tecnologias digitais. A Lei nº 6.938/1981, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente, estabelece princípios e mecanismos destinados à preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental. Entre esses mecanismos destacam-se o licenciamento ambiental, a avaliação de impacto ambiental e a responsabilização objetiva por danos ambientais. A definição de poluidor adotada pela legislação brasileira, abrangendo qualquer pessoa física ou jurídica responsável direta ou indiretamente por atividade causadora de degradação ambiental, permite interpretação suficientemente ampla para incluir externalidades associadas a infraestruturas digitais que operem em território nacional ou produzam efeitos ambientais dentro dele.

Outro instrumento relevante é a Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e introduz o princípio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Embora essa legislação esteja tradicionalmente associada à gestão de resíduos industriais e urbanos, seus princípios também podem ser aplicados à cadeia produtiva das tecnologias digitais, especialmente no que se refere ao descarte de equipamentos eletrônicos e à gestão de resíduos provenientes de data centers e infraestruturas computacionais.

Além disso, resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelecem parâmetros técnicos para avaliação de impacto ambiental e gestão de atividades potencialmente poluidoras, incluindo processos com elevado consumo energético. Ainda que essas normas não tenham sido elaboradas especificamente para lidar com infraestruturas digitais, seus princípios podem ser adaptados para avaliar os impactos ambientais associados à expansão da inteligência artificial e de outras tecnologias intensivas em processamento computacional.

No plano das políticas públicas, documentos estratégicos recentes também indicam crescente preocupação com a compatibilização entre inovação tecnológica e sustentabilidade ambiental. O Decreto nº 10.531/2020, que institui a Estratégia Federal de Desenvolvimento para o Brasil no período 2020–2031, reconhece a transformação digital como elemento central do desenvolvimento econômico contemporâneo, ao mesmo tempo em que enfatiza a necessidade de promover uso sustentável dos recursos naturais e transição para modelos de crescimento ambientalmente responsáveis. No entanto, a ausência de metas específicas relacionadas à pegada ambiental das tecnologias digitais revela a existência de lacunas regulatórias que ainda precisam ser enfrentadas.

A dimensão internacional da proteção ambiental também exerce influência significativa sobre o ordenamento jurídico brasileiro. O país é parte de diversos tratados multilaterais relevantes, incluindo a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, o

Acordo de Paris, a Convenção sobre Diversidade Biológica e o Acordo de Escazú sobre acesso à informação e participação pública em matéria ambiental. Esses instrumentos reforçam as obrigações do Estado brasileiro de prevenir e mitigar impactos ambientais decorrentes de atividades sob sua jurisdição, inclusive quando tais impactos resultem de tecnologias emergentes.

A integração entre esses compromissos internacionais e o ordenamento jurídico interno exige interpretação dinâmica das normas existentes, de modo a incorporar novas dimensões da sustentabilidade ambiental associadas à economia digital. A expansão da inteligência artificial generativa e de outras infraestruturas digitais intensivas em energia coloca em evidência a necessidade de desenvolver instrumentos regulatórios capazes de monitorar e mitigar sua pegada ecológica.

Nesse contexto, o debate regulatório brasileiro sobre inteligência artificial apresenta oportunidades relevantes, mas ainda carece de abordagem mais sistemática do ponto de vista ambiental. O Projeto de Lei nº 2.338/2023, atualmente em tramitação no Congresso Nacional, propõe diretrizes gerais para o desenvolvimento e uso da inteligência artificial no país. Embora o texto reconheça a sustentabilidade como princípio orientador da regulação tecnológica, ele ainda não estabelece mecanismos concretos de mensuração ou controle da pegada ambiental das infraestruturas digitais.

Iniciativas legislativas subnacionais também vêm emergindo em alguns estados e municípios brasileiros com o objetivo de promover inovação tecnológica e regulação da inteligência artificial. Contudo, até o momento, essas propostas têm se concentrado principalmente em questões relacionadas à ética algorítmica, proteção de dados e governança digital, sem incorporar de forma sistemática critérios ambientais aplicáveis à operação de plataformas digitais intensivas em energia.

Diante desse cenário, torna-se evidente que o ordenamento jurídico brasileiro dispõe de fundamentos constitucionais e legais robustos para a regulação ambiental das tecnologias digitais, mas ainda carece de instrumentos normativos específicos capazes de operacionalizar essa proteção no contexto da transformação tecnológica contemporânea. A incorporação de critérios de sustentabilidade computacional à regulação da inteligência artificial pode representar passo importante nesse sentido, permitindo integrar inovação tecnológica, proteção ambiental e desenvolvimento sustentável.

A construção desse arcabouço regulatório exige articulação entre diferentes níveis normativos, constitucional, infraconstitucional e internacional, bem como diálogo entre

autoridades públicas, comunidade científica e setor tecnológico. Somente por meio dessa abordagem integrada será possível assegurar que o avanço da inteligência artificial ocorra em conformidade com os princípios fundamentais do direito ambiental brasileiro e com os compromissos internacionais assumidos pelo país na governança ambiental global.

CONCLUSÃO: OS DIREITOS TRANSINDIVIDUAIS DIANTE DA IA

A difusão acelerada de modelos de inteligência artificial generativa para produção de imagens, especialmente em contextos marcados por forte apelo estético e cultural, como a apropriação gráfica do estilo do Estúdio Ghibli, evidencia um conjunto de tensões estruturais que desafiam os marcos tradicionais de regulação tecnológica. Embora tais práticas tenham emergido, em grande medida, no âmbito da experimentação criativa, do entretenimento digital e da expressão individual, os seus efeitos materiais sobre sistemas energéticos, recursos hídricos e emissões de carbono revelam que o fenômeno ultrapassa a esfera estritamente cultural ou comunicacional.

O presente estudo demonstrou que a geração de imagens por meio de modelos de IA envolve demandas energéticas e infraestruturais significativas. Ainda que os dados disponíveis possuam natureza estimativa, a literatura técnica converge no reconhecimento de que sistemas de IA generativa operam por meio de cadeias computacionais intensivas em energia e água, associadas a centros de dados de grande escala. Quando comparada a outras aplicações da inteligência artificial, como processamento textual, análise de dados ou cálculo científico, a produção massiva de imagens com finalidade predominantemente recreativa apresenta uma relação particularmente desfavorável entre custo ambiental e utilidade social direta.

No plano jurídico internacional, verificou-se que os instrumentos normativos existentes oferecem bases suficientes para a incorporação dessas externalidades tecnológicas ao campo da responsabilidade ambiental. O Acordo de Paris, os princípios da Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, bem como os regimes de transparência ambiental consagrados na Convenção de Aarhus e no Acordo de Escazú, estabelecem deveres de prevenção, precaução e acesso à informação que se aplicam igualmente a infraestruturas digitais. A jurisprudência da Corte Internacional de Justiça, ao afirmar o dever de realização de avaliações de impacto ambiental sempre que houver risco de dano significativo transfronteiriço, reforça a compreensão de que a ausência de regulamentação específica não exonera os Estados da obrigação de controlar

atividades sob sua jurisdição com potencial de impacto ambiental cumulativo.

No plano interno, o caso brasileiro revela uma dissonância significativa entre o reconhecimento constitucional da sustentabilidade ambiental como princípio estruturante do ordenamento jurídico e a ausência de instrumentos regulatórios capazes de traduzir esse princípio em parâmetros operacionais no campo das tecnologias digitais. A inexistência de mecanismos normativos voltados à mensuração e mitigação da pegada ecológica da inteligência artificial mostra-se difícil de conciliar com o regime constitucional do artigo 225 da Constituição Federal, bem como com os compromissos ambientais assumidos internacionalmente pelo país.

A partir dessas premissas, podem ser formuladas algumas conclusões centrais.

Em primeiro lugar, o uso de sistemas de inteligência artificial generativa para fins recreativos ou estéticos, quando associado a elevado custo ambiental agregado, constitui fenômeno juridicamente relevante e passível de regulação. A análise desse tipo de aplicação não pode limitar-se a considerações sobre liberdade de criação ou inovação tecnológica, devendo incorporar também os princípios estruturantes do direito internacional ambiental, especialmente os deveres de prevenção e precaução.

Em segundo lugar, os Estados têm o dever de desenvolver instrumentos técnicos e institucionais capazes de quantificar, monitorar e reduzir o impacto ambiental das tecnologias digitais. Isso inclui a incorporação de métricas energéticas e climáticas nos regimes nacionais de governança da inteligência artificial, bem como a integração desses parâmetros às políticas públicas de inovação, transição energética e cumprimento das metas climáticas internacionais.

Em terceiro lugar, a expansão global da inteligência artificial generativa evidencia a necessidade de construção progressiva de um marco regulatório internacional voltado à sustentabilidade digital. A concentração geográfica das infraestruturas de processamento e armazenamento de dados, associada à natureza transfronteiriça de seus impactos ambientais, sugere que instrumentos multilaterais, formais ou soft law, poderão desempenhar papel relevante na definição de padrões mínimos de transparência, eficiência energética e responsabilidade ambiental no setor tecnológico.

Em quarto lugar, a proteção dos direitos transindividuais ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, ao acesso equitativo à energia e à preservação dos recursos hídricos impõe limites jurídicos ao uso irrestrito de recursos computacionais para finalidades não essenciais. Em contextos de escassez energética ou pressão ambiental significativa, a priorização de usos tecnologicamente intensivos deve ser objeto de ponderação normativa à luz do princípio

da justiça ambiental e da distribuição equitativa dos custos ecológicos da inovação.

O caso analisado revela, em última instância, um fenômeno mais amplo que pode ser descrito como a progressiva ambientalização do direito da tecnologia. À medida que infraestruturas digitais passam a ocupar posição central na economia contemporânea, na circulação de informações e na produção cultural, seus impactos ambientais deixam de ser externalidades invisíveis e passam a integrar o núcleo das preocupações regulatórias. A inteligência artificial, nesse cenário, não pode ser compreendida apenas como objeto de regulação econômica ou ética, mas também como elemento integrante das políticas globais de energia, clima e sustentabilidade.

Ao explorar a interseção entre cultura digital, infraestrutura energética e responsabilidade jurídica, o presente trabalho procurou contribuir para o desenvolvimento de uma agenda normativa capaz de reconciliar inovação tecnológica e sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, a incorporação dos princípios do Direito Internacional do Meio Ambiente à governança da inteligência artificial não constitui obstáculo ao progresso tecnológico, mas condição necessária para que esse progresso se realize de forma socialmente legítima, ambientalmente responsável e juridicamente sustentável.

REFERÊNCIAS

BODANSKY, Daniel; BRUNNÉE, Jutta; RAJAMANI, Lavanya. **International Climate Change Law**. Oxford: Oxford University Press, 2017.

BOISSON DE CHAZOURNES, Laurence. **Fresh water in international law**. Oxford: Oxford University Press, 2013.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Senado Federal. Projeto de Lei nº 2.338, de 2023. **Dispõe sobre o uso da inteligência artificial no Brasil**. Brasília: Senado Federal, 2023. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/164527>. Acesso em: 8 mar. 2026.

BRATTON, Benjamin H. **The stack: on software and sovereignty**. Cambridge: MIT Press, 2016.

CANÇADO TRINDADE, Antônio Augusto. **Direito internacional dos direitos humanos e direito internacional ambiental: convergências e complementaridades**. Belo Horizonte: Del Rey, 2004.

CORTE INTERNACIONAL DE JUSTIÇA. **Pulp Mills on the River Uruguay (Argentina v. Uruguay). Judgment of 20 April 2010.** Haia: ICJ, 2010. Disponível em: <https://www.icj-cij.org/case/135>. Acesso em: 8 mar. 2026.

CRAWFORD, Kate. **Atlas of AI: power, politics, and the planetary costs of artificial intelligence.** New Haven: Yale University Press, 2021.

CRAWFORD, Kate; JOLER, Vladan. **Anatomy of an AI System.** New York: AI Now Institute, 2018.

ENERGY CHARTER CONFERENCE. **Energy Charter Treaty.** Lisboa, 1994. Disponível em: <https://www.energycharter.org>. Acesso em: 8 mar. 2026.

FLORIDI, Luciano et al. **AI4People – An ethical framework for a good AI society.** *Minds and Machines*, v. 28, n. 4, p. 689–707, 2018.

GILLESPIE, Tarleton. **Custodians of the internet: platforms, content moderation, and the hidden decisions that shape social media.** New Haven: Yale University Press, 2018.

HILDEBRANDT, Mireille. **Law for computer scientists and other folk.** Oxford: Oxford University Press, 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Electricity 2023: analysis and forecast to 2026.** Paris: IEA, 2023.

INTERNATIONAL LAW COMMISSION. **Fragmentation of International Law: Difficulties Arising from the Diversification and Expansion of International Law.** UN Doc. A/CN.4/L.682, 2006.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU). **Green digital action: sustainability in the age of AI.** Genebra: ITU, 2023. Disponível em: <https://www.itu.int>. Acesso em: 8 mar. 2026.

JENKINS, Henry. **Convergence culture: where old and new media collide.** New York: New York University Press, 2006.

LEMLEY, Mark A.; CASEY, Bryan. **Fair Learning.** *Texas Law Review*, v. 99, 2021.

LESSIG, Lawrence. **Remix: Making Art and Commerce Thrive in the Hybrid Economy.** New York: Penguin Press, 2008.

MASANET, Eric et al. **Recalibrating global data center energy-use estimates.** *Science*, v. 367, n. 6481, p. 984–986, 2020.

MILARÉ, Édís. **Direito do ambiente.** 13. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2023.

MORAND, Damien et al. **How green can AI be?.** arXiv preprint, arXiv:2312.06294, 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2312.06294>. Acesso em: 8 mar. 2026.

PASQUALE, Frank. **The black box society: the secret algorithms that control money and information**. Cambridge: Harvard University Press, 2015.

PATTERSON, David et al. **Carbon emissions and large neural network training**. Ithaca: Cornell University, 2021. arXiv:2104.10350. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.10350>. Acesso em: 8 mar. 2026.

RIO DE JANEIRO. **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: ONU, 1992.

SANDS, Philippe; PEEL, Jacqueline; FABRA, Adriana; MACKENZIE, Ruth. **Principles of international environmental law**. 4. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2018.

SARLET, Ingo Wolfgang. **A dimensão ecológica da dignidade da pessoa humana e do mínimo existencial**. Revista Brasileira de Direito Constitucional, São Paulo, n. 31, p. 9–28, 2018.

STAROSIELSKI, Nicole. **The undersea network**. Durham: Duke University Press, 2015.

STRUBELL, Emma; GANESH, Ananya; MCCALLUM, Andrew. **Energy and policy considerations for deep learning in NLP**. In: Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Florence: ACL, 2019.

UNESCO. **Steering AI and advanced ICTs for knowledge societies: a rights, openness, access, and multistakeholder perspective**. Paris: UNESCO, 2021.

UNITED NATIONS. **Paris Agreement under the United Nations Framework Convention on Climate Change**. Paris: United Nations, 2015.

UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE (UNECE). **Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-Making and Access to Justice in Environmental Matters (Aarhus Convention)**. Aarhus, 1998.

UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE (UNECE). **Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context (Espoo Convention)**. Espoo, 1991.

UNITED NATIONS. **Regional Agreement on Access to Information, Public Participation and Justice in Environmental Matters in Latin America and the Caribbean (Escazú Agreement)**. Santiago: ECLAC, 2018.

USGS. **Mineral Commodity Summaries**. United States Geological Survey, 2023.

VAN DIJCK, José; POELL, Thomas; DE WAAL, Martijn. **The platform society: public values in a connective world**. Oxford: Oxford University Press, 2018.

VIÑUALES, Jorge E. **The Rio Declaration on Environment and Development: A Commentary**. Oxford: Oxford University Press, 2015.

ZUBOFF, Shoshana. **The age of surveillance capitalism**. New York: PublicAffairs, 2019.