

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO ECOSISTEMA AMAZÔNICO: SOBERANIA TECNOLÓGICA, BIOÉTICA DA SUSTENTABILIDADE E O ENFRENTAMENTO À BIOPIRATARIA ALGORÍTMICA

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE AMAZON ECOSYSTEM: TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY, BIOETHICS OF SUSTAINABILITY, AND THE FIGHT AGAINST ALGORITHMIC BIOPIRACY

Roberta Scalzilli¹

Resumo: Este artigo analisa criticamente a implementação da Inteligência Artificial (IA) no Bioma Amazônico, identificando riscos sistêmicos à soberania nacional e à integridade socioambiental. Argumenta-se que a insuficiência do arcabouço regulatório brasileiro cria um vácuo normativo que converte a IA em um vetor de "biopirataria algorítmica"—uma nova modalidade de exploração na qual a riqueza biológica é extraída por meio de dados. Analisando a manipulação e o controle algorítmicos sob a ótica da bioética da sustentabilidade, o estudo propõe uma resposta jurídica proativa baseada em três pilares: 1) a definição do Status Jurídico do Dado Amazônico (abrangendo dados genéticos, espaciais e de conhecimento tradicional) como bem público de interesse estratégico (*res extra commercium*); 2) a consolidação da *accountability* algorítmica no direito administrativo brasileiro, incluindo a inversão do ônus da prova tecnológica em decisões públicas baseadas em IA; e 3) a implementação de uma governança participativa e multisetorial que assegure a soberania de dados indígenas e a repartição justa e equitativa dos benefícios derivados das Informações de Sequenciamento Digital (DSI). A metodologia é analítico-dedutiva, fundamentada em uma hermenêutica transdisciplinar entre o direito ambiental, digital e administrativo, e operacionalizada pela análise crítica de marcos regulatórios e modelos emergentes de governança.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Amazônia; Biopirataria Algorítmica; Informação de Sequenciamento Digital (DSI); Soberania de Dados.

¹ Doutora e Mestra em Direito pela PUC/RS. Especialista em Direito do Consumidor pela Universidade de Coimbra em Portugal e MBA em Direito Empresarial pelo IDC. Membro da Comissão Especial da Defesa do Consumidor da OAB/RS. Membro do Fórum Interinstitucional sobre uso ético da inteligência artificial OAB/RS. Diretora do AI Robotics Society (AIRES-PUCRS). Advogada. Professora em cursos de graduação e Pós Graduação. E-mail: robertascalzilli@gmail.com.

Abstract: This article critically analyzes the implementation of Artificial Intelligence (AI) in the Amazon Biome, identifying systemic risks to national sovereignty and socio-environmental integrity. It argues that the insufficiency of the Brazilian regulatory framework creates a normative vacuum that converts AI into a vector for "algorithmic biopiracy"—a new form of exploitation in which biological wealth is extracted through data. Analyzing algorithmic manipulation and control through the lens of the bioethics of sustainability, the study proposes a proactive legal response based on three pillars: 1) the definition of the Legal Status of Amazonian Data (encompassing genetic, spatial, and traditional knowledge data) as a Strategic Public Good (*res extra commercium*); 2) the consolidation of Algorithmic Accountability in Brazilian Administrative Law, including the reversal of the technological burden of proof in AI-driven public decisions; and 3) the implementation of participatory and multisectoral governance that ensures Indigenous Data Sovereignty and the fair and equitable sharing of benefits derived from Digital Sequence Information (DSI). The methodology is analytical-deductive, grounded in a transdisciplinary hermeneutics between Environmental, Digital, and Administrative Law, and operationalized through the critical analysis of regulatory frameworks and emerging governance models.

Keywords: Artificial Intelligence; Amazon; Algorithmic Biopiracy; Digital Sequence Information (DSI); Data Sovereignty.

1. Introdução

O Bioma Amazônico, com sua complexidade biológica ímpar e inigualável relevância geopolítica, constitui o epicentro do debate global sobre sustentabilidade e soberania nacional. Para além de sua função crítica na regulação do clima global, a região abriga um patrimônio sociobiodiverso único, composto por conhecimentos tradicionais milenares e uma riqueza genética ainda não completamente catalogada. No cenário contemporâneo, a Inteligência Artificial (IA) emerge como uma tecnologia de duplo gume.

Enquanto é promovida como ferramenta essencial para o monitoramento ambiental, a bioeconomia de alto valor agregado e a ciência de fronteira, sua implementação, quando acrítica e desregulada impõe desafios jurídicos e éticos

profundos, ameaçando a autonomia nacional, a equidade social e a própria integridade dos ecossistemas.

A aplicação de algoritmos de *machine learning* e *deep learning* na análise de dados de sensoriamento remoto, cadeias de suprimentos e, sobretudo, no sequenciamento e análise de material genético, promove uma transmutação fundamental: transforma o patrimônio biológico tangível em ativos digitais de valor estratégico incalculável. Esta digitalização do bioma, caracterizada pela velocidade e escala exponenciais, subverte os marcos regulatórios existentes — concebidos para um mundo analógico de extração física — e exige o enfrentamento de conceitos disruptivos, como as Informações de Sequenciamento Digital (DSI) que desafiam os mecanismos tradicionais de repartição de benefícios do Protocolo de Nagoya ao desmaterializar o acesso e a utilização do patrimônio genético.²

O presente estudo tem, portanto, o objetivo de sustentar que a convergência entre a lacuna regulatória brasileira e o poder extrativo da IA gera um cenário de vulnerabilidade hipercomplexa para o bioma e suas populações, facilitando a emergência de uma "biopirataria algorítmica". Partindo dessa premissa, a questão central de pesquisa é: como o ordenamento jurídico brasileiro pode estruturar uma governança proativa e soberana sobre a IA na Amazônia, impedindo que a tecnologia se converta em um vetor de neoextrativismo digital e assegurando que seus benefícios sejam distribuídos de forma justa e equitativa? O argumento desenvolve-se em três eixos: primeiro, fundamenta o conceito de biopirataria algorítmica; segundo, analisa os riscos concretos de sua materialização; e terceiro, propõe um triplo marco regulatório baseado em soberania de dados, *accountability* algorítmica e governança participativa.

A metodologia é analítico-dedutiva, ancorada em uma análise transdisciplinar do Direito Ambiental, Digital e Administrativo, e dialoga com a literatura crítica sobre colonialismo de dados e justiça cognitiva.

² ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB). **Decisão 15/4: Marco Global de Biodiversidade de Kunming-Montreal**. Montreal, dez. 2022. Disponível em: <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-en.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2026.

2. Do Patrimônio Genético ao Patrimônio Informacional: Fundamentos para uma Teoria da Biopirataria Algorítmica

O desafio mais estruturante reside na interface entre a IA e o Patrimônio Genético Nacional. A Amazônia é a principal fonte de *big data* biológicos que alimentam sistemas de IA voltados para a biotecnologia, farmacologia e agroindústria global. O valor econômico e estratégico não reside mais apenas na molécula física (átomo), mas na sua representação digital informacional (bit) - a DSI - e nas correlações e padrões preditivos que apenas algoritmos complexos podem identificar.

Historicamente, a biopirataria materializava-se na extração e remessa física de recursos biológicos e conhecimentos tradicionais associados. Na contemporaneidade, a ameaça sofre uma transmutação para o plano digital.

A biopirataria algorítmica consubstancia-se na captura, acúmulo, processamento e monetização assimétricos dos *datasets* amazônicos por atores externos (conglomerados transnacionais, plataformas de biotecnologia), sem o devido consentimento, controle local ou repartição justa de benefícios. Este novo paradigma converte dados brutos (sequências genéticas, imagens de satélite, registros sonoros) em propriedade intelectual, como modelos preditivos, assinaturas biomoleculares virtuais ou softwares de triagem que são então protegidos por patentes ou segredo comercial. Ocorre, assim, uma desterritorialização da riqueza biológica: o valor é extraído e fixado em jurisdições distantes, enquanto a região de origem permanece com o ônus da conservação e sem os frutos da inovação.

Esse novo paradigma fundamenta-se na ascensão das Informações de Sequenciamento Digital (DSI - *Digital Sequence Information*). O conceito de DSI, embora ainda careça de uma definição técnica universalmente aceita nos fóruns da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), refere-se, em síntese, aos dados derivados de recursos genéticos que podem ser armazenados, transferidos e analisados digitalmente, sem a necessidade de deslocamento físico da amostra biológica original.

Esta "desmaterialização" do recurso genético provoca um curto-circuito no Protocolo de Nagoya. O arcabouço de Nagoya foi edificado sobre a lógica do acesso físico: um pesquisador estrangeiro entra no território (acesso *in situ*),

coleta uma amostra (material tangível) e, a partir daí, aciona-se o mecanismo de Consentimento Prévio Informado (PIC) e os Termos Mutuamente Acordados (MAT). Contudo, a Inteligência Artificial opera em uma lógica de fluidez informacional. Uma vez que uma sequência genética amazônica é digitalizada e depositada em bancos de dados globais de acesso aberto (como o *GenBank*), o vínculo com o território de origem é rompido.

O fenômeno da Biopirataria Algorítmica manifesta-se precisamente nesta lacuna. Algoritmos de aprendizado de máquina podem realizar o data mining de milhares de DSIs simultaneamente, identificando enzimas para detergentes, moléculas para novos fármacos ou proteínas para a agroindústria, sem que o desenvolvedor jamais tenha tocado o solo amazônico ou solicitado autorização ao Estado brasileiro. O valor econômico desloca-se da "posse do espécime" para a "capacidade de processamento do dado".

Dessa forma, a DSI opera como um vetor de neutralização da soberania nacional. Ao converter o patrimônio genético em um ativo informacional global (muitas vezes sob o manto da "ciência aberta"), cria-se um regime paradoxal: uma espécie de 'comunismo de dados' na extração, mas um 'capitalismo de patentes' na geração de valor. A fundamentação jurídica para o enfrentamento dessa crise exige que o direito brasileiro reconheça que o dado digital é o próprio recurso.

Do ponto de vista constitucional, o Art. 225, § 1º, II da CF/88 estabelece o dever do Poder Público de "preservar a diversidade e a integridade do patrimônio genético do País". Contudo, o marco regulatório vigente — notadamente a Lei nº 13.123/2015 (Lei da Biodiversidade) e a Lei nº 13.709/2018 (LGPD) — mostra-se nitidamente insuficiente para tutelar o patrimônio genético na era da informação digital em escala algorítmica. A Lei da Biodiversidade, centrada no acesso ao recurso genético *in situ* ou *ex situ*, não regula adequadamente o acesso e uso da DSI, que pode ser transferida globalmente via um simples arquivo digital. A LGPD, por sua vez, foca na proteção de dados pessoais, deixando em segundo plano os dados ambientais e genéticos não pessoais, que são igualmente sensíveis do ponto de vista da soberania nacional.

Propõe-se, portanto, um salto paradigmático: a definição do Status Jurídico do Dado Amazônico (genético, geoespacial, ecossonoro e de conhecimento tradicional associado) como Bem Público de Interesse

Estratégico, submetido ao regime jurídico de *res extra commercium* (coisa fora do comércio). Essa qualificação, fundamentada no Art. 225 da CF e no princípio da função socioambiental da propriedade, visa afastar a lógica privatista das *Big Techs* e estabelecer que tais dados são inalienáveis, impenhoráveis e insuscetíveis de apropriação privada exclusiva. Como apontou Stefano Rodotà, a digitalização da vida converte corpos e territórios em "corpos eletrônicos", sujeitos a novas formas de expropriação.³

Portanto, a interpretação do Art. 225, § 1º, II da Constituição Federal deve sofrer uma atualização ontológica: a "integridade do patrimônio genético" não se preserva apenas guardando a floresta, mas protegendo o fluxo de informações que dela emana.

Sem a regulação estrita da DSI sob o prisma da soberania tecnológica, o Protocolo de Nagoya torna-se uma "peça de museu" do Direito Analógico, incapaz de conter a expropriação operada por redes neurais de alto desempenho. Esse cenário de hiperexposição digital do bioma evidencia uma lógica expropriatória que demanda um paradigma de proteção à altura. Tal paradigma pode ser buscado na tese da ultravulnerabilidade⁴, a qual estabelece a violação da integridade corporal e mental humana por tecnologias intrusivas como a fronteira ético-jurídica suprema.

Esse conceito ilumina, por contraste, a natureza das violações sistêmicas em curso na Amazônia. A exploração algorítmica do bioma não configura uma ultravulnerabilidade *stricto sensu*, já que seu objeto imediato não é o corpo individual, mas o corpo ecológico-territorial e a integridade sociocultural de suas populações. Contudo, ambas as violações compartilham um núcleo operativo idêntico: a conversão do vivo — seja o tecido humano, seja o patrimônio genético-florestal — em dado bruto, passível de apropriação, processamento, manipulação e controle por terceiros.

Portanto, se a ultravulnerabilidade fundamenta a proibição absoluta do acesso invasivo ao corpo humano (exceto sob condições terapêuticas e de consentimento rigoroso), então a crise amazônica exige, por analogia estrutural,

³ RODOTÀ, Stefano. **A vida na sociedade da vigilância: a privacidade hoje**. Organização de Maria Celina Bodin de Moraes. Rio de Janeiro: Renovar, 2008.

⁴ SILVA, Roberta Scalzilli. **Ultravulnerabilidade na era da internet dos corpos: instrumentos para proteção dos direitos fundamentais diante da manipulação e controle algorítmico**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2023.

a proibição do acesso predatório aos dados da floresta. Este acesso só pode ser admitido quando submetido a um regime análogo: baseado em consentimento prévio, geração de benefício comum e respeito à soberania local.⁵

Dessa forma, a ultravulnerabilidade não se aplica diretamente, mas se desdobra conceitualmente. Ela fornece as premissas para se definir um patamar distinto, porém correlato, de ameaça: a vulnerabilidade hipercomplexa do bioma amazônico. Esta é caracterizada não pela invasão de um organismo singular, mas pela dissecação digital de um ecossistema inteiro e dos sistemas de conhecimento a ele vinculados, com efeitos catastróficos para a autodeterminação dos povos e para um bem comum global.

Assim, a ultravulnerabilidade serve como um farol normativo. Ela revela a amplitude dos riscos de uma tecnociência desvinculada da ética e demanda, por extensão lógica, uma resposta protetiva de intensidade equivalente para o bioma. A proteção da Amazônia na era algorítmica não exige a mesma resposta normativa que a proteção da mente humana, mas exige uma resposta normativa de igual rigor, fundada no mesmo princípio basilar: a vida, em suas manifestações humana e ecológica, possui uma dignidade intrínseca que a torna um fim em si mesma, não um asset a ser minerado. Sua integridade exige barreiras intransponíveis contra a lógica do extrativismo digital.

3. Os Desafios da Implementação: Opacidade Algorítmica, Epistemicídio Digital e o Déficit de Accountability

Uma vez delineada a ameaça à soberania, impõe-se analisar os riscos distributivos e procedimentais da implementação concreta da IA na região. A tecnologia é frequentemente implementada de forma *top-down*, replicando lógicas coloniais e ignorando a realidade socioeconômica e epistêmica local, o que agrava o abismo entre inovação tecnológica e justiça social.

A maioria das comunidades ribeirinhas e indígenas encontra-se em situação de profunda exclusão digital. Esta desconexão gera um epistemicídio digital, onde o conhecimento ecológico tradicional (saber local) é invisibilizado

⁵ SILVA, Roberta Scalzilli. **Ultravulnerabilidade na era da internet dos corpos: instrumentos para proteção dos direitos fundamentais diante da manipulação e controle algorítmico**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2023.

ou invalidado por sistemas de IA treinados com *datasets*⁶ e categorias alheias à cosmovisão e às práticas de manejo sustentável da região.

Modelos algorítmicos de monitoramento do desmatamento, por exemplo, podem ser cegos para práticas agroflorestais complexas (como os sistemas rotativos tradicionais), podendo classificá-las erroneamente como desmatamento ilegal. Para enfrentar esse risco, deve-se adotar o princípio da Soberania de Dados Indígenas, que postula o direito coletivo dos povos originários de possuir, controlar, acessar e possuir dados coletados em seus territórios ou relativos a seus membros, recursos e conhecimentos.

Sob a ótica da Bioética da Sustentabilidade—um marco ético que integra as dimensões ecológica, social e econômica do desenvolvimento—, exige-se que a IA na Amazônia seja guiada pelo Princípio do Compartilhamento Justo e Equitativo de Benefícios. As comunidades, como detentoras originárias do recurso genético e do saber tradicional associado, devem ser reconhecidas como parceiras tecnológicas e titulares de direitos, e não meramente como objetos de vigilância ou fontes passivas de dados. A Declaração de Montreal para um Desenvolvimento Responsável da IA (2018)⁷ reforça essa necessidade ao estabelecer os princípios de "Diversidade e Inclusão" e "Bem-estar" como pilares éticos inegociáveis.

Paralelamente, a crescente dependência de IA por órgãos fiscalizadores como o IBAMA (que utiliza sistemas como o DETER) suscita questões graves de Direito Administrativo sancionador e devido processo legal. O desafio reside na transferência progressiva da detecção e, potencialmente, da classificação de infrações para processos automatizados. Quando um ato administrativo punitivo (multa, embargo) é emitido com base primária em uma inferência algorítmica, o dever de motivação clara e acessível (Art. 2º da Lei 9.784/99) torna-se opaco, criando uma "caixa-preta" decisória que viola o contraditório e a ampla defesa. A responsabilidade objetiva do Estado (Art. 37, § 6º da CF) não pode ser

⁶ É preciso desconstruir o mito da imaterialidade da tecnologia; a economia de dados amazônica repousa sobre uma infraestrutura física de data centers que, sob o pretexto da urgência tecnológica, muitas vezes expande-se em tensão direta com a justiça socioambiental, gerando novos conflitos territoriais e pressões sobre recursos hídricos e energéticos. LAPIN - Laboratório de Políticas Públicas e Internet. **Inteligência Artificial e Data Centers**: a expansão corporativa em tensão com a justiça socioambiental. Brasília: LAPIN, ago. 2025. Disponível em: <https://lapin.org.br/>. Acesso em: 17 jan. 2026.

⁷ MONTREAL DECLARATION. **Montreal Declaration for a Responsible Development of Artificial Intelligence**. Université de Montréal, 2018.

esvaziada pelo argumento do "segredo industrial" ou da complexidade técnica do algoritmo.

Propõe-se, portanto, o estabelecimento de um Direito Fundamental à Explicação Algorítmica no âmbito das relações entre o Estado e o administrado, e a inversão do ônus da prova tecnológica em tais casos. Caberia à administração pública, quando contestada uma decisão baseada em IA, demonstrar a acurácia, a ausência de vieses discriminatórios e a conformidade do sistema com critérios pré-definidos e auditáveis. O órgão fiscalizador deve manter capacidade técnica de auditoria sobre os *datasets* de treinamento e a lógica do algoritmo, assumindo a *accountability* final. O viés algorítmico não pode servir como uma "cortina de fumaça" que focaliza a fiscalização no pequeno produtor enquanto o crime ambiental organizado utiliza técnicas de evasão algorítmica.

Para além da desmaterialização do patrimônio, outro desafio crítico reside no exercício do poder de império estatal por meio de algoritmos opacos. Nesse cenário, a opacidade algorítmica no Poder Público emerge como um nó crítico para a *accountability* e demanda uma releitura da inversão do ônus da prova tecnológica. Isso ocorre porque a integração de sistemas de Inteligência Artificial nas atividades de fiscalização e gestão do Bioma Amazônico — exemplificada pelo uso de algoritmos para detecção de desmatamento e classificação de áreas para embargo — introduz uma mutação nos institutos clássicos do Direito Administrativo. O desafio reside na transição do ato administrativo humano para o ato administrativo mediado por algoritmos, muitas vezes protegidos por cláusulas de segredo industrial de entes privados, gerando o fenômeno da 'caixa-preta' (*black box*).

Sob a ótica do Direito Administrativo sancionador, o princípio da legalidade e o dever de motivação (Art. 2º da Lei nº 9.784/99) exigem que qualquer decisão estatal seja passível de escrutínio. Contudo, a opacidade inerente ao *deep learning* inviabiliza que o cidadão ou as comunidades tradicionais compreendam os critérios que levaram a uma decisão automatizada. Diante desse déficit de transparência, a *accountability* algorítmica deve ser compreendida não apenas como uma prestação de contas *ex post*, mas como o dever da administração de assegurar a explicabilidade e a auditabilidade do código.

Nesse cenário, propõe-se a inversão do ônus da prova tecnológica. No Direito Administrativo clássico, vigora a presunção de legitimidade e veracidade dos atos do Estado. Entretanto, quando o Estado delega a detecção de uma infração ambiental a um algoritmo de alta complexidade, ocorre uma assimetria informacional intransponível para o administrado. O cidadão não possui meios técnicos de auditar se o *dataset* de treinamento do algoritmo estava enviesado ou se o modelo interpretou erroneamente uma prática de manejo tradicional como degradação.

Portanto, fundamentado no princípio da precaução e na teoria da distribuição dinâmica do ônus da prova (adaptada ao Direito Público), cabe ao Estado o ônus de demonstrar a acurácia, a robustez e a conformidade ética do sistema de IA utilizado. A administração pública deve garantir que o "segredo comercial" da empresa fornecedora da tecnologia não se sobreponha ao direito fundamental ao devido processo legal e ao contraditório. Se a administração não for capaz de explicar a "lógica da decisão" algorítmica, o ato administrativo deve ser declarado nulo por vício de motivação.

Essa proposta de *accountability* proativa exige uma reformulação da responsabilidade objetiva do Estado (Art. 37, § 6º da CF). Caso um erro algorítmico — fruto de um bias (viés) não detectado — prejudique uma comunidade indígena ou um pequeno produtor, o Estado responde pelos danos causados pela sua "escolha tecnológica". A soberania na Amazônia, portanto, não se exerce apenas sobre o território físico, mas sobre o controle da "razão algorítmica" que dita as normas de conduta e punição no bioma.

Contudo, a discussão sobre a *accountability* algorítmica e o controle estatal sobre os dados não pode ignorar os sujeitos que habitam o cerne dessa engrenagem. É preciso deslocar a lente jurídica da burocracia estatal para a Soberania de Dados Indígenas, transitando do paradigma do extrativismo digital para o do consentimento algorítmico. Afinal, a implementação da Inteligência Artificial no ecossistema amazônico não ocorre em um vácuo geográfico, mas sobre territórios ancestrais habitados por povos cujas ontologias e saberes tradicionais constituem a própria base da resiliência do bioma. Nesse contexto, a ameaça da biopirataria algorítmica adquire uma dimensão ética alarmante: o epistemicídio digital. Este fenômeno ocorre quando os sistemas de IA ignoram, simplificam ou apropriam-se indevidamente de conhecimentos tradicionais para

fins comerciais, sem que as comunidades originárias tenham agência sobre o fluxo dessas informações

Para contrapor essa lógica neoextrativista, emerge o conceito de Soberania de Dados Indígenas. Diferente da proteção de dados individuais preconizada pela LGPD, a soberania de dados aqui é um direito coletivo e territorial. Ela postula que os povos indígenas devem ter o controle soberano sobre qualquer dado gerado em suas terras ou que utilize seus conhecimentos associados, abrangendo desde o sequenciamento genético da fauna e flora local até o monitoramento por satélite de suas fronteiras.

Dessa premissa decorre a necessidade de atualização do Consentimento Livre, Prévio e Informado (CLPI) para a era digital. O "CLPI Algorítmico" não deve ser apenas uma autorização formal para a entrada de pesquisadores na aldeia, mas um processo contínuo de governança sobre os metadados gerados. Se um algoritmo de IA é treinado com informações sobre o uso de uma planta medicinal por uma etnia específica, a titularidade sobre o "modelo preditivo" resultante deve ser compartilhada com essa comunidade.

Sob o prisma da Bioética da Sustentabilidade, a justiça algorítmica exige que os benefícios derivados da economia de dados sejam repartidos de forma equitativa. Não se trata apenas de compensação financeira, mas de Justiça Cognitiva: as comunidades devem ter acesso às tecnologias de IA para que possam, elas mesmas, monitorar seus territórios e gerir seus recursos, rompendo a dependência tecnológica em relação a provedores externos.

A proteção do patrimônio informacional amazônico, portanto, demanda que o Estado brasileiro reconheça os povos indígenas não como meros guardiões da floresta física, mas como curadores estratégicos de um *big data* sociobiodiverso. A soberania nacional na Amazônia será ilusória se não for acompanhada pela garantia de que os povos da floresta são os donos dos bits que descrevem sua existência e seu território.

4. Estratégias para uma Governança Soberana: Três Pilares Proativos

Diante do cenário de risco sistêmico e de vulnerabilidade hipercomplexa analisado, a resposta jurídica não pode ser fragmentária ou reativa. Impõe-se, portanto, a construção de um marco regulatório proativo e integrado,

fundamentado em três eixos complementares de ação, que correspondem aos três vértices do problema: a soberania sobre os dados, a transparência no uso do poder algorítmico pelo Estado e a inclusão efetiva dos povos da floresta na governança tecnológica.

Para garantir a proteção do patrimônio digital amazônico contra a exploração assimétrica, o primeiro eixo estratégico redefine a natureza jurídica dos dados estratégicos do bioma. A proposta de estabelecer o Status Jurídico do Dado Amazônico como Bem Público de Interesse Estratégico (*res extra commercium*) visa erradicar o vácuo normativo que permite a biopirataria algorítmica. Essa qualificação encontra amparo na doutrina de Stefano Rodotà sobre os "bens comuns" e na função socioambiental da propriedade prevista na Constituição Federal de 1988.

A operacionalização deste pilar dar-se-ia através de um marco legal que declare a inalienabilidade dos dados genéticos (DSI), geoespaciais e de conhecimentos tradicionais. Propõe-se a criação de uma "Reserva Informacional de Soberania", exigindo que o processamento primário de grandes *datasets* amazônicos ocorra em infraestrutura nacional (nuvens soberanas), mitigando o risco de expropriação de propriedade intelectual por jurisdições estrangeiras. Subordina-se, assim, qualquer acesso externo a contratos rígidos de repartição de benefícios, onde o dado deixa de ser uma mercadoria (commodity) e passa a ser tratado como um elemento de segurança nacional.

A salvaguarda da Soberania de Dados Indígenas é parte indissociável dessa estrutura. Isso implica elevar o Consentimento Livre, Prévio e Informado (CLPI) ao plano algorítmico, garantindo que a autodeterminação dos povos alcance a camada digital de seus territórios.⁸

Uma vez criadas as barreiras contra a expropriação digital, o segundo eixo concentra-se em regular o poder algorítmico exercido pelo próprio Estado, assegurando transparência e equidade processual. A Consolidação da

⁸ Sobre a dimensão material da IA, o relatório LAPIN (2025) alerta que o Brasil possui mais de 160 data centers cuja expansão carece de uma governança voltada à justiça climática. A instalação dessas estruturas em territórios sensíveis, como exemplificado pelo protesto do povo Anacé contra projetos de centros de dados no Ceará, demonstra que a soberania sobre os *datasets* amazônicos é indissociável da soberania sobre a infraestrutura física que os processa. LAPIN - Laboratório de Políticas Públicas e Internet. **Inteligência Artificial e Data Centers**: a expansão corporativa em tensão com a justiça socioambiental. Brasília: LAPIN, ago. 2025. Disponível em: <https://lapin.org.br/>. Acesso em: 17 jan. 2026.

accountability algorítmica no Direito Administrativo emerge como resposta direta ao risco da “caixa-preta” decisória na fiscalização ambiental. Este pilar fundamenta-se no Princípio da Publicidade e no dever de Motivação dos Atos Administrativos (Art. 50 da Lei nº 9.784/99), que são esvaziados quando a administração pública se escuda em algoritmos inescrutáveis.

Implica-se, aqui, a criação de um direito fundamental à explicabilidade algorítmica, permitindo que o administrado compreenda a lógica dedutiva por trás de embargos ou multas automatizadas. Inova-se ao propor a inversão do ônus da prova tecnológica em favor do cidadão: diante de uma decisão baseada em IA, cabe ao Estado demonstrar a integridade do modelo e a ausência de bias (vieses) discriminatórios.

Adicionalmente, estabelece-se a obrigatoriedade de auditorias independentes e testes de impacto algorítmico para sistemas utilizados pelo poder público, garantindo que o “segredo industrial” de fornecedores privados não se sobreponha à responsabilidade objetiva do Estado prevista no Art. 37, § 6º da CF/88. Blindar o devido processo legal contra a opacidade tecnológica é, em última análise, proteger a própria democracia no território amazônico.

Finalmente, para transcender uma abordagem meramente defensiva e construir uma inovação ética e inclusiva, o terceiro eixo estabelece mecanismos de governança participativa e de compartilhamento justo. A implementação de uma governança multissetorial concretiza-se na criação de fóruns deliberativos paritários, como um Conselho Nacional de Dados Amazônicos, com participação vinculante de representantes dos povos tradicionais e da comunidade científica nacional.

Este modelo seria operacionalizado por meio de um *sandbox* regulatório ambiental amazônico, com gestão compartilhada entre a ANPD (Autoridade Nacional de Proteção de Dados) e o Ministério do Meio Ambiente/IBAMA. Trata-se de um ambiente de teste controlado e experimental, onde empresas e startups de biotecnologia poderiam desenvolver soluções de IA sob supervisão estrita do regulador e com contrapartidas sociais obrigatórias. Tais contrapartidas incluiriam o compartilhamento de *datasets* anonimizados para a base pública nacional, a auditabilidade do código-fonte e, crucialmente, a assinatura de modelos contratuais pré-aprovados para a repartição de benefícios sobre as Informações de Sequenciamento Digital (DSI). Dessa forma, a governança

assegura que as comunidades não sejam tratadas como meras fontes passivas de dados — em um novo ciclo de colonialismo científico —, mas como titulares de direitos e beneficiárias diretas da bioeconomia digital.⁹ A inovação, sob este prisma, só é legítima se for acompanhada pela justiça cognitiva e pela sustentabilidade real do bioma.

A transição para uma administração pública digital na Amazônia não altera apenas a forma da gestão, mas redefine o regime de responsabilidades do Estado. Ao delegar atos de fiscalização a sistemas de inteligência artificial, o poder público assume o que a doutrina moderna denomina "risco administrativo tecnológico". A questão central reside em saber como se caracteriza o nexo de causalidade quando o dano — seja ele um embargo indevido, uma multa errônea ou a usurpação de um dado tradicional — decorre de uma decisão automatizada opaca.

Fundamentada no Art. 37, § 6º da Constituição Federal, a responsabilidade civil do Estado brasileiro é, geralmente, objetiva, baseada na Teoria do Risco Administrativo. Todavia, o uso de IA introduz a "falha sistêmica invisível". Quando um algoritmo de *deep learning* apresenta um erro de classificação (falso positivo de desmatamento, por exemplo), a administração tende a alegar a inexistência de dolo ou culpa, ou ainda, a "culpa de terceiro" (a empresa desenvolvedora do software).

Contudo, sustenta-se aqui que o Estado possui a Responsabilidade pela Escolha Tecnológica (*culpa in eligendo*). Ao optar por um sistema de "caixa-preta" em detrimento de modelos explicáveis, o Estado assume o risco do erro intrínseco à ferramenta. Não se admite a excludente de responsabilidade por fato de terceiro, pois a tecnologia, uma vez integrada ao serviço público, torna-se extensão do braço estatal. Assim, o dano derivado de um viés algorítmico (*algorithmic bias*) no bioma amazônico deve gerar reparação integral, independentemente da demonstração de falha humana direta.

A expansão do conceito de responsabilidade deve alcançar também o Dano Ambiental Imaterial. A extração de Informações de Sequenciamento Digital (DSI) sem a devida repartição de benefícios configura uma nova modalidade de

⁹ O conceito de *sandbox* regulatório tem origem no Direito Bancário e nas *Fintechs*, mas sua transposição para o Direito Ambiental Amazônico é uma inovação necessária para permitir a experimentação tecnológica sem abdicar da proteção aos conhecimentos tradicionais (Princípio da Precaução).

dano ao patrimônio público e coletivo. Aqui, o nexo de causalidade é estabelecido pela "quebra da soberania informacional".

Propõe-se a aplicação da Teoria da Responsabilidade Civil Pró-Saúde do Bioma, onde o ônus de provar que a tecnologia não causou prejuízo à governança local recai sobre o Estado e a empresa parceira. Essa "objetivação extrema" é necessária dada a assimetria técnica: o produtor rural ou a comunidade indígena não possuem paridade de armas para auditar o código-fonte do Estado e provar onde a IA falhou. Portanto, a transparência e a auditabilidade não são apenas deveres administrativos, mas pressupostos para a própria validade do ato administrativo sancionador na Amazônia.

5. A Extraterritorialidade da Norma e os Desafios da Governança no Marco Legal da Inteligência Artificial

A problemática da Inteligência Artificial na Amazônia impõe um desafio de soberania que transcende as fronteiras físicas do território nacional. Uma vez que o patrimônio genético é convertido em Digital Sequence Information (DSI) e armazenado em servidores de computação em nuvem (*cloud computing*) localizados em jurisdições estrangeiras, o Direito brasileiro enfrenta o risco da ineficácia. Surge, então, a necessidade de discutir a extraterritorialidade das normas de proteção ambiental e digital.

No Direito Internacional clássico, a soberania é estritamente territorial. Todavia, no ciberespaço, vigora a desterritorialização. Para proteger a Amazônia, o ordenamento jurídico deve adotar o Princípio da Ubiquidade, tal como previsto no Código Penal, mas aplicado ao Direito Administrativo e Ambiental. Isso significa que, se o dado foi coletado no bioma amazônico, a lei brasileira deve "seguir o dado" independentemente de onde ocorra o seu processamento algorítmico.

Esta tese fundamenta-se na Teoria dos Efeitos, amplamente utilizada no Direito Antitruste e agora transposta para o Direito Digital. Se o uso de um algoritmo por uma corporação transnacional gera reflexos na integridade biológica ou na economia do bioma brasileiro, a jurisdição brasileira é competente para julgar e sancionar a conduta. O Marco Civil da Internet (Lei nº 12.965/14) já aponta nesse sentido em seu Artigo 11, ao estabelecer a aplicação

da legislação brasileira para coleta de dados em território nacional, mas é preciso elevar esse entendimento ao status de Soberania Ambiental Digital.

Um tensionamento normativo evidente surge entre a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) e o Protocolo de Nagoya. Enquanto a LGPD foca na autodeterminação do indivíduo, a proteção da Amazônia exige a proteção do coletivo. O conflito de leis no espaço torna-se evidente quando uma patente é registrada na Europa com base em IA treinada por dados brasileiros sem a repartição de benefícios prevista na Lei nº 13.123/2015.

Sustenta-se, portanto, a necessidade de um "Direito Internacional dos Bits Biológicos". O Brasil deve liderar a criação de tratados que reconheçam o digital mining sobre biodiversidade como uma atividade de jurisdição compartilhada, mas com primazia do Estado de origem. Sem essa força normativa extraterritorial, o Brasil corre o risco de possuir as leis ambientais mais avançadas do mundo no papel, enquanto a "inteligência" extraída de sua floresta é livremente apropriada nos tribunais e mercados internacionais. A soberania, na era algorítmica, não se defende apenas com patrulhamento físico, mas com a imposição da norma jurídica brasileira sobre o fluxo global de informações amazônicas.

O debate sobre a governança tecnológica no Brasil ganha novos contornos com a tramitação do Projeto de Lei nº 2338/2023, que visa estabelecer o marco regulatório da Inteligência Artificial no país. Embora o projeto seja louvável ao adotar uma abordagem baseada em riscos e ao prever direitos para os afetados por sistemas de IA, ele padece de uma lacuna geográfica e ecossistêmica alarmante: a ausência de uma proteção específica para biomas de interesse estratégico, como a Amazônia.

O PL 2338/2023 estabelece a obrigatoriedade da avaliação de impacto algorítmico para sistemas de "alto risco". Contudo, os critérios de risco elencados no texto focam predominantemente em direitos individuais (saúde, liberdade, finanças). Há uma omissão quanto ao risco ambiental sistêmico. No contexto amazônico, um sistema de IA utilizado para a gestão de recursos naturais ou para o monitoramento de áreas de proteção não pode ser avaliado sob os mesmos critérios de um algoritmo de crédito bancário.

A ausência de um "recorte socioambiental" no projeto de lei permite que empresas desenvolvedoras ignorem as particularidades dos dados da

biodiversidade e dos saberes tradicionais. Propõe-se, como contribuição *de lege ferenda*, que o marco legal da IA brasileira incorpore a categoria de "Sistemas de IA de Impacto Ecológico", exigindo que qualquer tecnologia aplicada à Amazônia passe por um escrutínio rigoroso de soberania de dados e conformidade com a repartição de benefícios, sob pena de nulidade da operação.

Outro ponto de crítica reside na governança da autoridade competente prevista no projeto. Se a IA passará a ditar o ritmo da fiscalização e da exploração de ativos biológicos, é importante que a autoridade reguladora possua em seus quadros especialistas em direito ambiental e bioética.

A soberania digital na Amazônia não pode ser gerida por um órgão puramente técnico-burocrático sediado em Brasília, alheio às dinâmicas do território. A integração com órgãos como o IBAMA e o Ministério dos Povos Indígenas é fundamental para que a "*accountability*" prevista na lei não seja uma mera formalidade documental, mas uma proteção real contra o colonialismo de dados. Sem essa integração, o PL 2338/2023 corre o risco de ser uma lei de vanguarda para o asfalto, mas uma carta de alforria para a exploração desregulada da floresta.

Em síntese, a convergência entre a incerteza jurisdicional transnacional e as lacunas do marco regulatório doméstico revela um cenário de desproteção sistêmica que exige uma resposta jurídica imediata.

Não basta que o Brasil edite normas avançadas sobre Inteligência Artificial se estas ignorarem a especificidade bioecológica da Amazônia, ou se forem incapazes de alcançar os dados que já cruzaram as fronteiras físicas sob o manto da desterritorialização digital. A efetiva soberania tecnológica sobre o bioma depende, portanto, da superação desse hiato entre o '*bit*' e a norma: requer tanto a afirmação de uma jurisdição extraterritorial baseada no impacto ambiental, quanto o aperfeiçoamento do PL 2338/2023 para reconhecer que algoritmos que processam a vida amazônica não podem ser tratados como meras ferramentas de produtividade, mas como ativos de segurança nacional e instrumentos de poder geopolítico.

Nesse sentido, o aperfeiçoamento do PL 2338/2023 não é apenas uma necessidade doméstica, mas uma oportunidade para que o Brasil projete, em fóruns como o G20 e a COP, um padrão internacional de governança tecnológica

voltado à proteção de ecossistemas críticos, consolidando o que se pode denominar como Diplomacia Digital Biocêntrica.¹⁰

6. Considerações finais

A incursão da Inteligência Artificial no Bioma Amazônico representa o mais novo e complexo desafio à soberania brasileira e à integridade socioambiental do século XXI. Como demonstrado ao longo deste estudo, o vácuo normativo atual não é um espaço de neutralidade técnica; ao contrário, ele atua como um facilitador estrutural para a biopirataria algorítmica. Este fenômeno permite que a riqueza biológica, outrora extraída em contêineres e amostras físicas por meio de incursões territoriais, seja agora transmutada em Informações de Sequenciamento Digital (DSI) e processada em infraestruturas transnacionais, sob o manto da opacidade corporativa e sem qualquer controle local. O Brasil enfrenta, portanto, o dilema crítico de converter a tecnologia em uma ferramenta de desenvolvimento autônomo e proteção ambiental ou permitir que ela consolide um novo e sofisticado ciclo de extrativismo colonial digital.

Este estudo demonstrou que a proteção da Amazônia, na era da hiperconectividade, exige uma hermenêutica jurídica disruptiva. É urgente compreender que, no contexto da bioeconomia digital, o bit é tão estratégico quanto o átomo. O enfrentamento à vulnerabilidade hipercomplexa do bioma exige uma governança jurídica tridimensional e proativa, que não se limite a reagir aos danos, mas que dite os termos da inovação.

Primeiro, impõe-se a reclassificação do dado amazônico como Bem Público de Interesse Estratégico (*res extra commercium*). Esta mudança de paradigma retira o patrimônio genético e as informações geoespaciais da lógica puramente mercantilista das *Big Techs*, elevando o dado à categoria de patrimônio da União e da coletividade, sujeito a regimes de fruição condicionados ao interesse nacional. Segundo, é imperativa a inoculação, no Direito

¹⁰ A inclusão de salvaguardas ecossistêmicas no Marco Legal da IA brasileira (PL 2338/2023) alinha-se à liderança diplomática que o Brasil tem buscado exercer em fóruns internacionais, como a Presidência do G20 e a COP30. Ao estabelecer critérios de soberania de dados para biomas estratégicos, o país pode exportar um modelo de regulação que servirá de referência para outras nações do Sul Global que detêm alta biodiversidade, contrapondo-se à hegemonia regulatória focada exclusivamente em riscos individuais do Norte Global. Sobre a tensão entre expansão corporativa tecnológica e justiça socioambiental. LAPIN - Laboratório de Políticas Públicas e Internet. **Inteligência Artificial e Data Centers**: a expansão corporativa em tensão com a justiça socioambiental. Brasília: LAPIN, ago. 2025. Disponível em: <https://lapin.org.br/>. Acesso em: 17 jan. 2026

Administrativo contemporâneo, dos anticorpos da *accountability* algorítmica. Esta medida visa garantir que o Estado brasileiro não se torne refém de decisões automatizadas inescrutáveis na fiscalização ambiental, assegurando que o ônus da prova tecnológica recaia sobre o detentor do sistema e que o direito à explicação prevaleça sobre o segredo industrial. Terceiro, a consagração da Soberania de Dados Indígenas deve transcender o plano retórico para institucionalizar a participação efetiva dos povos da floresta em todo o ciclo de vida do dado. Desde o *design* dos algoritmos até a repartição justa de benefícios, a governança deve assegurar a justiça cognitiva, impedindo que os saberes ancestrais sejam reduzidos a meras variáveis de treinamento para inteligências artificiais alheias.

Adicionalmente, o estudo demonstrou que a soberania brasileira não pode ser plenamente exercida se o país se mantiver como um espectador passivo da tramitação de marcos legais genéricos. A integração entre a proteção ambiental e a regulação tecnológica deve ser o cerne da nova política externa e interna do país. A aplicação do Princípio da Ubiquidade e a afirmação de uma jurisdição extraterritorial sobre os dados da biodiversidade são os novos instrumentos de defesa do território contra a desterritorialização promovida pelo capital tecnológico.

Em última análise, a soberania tecnológica na Amazônia é o novo nome da segurança nacional. Ao implementar os pilares propostos — Status Estratégico dos Dados, Responsabilidade Algorítmica e Governança Participativa —, o ordenamento jurídico brasileiro poderá forjar um modelo pioneiro de governança de IA para ecossistemas estratégicos mundiais. O Direito Amazônico do futuro deve, portanto, ser um Direito Algorítmico Soberano: um marco que não apenas impeça a expropriação, mas que utilize a tecnologia como ferramenta de emancipação. Dessa forma, a Amazônia poderá navegar a era algorítmica não como um território a ser minerado por sensores e redes neurais, mas como um sujeito político e ecológico soberano, resiliente e capaz de ditar, de forma ética e autônoma, os termos de seu próprio futuro digital.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, Alberto. **O Bem Viver**: Uma Oportunidade para Imaginar Outros Mundos. 1. ed. São Paulo: Elefante, 2016.

ALMEIDA, Alfredo Wagner Berno de. **Terra de Quilombo, Campos de Romaria, Fronteiras em Movimento**. 1. ed. Manaus: UEA Edições, 2018.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Relatório do Sandbox Regulatório**. Brasília: BCB, 2021.

BENJAMIN, Antonio Herman. Constitucionalização do Ambiente e Reforma do Código Florestal. **Revista de Direito Ambiental**, São Paulo, n. 70, abr./jun. 2013.

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

BRASIL. **Decreto nº 10.644, de 4 de março de 2021**. Promulga o Protocolo de Nagoya sobre Acesso a Recursos Genéticos e Repartição Justa e Equitativa de Benefícios Derivados de sua Utilização à Convenção sobre Diversidade Biológica. Brasília, 2021.

BRASIL. **Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015**. Regulamenta o inciso II do § 1º e o § 4º do art. 225 da Constituição Federal (Lei de Acesso ao Patrimônio Genético). Brasília, 2015.

BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília, 2018.

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei nº 2338, de 2023**. Dispõe sobre o uso da Inteligência Artificial no Brasil. Brasília, 2023.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. **Ação Direta de Inconstitucionalidade nº 6387/DF**. Relatora: Ministra Rosa Weber. Julgado em: 07 maio 2020.

EUROPEAN UNION. **Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 (Artificial Intelligence Act)**. Official Journal of the European Union, 2024.

FINCK, Michèle. **Blockchain Regulation and Governance in Europe**. Cambridge: Cambridge University Press, 2019.

HAWKEN, Paul (org.). **Drawdown: O Plano Mais Abrangente Já Proposto para Reverter o Aquecimento Global**. 1. ed. São Paulo: Cultrix, 2017.

KUKUTAI, Tahu; TAYLOR, John. **Indigenous Data Sovereignty: Toward an agenda**. Canberra: ANU Press, 2016.

LAPIN - Laboratório de Políticas Públicas e Internet. **Inteligência Artificial e Data Centers: a expansão corporativa em tensão com a justiça socioambiental**. Brasília: LAPIN, ago. 2025. Disponível em: <https://lapin.org.br/>. Acesso em: 17 jan. 2026.

LEITE, José Rubens Morato; AYALA, Patrick de Araújo. **Direito Ambiental na Sociedade de Risco**. 3. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2018.

MILARÉ, Édís; MACHADO, Paulo Affonso Leme (org.). **Inteligência Artificial e Direito Ambiental**. 1. ed. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2022.

MONTREAL DECLARATION. **Montreal Declaration for a Responsible Development of Artificial Intelligence**. Université de Montréal, 2018.

O'NEIL, Cathy. **Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy**. New York: Crown Publishing Group, 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB). **Decisão 15/4: Marco Global de Biodiversidade de Kunming-Montreal**. Montreal, dez. 2022. Disponível em: <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-en.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2026.

PASQUALE, Frank. **The Black Box Society**: The Secret Algorithms That Control Money and Information. Cambridge: Harvard University Press, 2015.

RODOTÀ, Stefano. **A vida na sociedade da vigilância**: a privacidade hoje. Organização de Maria Celina Bodin de Moraes. Rio de Janeiro: Renovar, 2008.

SANTOS, Boaventura de Sousa. **O Fim do Império Cognitivo**: A Afirmção das Epistemologias do Sul. 1. ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2019.

SHIVA, Vandana. **Biopirataria**: A Pilhagem da Natureza e do Conhecimento. 1. ed. São Paulo: Vozes, 2001.

SILVA, R. F. B. et al. Slow-down of deforestation following a Brazilian forest policy was less effective on private lands than in all conservation areas. **Communications Earth & Environment**, v. 4, n. 111, 2023.

SILVA, Roberta Scalzilli. **Ultravulnerabilidade na era da internet dos corpos**: instrumentos para proteção dos direitos fundamentais diante da manipulação e controle algorítmico. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2023.

UNESCO. **Recomendação sobre a Ética da Inteligência Artificial**. Paris: UNESCO, 2021.

ZUBOFF, Shoshana. **A Era do Capitalismo de Vigilância**: A Luta por um Futuro Humano na Nova Fronteira do Poder. 1. ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2020.