

GEO BRASIL 2025

**Estado e Perspectivas
do Meio Ambiente**

SUMÁRIO EXECUTIVO



República Federativa do Brasil

Presidência da República
Presidente

Luiz Inácio Lula da Silva

Vice-Presidente

Geraldo Alckmin

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

Ministra

Marina Silva

Secretaria-Executiva

Secretário-Executivo

João Paulo Ribeiro Capobianco

Secretaria-Executiva Adjunta

Anna Flávia de Senna Franco

Departamento de Planejamento e Gestão Estratégica

Diretor

Ariel Cecílio Garces Pares

Coordenação-Geral de Organização e Informações Sobre Meio Ambiente

Coordenador-Geral

Elias Begnini

Coordenação de Informações sobre Meio Ambiente

Coordenadora

Bianca Oliveira Medeiros

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

GEO BRASIL

2025

Estado e Perspectivas do Meio Ambiente

SUMÁRIO EXECUTIVO

Rio de Janeiro e Brasília
MMA 2025

Coordenação Geral

Ariel Cecílio Garces Pares (MMA); Elias Begnini (MMA); Bianca Oliveira Medeiros (MMA); Francesco Gaetani (PNUMA); Javier Neme (PNUMA); Beatriz Martins Carneiro (PNUMA)

Coordenação Técnica

Ariel Cecílio Garces Pares (MMA); Elias Begnini (MMA); Bianca Oliveira Medeiros (MMA); Adriana Maria Magalhães de Moura (IPEA); Júlio Cesar Roma (IPEA); Francesco Gaetani (PNUMA); Javier Neme (PNUMA); Beatriz Martins Carneiro (PNUMA); Flávia Donadelli (FGV) e José A. Puppim de Oliveira (FGV)

Coordenação Executiva

Flávia Donadelli (FGV) e José A. Puppim de Oliveira (FGV)

Financiador

PNUMA

Conselho Editorial-Científico

Ariel Cecílio Garces Pares (MMA); Elias Begnini (MMA); Bianca Oliveira Medeiros (MMA); Adriana Maria Magalhães de Moura (IPEA); Júlio Cesar Roma (IPEA); Francesco Gaetani (PNUMA); Javier Neme (PNUMA); Beatriz Martins Carneiro (PNUMA); Flávia Donadelli (FGV) e José A. Puppim de Oliveira (FGV)

Organizadores

Flávia Donadelli e José A. Puppim de Oliveira

Autores

Adriana Maria Magalhães de Moura; André Felipe Simões; Beatriz Fátima Alves Oliveira; Carlos A. Nobre; Claudia de Oliveira Faria Salema; Darwin Renne Florencio; Dênis Antônio da Cunha; Diego Oliveira Brandão; Eduardo Assad; Eduardo Baltar de Souza Leão; Elizângela Aparecida dos Santos; Flávia Donadelli; Flávia Mendes de Almeida Collaço; João Marcos Mott Pavanello; José A. Puppim de Oliveira; José Célio Silveira Andrade; José Gustavo Feres; Júlia Alves Menezes; Julia Arieira; Júlia Benfica Senra; Júlio César Roma; Luiza Muccillo; Marcel Bursztyn; Marcelo José Braga; Mariana Gutierrez Arteiro da Paz; Mônica Cavalcanti Sá de Abreu; Raphael de Jesus Campos de Andrade; Sandra de Souza Hacon.

Revisores

Alexandre Aguiar; Diogo Vallim; Gesner Oliveira; John James Loomis; José Mauro Martini; Laura Valente de Macedo; Lira Luz Benites; Luís Felipe Nascimento; Marco Neves; Michel Xocaria Paes; Rodrigo Bellezoni; Sérgio Goldbaum; Tereza Bicalho; Thaís Tortalha.

Comentaristas nos Debates Públicos

Anna Flávia de Senna Franco (SECEX/MMA); Ariel Cecílio Garces Pares (SECEX/MMA); Salomar Mafaldo de Amorim Júnior (SQA/MMA); Elias Begnini (SECEX/MMA); Roberta Peixoto (IPEA); Kamilla Bachstein (SQA/MMA); Bianca Oliveira Medeiros (SECEX/MMA); Simone Vianna (IBAMA); Geovana Dotta (SQA/MMA); Luiz Mandalho (SQA/MMA); José Mauro Martini (SNPCT/MMA); Inamara Melo (SMC/MMA); Ana Kasseboehmer (SCM/MMA); Thaianne Resende Henriques Fábio (SQA/MMA); Renata Lara Santana (IBAMA); Eduardo Rocha (SQA/MMA); Javier Neme (PNUMA); Thaynara Espíndola Pereira (SMC/MMA); Pablo José Francisco Pena Rodrigues (JBRJ); Thiago Bortoleto Rodrigues (SFB); Claudia Salema; Júlia Benfica Senra (IPEA); Adriana Panhol Bayma (SBIO/MMA); Alexandre Resende Tofeti (SQA/MMA); Marco José Melo Neves (ANA); José Célio Silveira Andrade (UFBA); Marcelo José Braga (UFV); Sandra Hacon (Fiocruz); Carlos Nobre (USP); Júlia Alves Menezes (Inpe); Mônica Cavalcanti Sá de Abreu (UFC); André Simões (USP); Júlio Roma (Ipea); José Gustavo Feres (FGV EPGE)

Colaboradores

Adriana Ramos; Allan Razera; Amanda Roza; Ana Carolina Crisostomo; Andreea Struchel; Andreia Fanzeres; Antonio Eduardo Leão Lanna; Bernardo Strassburg; Breno Melo; Caio Magri; Cristiane Gomes Barreto; Cristiane Lima Corteze; Cristiane Moutinho Coelho; Elineia Gomes de Jesus; Elisângela Medeiros de Almeida; Glauce Maria Lieggio Botelho; Guilherme Franco Netto; Heloisa Borges Bastos Esteves; Hugo C. M. Costa; Ilvan Junior; Jaine Ariely Cubas; Jarlene Gomes; João Vitor Campos-Silva; José Carlos da Silva Gomes; Juliana Wotzasek Rulli Villardi; Katia Torres Ribeiro; Laura Valente de Macedo; Letícia Larcher; Marcelo Aversa; Márcia da Silva Pereira; Marco Neves; Maria Júlia Ferreira; Marina Grossi; Michel Xocaria Paes; Patricia Helena Gambogi Boson; Patrícia Ravalle; Raquel Rizzi; Raul Zoche; Roberto S. Waack; Rodrigo Corradi; Rodrigo Perpétuo; Theresa Williamson; Valber da Silva Frutuoso; Valeriana Augusta Broetto; Winnie Samanú de Lima Lopes

Projeto gráfico, diagramação e gestão editorial

Adrielle Eunice da Silva Queiroz; Ana Paula Silva dos Santos

Fotos capa

Banco de imagens livre uso e MMA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

B823g Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
GEO Brasil 2025 [recurso eletrônico] : estado e perspectivas do meio ambiente – Sumário executivo. – Brasília, DF : MMA, 2025.
23 p. : il. color.

Modo de acesso: World Wide Web
ISBN 978-85-7738-516-4 (on-line)

1. Sustentabilidade ambiental. 2. Mudanças climáticas. 3. Crise ambiental. 4. Análise ambiental. 5. Relatório. I. Título.

CDU-504

LISTA DE FIGURAS

Figura S1 - Modelo DPSIR aplicado às mudanças climáticas no Brasil -----	7
Figura S2 - Framework da análise de qualidade ambiental, segundo a DPSIR -----	11
Figura S3 - Relação entre agricultura e meio ambiente: Forças Motrizes, Pressões, Estado, Impacto e Respostas -----	15
Figura S4 - O Impacto das Forças Motrizes de Qualidade Ambiental nas Cidades -----	17
Figura S5 - Esquematização do exercício de aplicação da metodologia DPSIR ao setor de energia do Brasil -----	19
Figura S6 – Modelo DPSIR aplicado à indústria brasileira -----	21
Figura S7 - Inter-relações entre meio ambiente e saúde: modelo DPSEIR aplicado ao Brasil -----	23

LISTA DE TABELAS

Tabela S1: Síntese das pressões e impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos em cada bioma e no SCM.----- 9

Tabela S2 - Avanços e desafios remanescentes do PNRH 2006 - 2020 ----- 13

SUMÁRIO

Prefácio MMA	1
Prefácio PNUMA	2
Apresentação do GEO BRASIL 2025	3
1. Avanços e Desafios das Questões Ambientais no Brasil	
José A. Puppim de Oliveira, Flávia Donadelli, Adriana Maria Magalhães de Moura e Marcel Bursztyn	4
2. Mudanças Climáticas	
A Crise Climática no Brasil: Tendências, Desafios e Caminhos Emergentes	
Carlos A. Nobre, Julia Arieira, Luiza Muccillo, Diego Oliveira Brandão e Eduardo Assad	6
3. Biodiversidade	
Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos	
Júlio César Roma, Claudia de Oliveira Faria Salema e Júlia Benfica Senra	8
4. Qualidade Ambiental	
Gestão da Qualidade Ambiental	
Júlia Alves Menezes e Mariana Gutierrez Arteiro da Paz	10
5. Recursos hídricos	
O Estado dos Recursos Hídricos	
José Gustavo Féres	12
6. Agricultura	
Agricultura e Meio Ambiente no Brasil: Impactos, Desafios e Oportunidades	
Dênis Antônio da Cunha, Elizângela Aparecida dos Santos e Marcelo José Braga	14
7. Cidades	
Cidades Mais Sustentáveis, Justas e Resilientes: Panorama, Desafios e Perspectivas	
José Célio Silveira Andrade e Eduardo Baltar de Souza Leão	16
8. Energia	
Energia e Meio Ambiente	
André Felipe Simões, Flávia Mendes de Almeida Collaço e João Marcos Mott Pavanelli	18
9. Indústria	
Qualidade Ambiental na Indústria Brasileira: Desafios e Oportunidades para uma Transição Justa e Circular	
Raphael de Jesus Campos de Andrade e Mônica Cavalcanti Sá de Abreu	20
10. Saúde	
Saúde	
Sandra de Souza Hacon, Beatriz Fátima Alves Oliveira e Darwin Renne Florencio	22
11. Oportunidades e Desafios da Transformação para a Sustentabilidade no Brasil	
José A. Puppim de Oliveira e Flávia Donadelli	24

PREFÁCIO DO MMA

É com grande satisfação que apresento o GEO BRASIL 2025, relatório nacional sobre o estado do meio ambiente no território brasileiro, resultado de uma parceria do MMA com o PNUMA, a FGV e o IPEA. O Relatório tem o mérito de oferecer ao Brasil um diagnóstico baseado na interface entre a ciência e as políticas públicas em nosso país. Trata-se de um exercício indispensável, num momento em que os desafios ambientais se mostram cada vez mais complexos, urgentes e interconectados, sobretudo face à mudança do clima.

O lançamento do GEO BRASIL 2025 reflete esse momento crítico da discussão ambiental. Mostra os conflitos e as oportunidades de um mundo que caminha para enfrentar os desafios da transformação ecológica, e que precisa garantir um futuro de baixo carbono, resiliente e eficiente, baseado na natureza e no uso prático sustentável dos recursos naturais e dos serviços ecossistêmicos.

Sua leitura pretende oferecer uma análise abrangente sobre as causas, as consequências e o desempenho das políticas ambientais no Brasil, com base em evidências, e de forma encadeada e lógica. O relatório não apenas expõe o diagnóstico do cenário ambiental atual, como também apresenta tendências futuras e ponderações sobre a eficácia das respostas políticas. É um trabalho que vai além do registro de problemas, iluminando possíveis caminhos para a construção de um futuro mais justo e sustentável.

O GEO BRASIL 2025 é um relevante subsídio para o governo, a sociedade civil e o setor privado na tomada de decisões. Ele contribui para que a agenda ambiental amplie suas reflexões para além do debate centrado em fatores de restrição para inserir possibilidades de vetores de desenvolvimento, baseadas nas oportunidades oferecidas pela natureza – associadas ao desenvolvimento tecnológico – e nos termos do programa Transformação Ecológica do Governo Federal. Sua leitura inspira o engajamento baseado numa ética de convivência harmônica entre a sociedade e a natureza, defendendo a justiça ambiental, em todas as suas dimensões, como corolário de um compromisso com o futuro.

Dada sua amplitude, o relatório faz remissões à cena internacional do debate ambiental, e traz à luz os grandes temas que serão destaque na COP 30, em Belém. A pergunta que dá significado ao GEO BRASIL 2025 é: em que medida o Brasil estará preparado para enfrentar os desafios colocados? Essas reflexões nos convidam ao engajamento e ao comprometimento, além de nos motivar a continuar aperfeiçoando as atuais políticas ambientais, num diálogo aberto e franco com todos os setores da sociedade. Assim, uma outra contribuição importante da Rio-92 foi o lançamento de uma agenda positiva que parecia alcançável. Havia um novo conceito de desenvolvimento (desenvolvimento sustentável) com relação ao qual todos concordavam. Muitos documentos importantes e leis internacionais foram apoiados por quase todos os países, estabelecendo o modelo de um conjunto de normas internacionais que poderiam resolver muitos dos problemas ambientais globais e locais. Uma outra mudança pós-Rio-92 que consolidou-se na Agenda 2030 foi o amplo envolvimento da sociedade civil, o que sinalizou a importância de uma nova estrutura de governança, mais participativa e descentralizada, indicando o amplo apoio que os governos receberiam na busca do desenvolvimento sustentável. Por outro lado, os movimentos ambientalistas passaram a se preocupar mais com os aspectos sociais e econômicos, e as organizações não ambientais ganharam mais consciência sobre as questões ambientais.



Marina Silva, Ministra do Meio Ambiente.

PREFÁCIO DO PNUMA

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) tem o prazer de acompanhar a publicação do GEO Brasil 2025, desenvolvido sob a liderança do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, que reflete o compromisso contínuo do Brasil com o conhecimento científico, a gestão ambiental informada e a ação multilateral diante dos desafios globais.

Esta nova edição do GEO Brasil, após a primeira publicação lançada em 2002, evidencia o compromisso sustentado do país com a avaliação contínua do estado do meio ambiente e com a consolidação de uma base científica sólida para suas políticas públicas. Desde essa primeira edição, o Brasil se destacou como um dos países pioneiros na aplicação da metodologia GEO em nível nacional, inspirando outras experiências na América Latina e no Caribe e contribuindo para o fortalecimento da governança ambiental em toda a região.

O GEO Brasil 2025 reafirma essa trajetória, atualizando e ampliando o diálogo entre a ciência e as políticas públicas em um contexto global marcado por desafios interconectados — a crise climática, a perda de biodiversidade, a degradação das terras e a poluição. O relatório oferece uma visão abrangente, baseada em evidências, que permite compreender a complexidade das pressões ambientais e, sobretudo, a eficácia das respostas institucionais. É, portanto, um instrumento de orientação política, transparência e monitoramento — pilares essenciais para o fortalecimento da governança ambiental.

Desde a publicação do primeiro GEO, a família de relatórios evoluiu para incorporar abordagens prospectivas, avaliando não apenas o estado do meio ambiente, mas também as tendências e as opções de políticas capazes de promover uma transição justa e sustentável. O GEO Brasil 2025 reflete essa evolução, integrando-se plenamente à tradição das avaliações ambientais globais do PNUMA, que buscam apoiar países e regiões na implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, de suas prioridades nacionais e de seus compromissos multilaterais.

O lançamento deste relatório no contexto da COP30 em Belém reafirma o firme

compromisso e a liderança do Brasil em relação à ação climática e ambiental. O PNUMA reconhece o papel decisivo do país na promoção de uma economia de baixo carbono, inclusiva e baseada na natureza, em consonância com os compromissos globais e regionais assumidos no âmbito da Agenda 2030, do Acordo de Paris e dos principais acordos multilaterais ambientais.

O PNUMA parabeniza o Governo do Brasil todas as instituições envolvidas por esta conquista, que reafirma o valor da cooperação multilateral e do conhecimento compartilhado como base para transformar compromissos ambientais em ações concretas.



Juan Bello, Diretor Regional PNUMA

SUMÁRIO EXECUTIVO

APRESENTAÇÃO DO GEO BRASIL 2025

Às vésperas da 30^a Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) em Belém, o Brasil torna-se palco central da maior negociação climática global, constituindo-se como um ator-chave no avanço das perspectivas de um futuro mais sustentável, resiliente e justo. O GEO BRASIL 2025 é o segundo da história, tendo sido precedido pelo GEO BRASIL 2002. Este segundo GEO Brasileiro traz um diálogo crucial com os achados centrais do primeiro GEO, avalia a evolução dos temas ao longo desses últimos 23 anos, e propõe avanços e perspectivas transformadoras para o futuro. Dividido em análise por temas e setoriais, as mensagens convergem para a narrativa de que apesar de termos avançado muito, ainda estamos distantes de um modelo verdadeiramente sustentável e adequado à urgência da crise ambiental e climática com a qual nos deparamos hoje. Liderado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e tendo a coordenação executiva da Fundação Getúlio Vargas (FGV), o GEO Brasil 2025 foi um esforço concertado que contou com contribuições valiosas de diversas mãos, apoio constante e direto da equipe do Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA) e do Programa das Nações Unidas para O Meio Ambiente (PNUMA) dos seus escritórios no Brasil e América Latina, e comentários valiosos de diversos atores do governo, da sociedade civil e do setor privado. Tais atores não apenas figuram como parte integrante do relatório, mas formaram a base de um diálogo aberto, inclusivo e transformador que deu origem a este relatório, e se espera que continue nos próximos anos com o objetivo de construir caminhos para uma melhor sustentabilidade ambiental.

O GEO Brasil2025 proporciona, portanto, acesso ao melhor e mais atual conhecimento científico existente sobre questões ambientais do Brasil, com capítulos feitos por alguns dos melhores pesquisadores em cada área. Este Sumário Executivo indica alguns dos principais pontos do GEO BRASIL 2025. A versão completa se encontra em www.geobrasil2025.org.

1. AVANÇOS E DESAFIOS DAS QUESTÕES AMBIENTAIS NO BRASIL

O conceito de desenvolvimento sustentável, consolidado internacionalmente após a Rio-92, transformou a percepção de que crescimento econômico e proteção ambiental são incompatíveis. A conferência reuniu o maior número de chefes de Estado até então e resultou em documentos como a Agenda 21 e convenções ambientais que o Brasil ratificou, marcando sua liderança global na pauta ambiental.

Apesar dos avanços institucionais e legais, como a criação da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) em 1981 e do Ministério do Meio Ambiente em 1992, o Brasil ainda enfrenta dificuldades estruturais para implementar efetivamente políticas ambientais. Entre 2001 e 2022, os gastos ambientais representaram, em média, apenas 0,26% do orçamento federal, evidenciando a baixa prioridade orçamentária para o setor.

A perda de biodiversidade, o desmatamento, a degradação dos recursos hídricos e o crescimento desordenado das cidades são desafios persistentes. A população brasileira passou de 52 milhões em 1950 para 211 milhões em 2023, com apenas 13% vivendo em áreas rurais. Esse aumento populacional elevou a demanda por alimentos, energia e matérias-primas, contribuindo para a conversão de florestas em áreas agrícolas e para o aumento das emissões de gases de efeito estufa.

O crescimento populacional e urbano intensificou a pressão sobre os recursos naturais. Em 2022, 8,1% da população brasileira vivia em favelas, e 62,5% não tinham acesso à rede de esgoto. Além disso, 21,5% dos municípios com mais de 50 mil habitantes ainda utilizavam lixões como destino de resíduos sólidos, contrariando a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

A expansão do agronegócio e da mineração, impulsionada pela globalização, tornou o Brasil líder na exportação de commodities como soja, carne bovina e celulose. No entanto, essa dependência econômica gerou pressões políticas para flexibilizar a legislação ambiental, como evidenciado pela recente aprovação da Lei Geral do Licenciamento Ambiental.

Eventos climáticos extremos têm se tornado mais frequentes e intensos, como as enchentes no Rio Grande do Sul em 2024 e os deslizamentos na região serrana do Rio de Janeiro em 2011, revelando a vulnerabilidade do país às mudanças climáticas e a necessidade urgente de adaptação e mitigação.

A estrutura institucional do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), embora estabelecida há mais de quatro décadas, ainda apresenta fragilidades. Em 2020, apenas 17 dos 27 estados tinham secretarias exclusivas de meio ambiente, e cerca de 30% dos municípios não dispunham de infraestrutura básica para gestão ambiental.

A governança ambiental enfrenta desafios de coordenação intersetorial e cooperação federativa. Instrumentos como as Comissões Tripartites e os consórcios públicos existem, mas sua aplicação é irregular e limitada. A descentralização da gestão ambiental esbarra na falta de recursos e capacitação técnica, especialmente nos municípios das regiões Norte e Nordeste.

O Brasil dispõe de um arsenal diversificado de instrumentos de política ambiental, incluindo licenciamento, zoneamento ecológico-econômico, avaliação de impacto ambiental, incentivos econômicos e sistemas de informação. No entanto, muitos desses instrumentos ainda carecem de regulamentação, padronização e efetiva implementação.

A metodologia DPSIR (Forças Motrizes, Pressões, Estado, Impactos e Respostas) é adotada pelos autores do GEO Brasil 2025 em todos os seus capítulos. Ela oferece uma estrutura analítica robusta para compreender as interações entre sociedade e meio ambiente e orientar políticas públicas mais eficazes.

O relatório destaca que, para alcançar o desenvolvimento sustentável, é necessário integrar as políticas ambientais às políticas setoriais de desenvolvimento, como agricultura, energia e indústria. Iniciativas recentes como o Plano Plurianual 2024–2027 e o Plano de Transformação Ecológica indicam avanços nessa direção, mas ainda exigem maior articulação e comprometimento político.

2. AVALIAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL

Nos últimos 25 anos, o aquecimento global se intensificou de forma sem precedentes, impulsionado por decisões que mantêm crescente emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) pela queima de combustíveis fósseis, a destruição de ecossistemas e agropecuária. Como sexto maior emissor de GEE e guardião das maiores florestas tropicais, o Brasil tem papel central na mitigação e adaptação da emergência climática.

Entre o segundo semestre de 2023 e abril de 2025, a temperatura média global ultrapassou o limite crítico de 1,5 °C acima do período pré-industrial (1850– 1900). Em 2022, as emissões globais ultrapassaram 50 GtCO₂, sendo 76% provenientes do setor de energia, especialmente em países industrializados como China e Estados Unidos, enquanto os usos da terra (desmatamento e agropecuária) responderam por 21% das emissões. Em 2022, 70% das emissões do Brasil tiveram origem no desmatamento e agropecuária, sendo 39,5% desmatamento e 30,5% agropecuária.

As mudanças climáticas globais, incluindo no Brasil, se intensificaram nas últimas décadas, com aumento consistente das temperaturas, ampliação de condições semi-áridas, e maior frequência de eventos extremos, como secas severas, chuvas intensas e ondas de calor.

As mudanças climáticas no Brasil têm causado aquecimento generalizado em todos os biomas, com destaque para aumentos históricos no Pantanal (~3 °C) e no Cerrado (até 4 °C em máximas e mínimas sazonais), enquanto a Mata Atlântica, o Pampa, a Amazônia e a Caatinga também registram elevações

significativas de temperatura ao longo das últimas décadas. O aquecimento acelerado está associado à expansão da região semiárida, maior frequência de eventos extremos e redução da precipitação em grande parte do território brasileiro.

De acordo com o relatório de 2025 da Agenda 2030, o desempenho brasileiro permanece crítico no cumprimento da ODS 15, que visa proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres comprometendo diretamente as ações de enfrentamento das mudanças climáticas nacionais e globais (ODS 13).

As elevadas taxas de desmatamento no Brasil entre 2018 e 2021 (23.740 km²/ano) elevaram as emissões líquidas nacionais de cerca de 1,5 para 2,1 Gt CO₂e — patamar não observado desde 2008. Entre 1999 e 2018, Amazônia e Cerrado concentraram 80% dos mais de 16 milhões de focos de calor detectados no país, liberando 8,1 Gt CO₂e. A substituição da vegetação nativa por lavouras ou pastagens desencadeia mudanças biofísicas, como observado no Cerrado, elevando as temperaturas médias em cerca de 0,9 °C e 0,6 °C, respectivamente, enquanto florestas secas degradadas da Caatinga podem apresentar temperaturas até 3 °C mais altas que áreas conservadas. Estima-se que 75% da redução das chuvas na estação seca (~21 mm) nos últimos 35 anos na Amazônia tenha sido causada pelo desmatamento.

A conservação e a regeneração da vegetação natural — especialmente em Terras Indígenas (TIs) e Unidades de Conservação (UCs) — são cruciais para a redução das emissões líquidas de GEE no Brasil. UCs e TIs armazenam 58% do carbono da Amazônia (42 Gt C),

desempenhando papel crítico nos estoques nacionais. Em 2023, 61% das emissões do setor de Mudança de Uso da Terra foram compensadas pela remoção de 642 Mt CO₂e, majoritariamente pela vegetação primária (60%) e regeneração natural (39,5%). Entre 2017 e 2022, a vegetação secundária cobriu cerca de 5 milhões de hectares fora de terras públicas, alcançando quase metade da meta de restaurar 12 milhões de hectares até 2030. Apesar disso, essa vegetação ainda não é formalmente protegida, tornando incertos seus benefícios de longo prazo para mitigação climática.

As elevadas emissões incorporadas nas importações provenientes do comércio internacional evidenciam os desafios do Brasil na transição para uma economia de baixo carbono. Além do consumo proveniente da matriz energética nacional, o uso total de energia no país inclui também combustíveis fósseis importados, o que adiciona uma pegada de carbono externa equivalente a 38,5% das emissões associadas. Essa dependência de importações reduz a participação efetiva de fontes renováveis no consumo energético brasileiro para cerca de 47,5%, evidenciando que os desafios de mitigação das emissões devem considerar as emissões incorporadas no comércio internacional.

As mudanças climáticas têm causado impactos graves e crescentes na biodiversidade e na população brasileira, elevando o risco de pontos de não retorno ecológicos e agravando problemas sociais e econômicos, incluindo pobreza, insegurança alimentar, riscos à saúde e geração de energia limpa, e acesso limitado a água doce no país.

Desmatamento, degradação e mudanças climáticas ameaçam a biodiversidade e reduzem a resiliência dos ecossistemas, aproximando os ecossistemas de pontos de não retorno. No semiárido nordestino, a seca, a variabilidade das chuvas, falta de irrigação e degradação do solo tornam a agricultura familiar especialmente vulnerável às secas extremas. Chuvas intensas e

ondas de calor também afetam a saúde pública, intensificando doenças infecciosas, aumentando as hospitalizações por doenças cardiovasculares, e comprometendo o abastecimento de água e o bem-estar de populações vulneráveis, incluindo crianças, idosos e comunidades tradicionais. A magnitude desses impactos depende da urbanização, degradação ambiental, acesso a saneamento, desigualdades sociais e eficácia das políticas de saúde.

Desde 2000, o país vem construindo um arcabouço jurídico e institucional robusto para a política climática, com destaque para a Política Nacional sobre Mudança do Clima (2009), o fortalecimento dos planos setoriais e subnacionais, e a formulação do Plano Clima 2024–2035 que consolida os eixos de mitigação, adaptação e transição ecológica de longo prazo. Desde os anos 2000, o país vem avançando de uma estrutura centralizada para uma governança climática multinível, com destaque para o Plano Clima 2024–2035, o Pacto pela Transformação Ecológica e o Compromisso pelo Federalismo Climático (2024). Iniciativas como o PPCDAm, Planaveg e o Programa ABC+ articulam mitigação, adaptação e transição energética, embora desafios persistam quanto à integração institucional, financiamento e participação social.

Figura S1 - Modelo DPSIR aplicado às mudanças climáticas no Brasil



Fonte: elaborado pelos autores.

3. BIODIVERSIDADE E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

As forças motrizes e pressões que ameaçam a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos se intensificaram no país durante as últimas décadas, com impactos cada vez mais agravados pelos efeitos combinados das mudanças climáticas. As principais forças motrizes identificadas incluem a primarização da pauta de exportações e os padrões de consumo insustentáveis, enquanto as principais pressões à biodiversidade são causadas por mudanças no uso da terra (desmatamento), grandes obras de infraestrutura, introdução de espécies exóticas invasoras, consumo insustentável de recursos naturais e poluição ambiental.

As pressões antrópicas sobre a biodiversidade brasileira, especialmente aquelas associadas às mudanças no uso e cobertura da terra, têm gerado uma série de impactos ambientais, sociais e climáticos: existência de um número significativo de espécies ameaçadas de extinção (3.213 espécies da flora e 1.203 da fauna brasileira se encontram ameaçadas); redução acentuada da cobertura vegetal nativa; aumento na incidência de queimadas; redução no volume hídrico nacional; alterações significativas dos ecossistemas; declínio de polinizadores e no serviço ecossistêmico de polinização; aumento do risco de atingir o ponto de não retorno na Amazônia, com alterações no regime de chuvas de grande parte do Brasil e do sul da América do Sul, e aumento dos conflitos socioambientais.

O Brasil realizou progressos significativos na governança e combate às causas das perdas de biodiversidade desde 2002. O país criou e aprimorou diversas políticas públicas e instrumentos relacionados à proteção da biodiversidade, além de toda uma institucionalidade voltada para esse fim. Centenas de instrumentos,

entre planos, listas, políticas, programas, pactos, fundos, normativas, projetos, diretrizes, dentre outros, compõem a lista de esforços federais em prol da biodiversidade. Por exemplo, existem 3.300 unidades de conservação no país, cobrindo uma área de mais de 2,6 milhões de Km², equivalente a aproximadamente 25% continente europeu, além de Planos de Ação Nacionais para Conservação de Espécies Ameaçadas de Extinção.

Os impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos identificados, porém, evidenciam a urgência de respostas mais robustas e coordenadas, no sentido de contê-los. Entre os desafios para que isso ocorra, mencionam-se: a necessidade de fortalecer o SISNAMA e de aprimorar o Cadastro Ambiental Rural, aumentando a sua efetividade; investir em instrumentos inovadores que promovam a valorização da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos; aumentar o volume de recursos orçamentários destinados às políticas de biodiversidade e ao monitoramento do desmatamento nos biomas; fortalecer a política de combate ao desmatamento, por meio da substituição de decretos por leis próprias para essa finalidade.

Algumas alterações recentes em políticas e ações ambientais, com reflexo direto sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, podem acelerar a perda de biodiversidade. Legislações como a “nova lei do licenciamento”, que flexibiliza diversos pontos de controle ambiental de empreendimentos, e a suspensão da Moratória da Soja, podem ter impacto significativo na cobertura vegetal nativa.

Tabela S1: Síntese das pressões e impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos em cada bioma e no SCM.

Bioma/SCM	Vetores de Pressão	Principais Impactos	Espécies Exóticas/Invasoras	Destaques	Referências
Amazônia	Obras de infraestrutura, fronteira agrícola da soja e pecuária, invasão de terras, hidrelétricas, pavimentação de rodovias	Desmatamento, migração, valorização de terras	Dendezeiro (<i>Elaeis guineensis</i>)	32,5% do desmatamento em terras públicas não destinadas (101 milhões ha, 40 milhões estaduais, 90% no Amazonas), 30.5% sob jurisdição federal	MMA/PPCDAm, 2025; Bergallo et al., 2024
Caatinga	Desmatamento, mudança do uso do solo, degradação florestal, agricultura itinerante, culturas intensivas, pecuária extensiva, biomassa para energia, energia eólica e solar	Fragmentação, invasão de áreas úmidas, supressão de vegetação	Algaroba (<i>Prosopis juliflora</i>), algodão-de-seda (<i>Calotropis procera</i>)	Algaroba invadiu mais de 1 milhão de ha	Leal et al., 2005; MMA/PPCaatinga, 2025; Zenni et al., 2024
Cerrado	Agropecuária, programas governamentais, rodovias, adaptação da soja, extração de lenha, coleta de frutos nativos, forrageiras exóticas, agrotóxicos, fertilizantes	Fragmentação, perda de conectividade, contaminação de solos e águas, incêndios, alterações hidrológicas	Braquiárias (<i>Urochloa</i> spp.)	MATOPIBA: 70% da área convertida para agropecuária	Pivello et al., 2024; MMA/PPCerrado, 2025
Mata Atlântica	Expansão agrícola, urbana e industrial, poluição hidrica, espécies exóticas, extrativismo predatório, mudanças climáticas	Fragmentação, poluição, redução de populações, vulnerabilidade a eventos extremos	Jaqueira (<i>Artocarpus heterophyllus</i>), saguis (<i>Callithrix</i> spp.) ¹	Redução a mosaico de pequenos fragmentos	Ribeiro et al., 2009; Tabarelli et al., 2005; Fonseca et al., 2024; Pivello et al., 2024; Joly et al., 2019
Pampa	Expansão da agricultura (soja, arroz), silvicultura, pecuária intensiva, agrotóxicos, espécies exóticas	Perda de habitat, fragmentação, contaminação, erosão, ameaça à biodiversidade	Braquiárias (<i>Urochloa</i> spp.), capim-annoni (<i>Eragrostis plana</i>)	Soja: 8.243 km ² (1985) para 40.159 km ² (2023), aumento de 387%	Joly et al., 2019; MMA/PPPampa, 2025; Zenni et al., 2024
Pantanal	Secas prolongadas, incêndios, poluição por metais pesados e agrotóxicos, espécies invasoras	Alteração do regime hidrológico, ameaça à ictiofauna, poluição das águas	Tucunaré-azul (<i>Cichla piquiti</i>), tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>)	Desde 2019, mais longo período de seca desde 1985; 2020: menores índices pluviométricos em 50 anos	MMA/PPPantanal; Zenni et al., 2024
Sistema Costeiro-Marinho	Urbanização, turismo, infraestrutura rodoviária, portos, espécies exóticas, poluição plástica	Pressão sobre biomas vizinhos, entrada de espécies invasoras, poluição marinha	Mexilhão dourado (<i>Limnoperna fortunei</i>), peixe-leão (<i>Pterois volitans</i>), coral-sol (<i>Tubastraea coccinea</i> e <i>T. tagusensis</i>)	Estudo: 70% das 265 tartarugas verdes ingeriram detritos (média 50 itens plásticos/indivíduo)	Travassos et al., 2024; Santos et al., 2015

Fonte: trabalhos citados nos respectivos textos dos biomas. Elaboração dos autores.

4. GESTÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL

A qualidade ambiental evoluiu de um conceito técnico para um componente central da justiça socioambiental. O entendimento contemporâneo incorpora dimensões éticas, sociais e territoriais, reconhecendo que os impactos ambientais não são distribuídos de forma equitativa. A justiça ambiental no Brasil tem sido impulsionada por movimentos sociais e evidências científicas que conectam degradação ambiental à exclusão social.

As principais forças motrizes da degradação ambiental são sistêmicas e interdependentes. Urbanização desordenada, padrões insustentáveis de produção e consumo, expansão agropecuária e mudança climática atuam de forma integrada, intensificando pressões sobre os sistemas de ar, água e solo.

A qualidade do ar no Brasil representa um risco crítico à saúde pública e à equidade ambiental. A poluição atmosférica é responsável por cerca de 51 mil mortes prematuras anuais, com impactos econômicos e sociais significativos. A rede de monitoramento é insuficiente e desigual, comprometendo a vigilância e a formulação de políticas.

A qualidade da água é comprometida por múltiplas fontes de poluição e desigualdades territoriais.

O lançamento de esgotos sem tratamento, a carga difusa da agricultura, a poluição industrial e limitações na gestão de resíduos sólidos, se relacionam com a presença de agrotóxicos e microplásticos em águas de consumo humano, com riscos à saúde e aos ecossistemas. Estudos recentes indicam a presença de resíduos de até 27 tipos de agrotóxicos em águas de consumo humano, incluindo compostos como atrazina 2,4-D e glifosato — alguns deles

reconhecidos por seus efeitos tóxicos e disruptores endócrinos (Aranha et al., 2019). Estima-se, ainda, que mais de 2,3 milhões de toneladas de resíduos plásticos sejam lançadas nos oceanos brasileiros a cada ano, com origens majoritariamente associadas às bacias hidrográficas do Amazonas, São Francisco, Doce e Baía de Guanabara (Damasio, 2022).

A degradação dos solos compromete a resiliência ecológica e a sustentabilidade produtiva. A expansão agropecuária, o uso intensivo de agrotóxicos e a destinação inadequada de resíduos sólidos afetam a funcionalidade dos solos. A perda de cobertura vegetal e o desmatamento, especialmente no Cerrado, agravam os passivos ambientais. O Cerrado apresentou um aumento expressivo do desmatamento nos últimos anos, especialmente em 2023, enquanto a região do Matopiba (acrônimo para Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) responde pelos maiores índices de desmatamento - 75% da área desmatada no Cerrado em 2024 (MapBiomas, 2025a).

A governança ambiental brasileira apresenta avanços normativos, mas enfrenta retrocessos institucionais. Embora políticas como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal e a Política Nacional de Qualidade do Ar representam marcos importantes, sua implementação é desigual e vulnerável a pressões políticas. A fragmentação institucional e a baixa capacidade subnacional limitam a efetividade das ações.

Inovações em governança e participação social oferecem caminhos promissores. Experiências como o MapBiomas Alerta, o Observando os Rios e programas de Pagamento por Serviços Ambientais demonstram o potencial da ciência cidadã, da tecnologia e da articulação multissetorial para fortalecer a gestão ambiental.

A integração entre políticas ambientais e setoriais ainda é frágil e contraditória.

Apesar de discursos favoráveis à transversalidade, persistem silos burocráticos e conflitos entre metas ambientais e decisões econômicas. A ausência de mecanismos financeiros estáveis e de coordenação interministerial limita a implementação de políticas integradas.

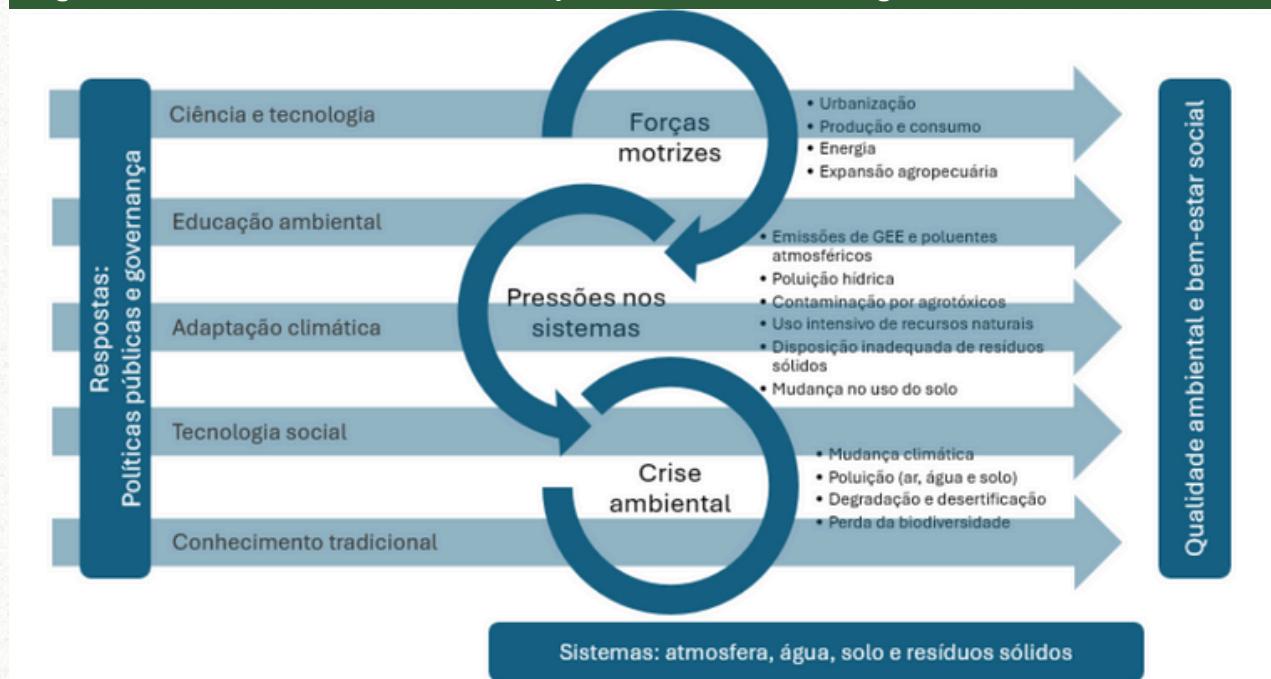
Três eixos estratégicos são fundamentais para o avanço da política ambiental no Brasil. Fortalecer a capacidade subnacional com recursos e tecnologias; Institucionalizar

aintersetorialidade com mecanismos vinculantes; Consolidar uma cultura política baseada em transparência, cooperação e justiça socioambiental.

A qualidade ambiental no Brasil é um reflexo das desigualdades estruturais e intensificação das pressões antrópicas.

Apesar de avanços institucionais e normativos desde o GEO Brasil 2002, o país enfrenta desafios persistentes relacionados à degradação ambiental, poluição e vulnerabilidade climática. A tripla crise planetária — mudanças climáticas, perda de biodiversidade e poluição — afeta de forma desproporcional populações vulneráveis, exigindo respostas integradas e justas.

Figura S2 - Framework da análise de qualidade ambiental, segundo a DPSIR



Fonte: elaborado pelos autores.

5. O ESTADO DOS RECURSOS HÍDRICOS

O Brasil é um dos países com maior disponibilidade hídrica no mundo, mas esta abundância não significa que o país esteja isento de desafios em relação ao gerenciamento de seus recursos hídricos. A água encontra-se desigualmente distribuída ao longo do território. Além de espacialmente desigual, a disponibilidade hídrica mostra uma assimetria em relação à distribuição da população, com 80% dos recursos concentrados na Região Amazônica que abriga apenas 5% da população brasileira e 9% do uso de água.

A complexidade dos desafios da gestão de recursos hídricos no Brasil tende a aumentar no contexto da denominada “tríplice crise”, representada pelas mudanças climáticas, pelo desmatamento e pela perda da biodiversidade. Os cenários dos diferentes modelos climatológicos apontam de forma consistente para as alterações no regime de chuvas no país, com a intensificação e maior frequência de eventos extremos como secas severas e inundações ao longo do século XXI. Além disso, o desmatamento e as alterações climáticas levam à perda de biodiversidade, afetando diretamente os ecossistemas aquáticos e a sua capacidade de regular o ciclo da água. Os efeitos da tríplice crise sobre o regime hidrológico poderão contribuir para o agravamento problemas de segurança hídrica.

Além do um cenário mais complexo e desafiador em relação à oferta, os gestores de recursos hídricos devem ainda se defrontar com uma crescente demanda dos setores usuários.

A expansão da agricultura irrigada, o crescimento urbano e o processo de industrialização tendem a impactar tanto a quantidade quanto a qualidade da água, bem como a intensificar os conflitos pelo seu uso. Chama a atenção o aumento da importância relativa da irrigação. O setor respondia por 35,1% de retirada de água em 1970, atende pela metade do uso no

momento atual (2023) e deve responder por 56% do uso segundo as projeções para o ano de 2040. Enquanto a vazão de retirada era de 188,7 m³/s em 1970, projeta-se um aumento para 1553,5 m³/s até 2040, um aumento de oito vezes.

O saneamento é o grande desafio para melhora da qualidade da água para a população e meio ambiente. 95% da população brasileira residente em domicílios conta com água canalizada, proveniente tanto da rede geral de distribuição como do uso de fontes alternativas. Porém, os indicadores de tratamento de esgoto tem baixas taxas de cobertura para o nível de desenvolvimento país. Do total do esgoto gerado, apenas 52,2% é tratado.

Existem grandes disparidades regionais no acesso à agua e esgoto tratados. Enquanto o percentual de tratamento de esgoto alcança 61,6% na região Sudeste, na região Norte ele limita-se a 19,8%. São Paulo tinha mais de 90% da população atendida por rede pública de esgoto em 2022, mas alguns estados ficavam abaixo de 10%, como o Pará (9,2%). Cerca de 85% da população no Brasil em 2022 tinha acesso à rede de abastecimento de água, sendo que a Região Norte contava com o menor atendimento (64,2%) e a Região Sul com o maior (91,6%). Os quadros mais críticos em termos de poluição orgânica são observados nas proximidades dos maiores aglomerados urbanos do país.

A implementação do sistema de gestão decentralizado e participativo dos recursos hídricos no Brasil mostrou avanços significativos desde a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos em 1997. Ainda que o ritmo de implementação das estruturas de governança e dos instrumentos de política ocorra de forma desigual no território, as bacias hidrográficas com maior potencial para conflitos pelo uso da água já contam com comitês ativos e com

planos de bacias hidrográficas em execução. O Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos consolidou-se e permite o monitoramento das informações sobre disponibilidade hídrica e usos da água a partir da integração de dados, sendo um instrumento importante de planejamento e apoio à tomada de decisão. O planejamento estratégico do setor ocorre tanto em nível local (planos de bacia hidrográfica) quanto em nível nacional, com o Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040 sendo um instrumento de macroplanejamento estratégico com visão de longo prazo. Acumulam-se ainda os casos de implementação da cobrança pelo uso da água.

Apesar dos avanços na implementação de um modelo de gestão descentralizado e participativo, ainda permanecem desafios a serem enfrentados pelos gestores de recursos hídricos. A integração da gestão dos recursos hídricos com as demais políticas setoriais mostra-se fundamental para garantir o aproveitamento múltiplo da água de forma sustentável. A articulação com as estratégias definidas para os diferentes setores, bem como a incorporação dos efeitos das mudanças climáticas na prospecção dos cenários hidrológicos, são condições necessárias para a garantia da segurança hídrica no longo prazo.

Tabela S2 - Avanços e desafios remanescentes do PNRH 2006 -2020

Avanços	Desafios
Fortalecimento do sistema: o PNRH 2006-2020 impulsionou a implementação do SINGREH, consolidando a estrutura de governança e o modelo de gestão participativa.	Integração com políticas e planos setoriais: é necessário avaliar as interrelações do PNRH 2006-2020 e propor estratégia de integração com demais planos setoriais (ex. Plano Hidroviário Estratégico, Plano Decenal de Energia, Plano Nacional de Saneamento Básico, Política Nacional de Irrigação, etc.)
Instrumentos de gestão: o PNRH 2006-2020 consolidou a aplicação de instrumentos como a outorga pelo direito do uso da água e a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.	Baixa eficácia da cobrança: embora a cobrança pelo uso da água tenha sido estabelecida, os valores arrecadados foram insuficientes para financiar as necessidades de gestão e investimento.
Revisões periódicas: o PNRH 2006-2020 passou por duas revisões (2010-2011 e 2016) através de um processo participativo, o que foi importante para a relevância e legitimidade da atividade de planejamento.	Fragilidade da fiscalização: a fiscalização e o controle do uso da água, essenciais para coibir o uso irregular e garantir a aplicação das outorgas, ainda enfrentam dificuldades e muitas bacias hidrográficas.
Transparência: dos documentos do PNRH 2006-2020 e suas revisões foram amplamente divulgados, garantindo acesso à informação para as partes interessadas e a sociedade como um todo.	Crises hídricas: o período de vigência do PNRH 2006-2020 foi marcado por crises hídricas em várias partes do país, expondo a vulnerabilidade do planejamento. Com o potencial da recorrência destes eventos aumentando dentro de um cenário de mudanças climáticas, é preciso incorporar as lições aprendidas para enfrentar a escassez de forma mais robusta.

Fonte: elaborado pelo autor.

6. AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE NO BRASIL: IMPACTOS, DESAFIOS E OPORTUNIDADES

O papel do Brasil no cenário agropecuário global tem crescido nas últimas décadas, sendo o maior produtor e exportador de diversas commodities. O Brasil tem liderança global na produção e exportação de soja, milho, café, açúcar e carnes. Nas duas últimas décadas, a produção agropecuária brasileira cresceu, em média, 8% ao ano, e o valor das exportações, incluindo produtos processados, aumentou cerca de 9,4%.

Porém, o modelo agrícola dominante baseia-se em uso intensivo de insumos químicos e expansão sobre ecossistemas nativos. A área agropecuária cresceu de 187,3 para 282,5 milhões de hectares entre 1985 e 2022. Pastagens representam 58% do total e aumentaram aproximadamente 60% no período. Na Amazônia, as pastagens aumentaram de 13,7 para 57,7 milhões de hectares. O Brasil é um dos maiores consumidores mundiais de agrotóxicos. Entre 2010 e 2022, a comercialização de agrotóxicos aumentou 108%. Soja, milho, algodão e cana-de- açúcar respondem por 83% do consumo nacional de agrotóxicos.

A expansão agropecuária sem planejamento ambiental gera perda de biodiversidade, contaminação do solo, da água e do ar, pressão sobre povos tradicionais e concentração fundiária. Isto acontece sobretudo no Cerrado e na Amazônia. No Cerrado, a pressão se dá pela conversão direta de áreas (50% já transformadas), enquanto na Amazônia o ciclo de desmatamento é alimentado pelo deslocamento da pecuária extensiva pela agricultura. Os demais biomas também sofrem pressões: substituição de pastagens no Pampa, pecuária de baixa produtividade no Pantanal, ocupação de áreas frágeis na Caatinga e monoculturas em paisagens fragmentadas da Mata Atlântica.

No campo há muitas desigualdades e vulnerabilidades que comprometem a sustentabilidade do setor no longo prazo. Agricultores familiares são 77% dos estabelecimentos, mas ocupam apenas 23% da área agrícola. Menos de 20% dos agricultores familiares recebem assistência técnica regularmente. A maior parte do crédito rural ainda é destinada à agricultura patronal. A concentração fundiária é elevada, com índice de Gini entre 0,73 e 0,86. Eventos climáticos extremos têm causado perdas na produção e produtividade agropecuária. A agricultura familiar é mais vulnerável, especialmente nas regiões Norte e Nordeste. Povos indígenas e comunidades tradicionais sofrem com a degradação ambiental e têm pouco acesso a políticas públicas.

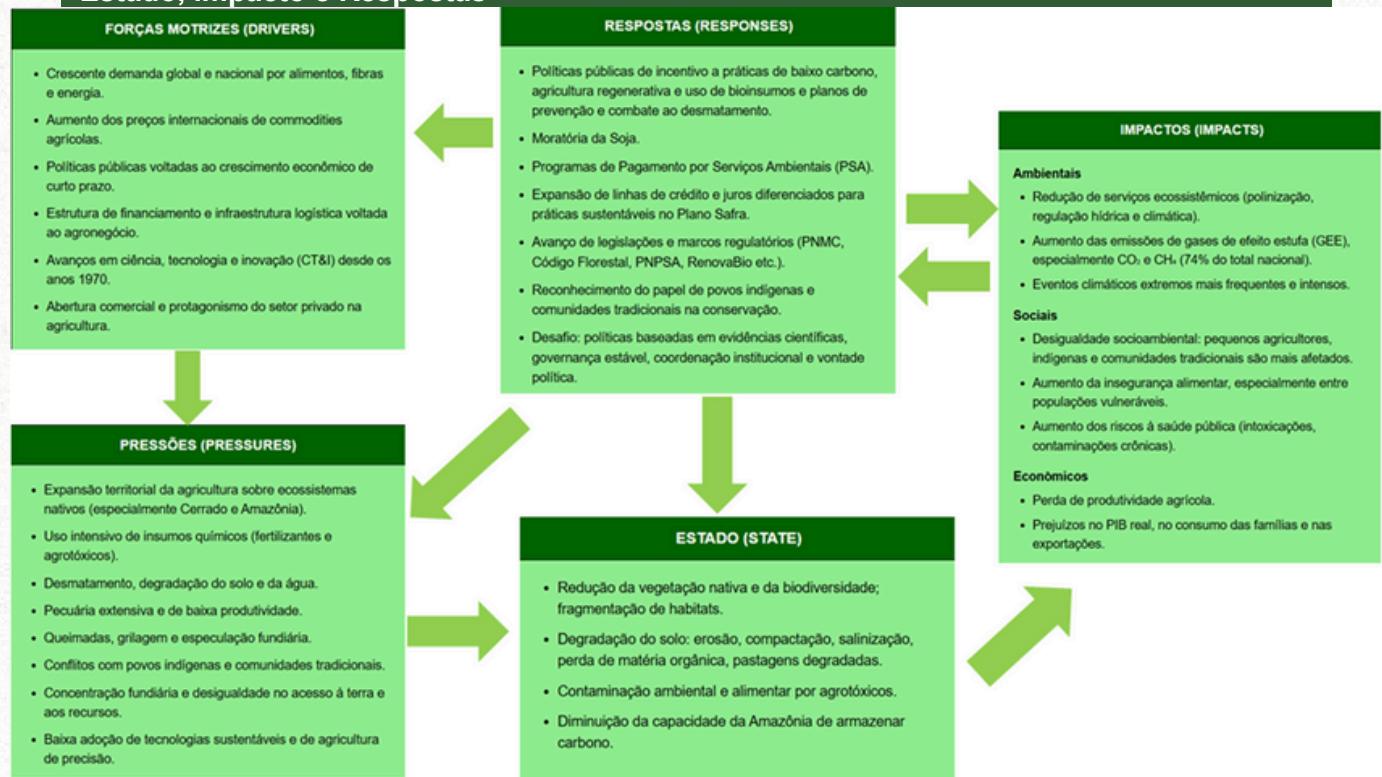
A dinâmica da agricultura e as transformações em curso estão conectadas aos compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas. A agropecuária exerce papel estratégico no cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), ao mesmo tempo em que representa um ponto de tensão para sua efetivação. O agronegócio representa, em média, 25% a 30% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, gerando milhões de postos de trabalho, renda e divisas ao país.

Entretanto, apenas 8% das metas da Agenda 2030 foram plenamente cumpridas até agora. Barreiras à sustentabilidade são: baixa adoção de práticas sustentáveis, dependência de insumos químicos, desigualdade no acesso ao crédito e assistência, fragilidade da governança e retrocessos legais. Existem várias práticas sustentáveis adotadas: plantio direto, fixação biológica de nitrogênio, rotação de culturas, manejo integrado de pragas, agricultura de precisão e Integração Lavoura-Pecuária (ILP).

Porém, iniciativas para melhoria, como o Plano ABC, Moratória da Soja e novas regras do Plano Safra, enfrentam limitações na implementação. Avançar na sustentabilidade é essencial para garantir competitividade, crescimento econômico, segurança alimentar e justiça social. Várias estratégias e recomendações para transformação necessitam ser adotadas e aceleradas, com recuperação de

pastagens degradadas, expansão de sistemas agroecológicos, e adoção do pagamento por Serviços Ambientais (PSA), bioinssumos, energia verde e valorização de saberes tradicionais. Para isto deve-se fortalecer a governança, ampliar assistência técnica, rever incentivos fiscais, expandir o crédito “verde”, garantir direitos territoriais e basear políticas em evidências científicas.

Figura S3 - Relação entre agricultura e meio ambiente: Forças Motrizes, Pressões, Estado, Impacto e Respostas



Fonte: elaborado pelo autor.

7. CIDADES MAIS SUSTENTÁVEIS, JUSTAS E RESILIENTES: PANORAMA, DESAFIOS E PERSPECTIVAS

O processo acelerado de urbanização nos últimos 60 anos é uma das principais forças motrizes que têm impactado negativamente a qualidade ambiental no Brasil. As cidades são atores chave no enfrentamento à tríplice crise global (crise climática, perda de biodiversidade e poluição), pois é na escala local que são implementadas as iniciativas de enfrentamento às mudanças climáticas. Entretanto, nossas cidades, principalmente as grandes metrópoles, são consideradas despreparadas e vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas.

Os impactos climáticos afetam de forma desigual cada grupo social. Comunidades urbanas de baixa renda situadas em áreas de risco são particularmente mais vulneráveis. Dentre os principais impactos climáticos nas cidades estão: alagamentos, enxurradas e inundações; deslizamento de terra; vetores de arboviroses; aumento de temperatura e ondas de calor; secas; e erosão por elevação do nível mar para cidades costeiras.

Os planos locais de ação climática são respostas adotadas pelas cidades para o enfrentamento da crise climática. Para ajudar as cidades a elaborarem seus planos de ação climática diversas iniciativas foram desenvolvidas nos últimos anos, nas escalas global, nacional e subnacionais. Apesar do avanço dessas iniciativas de apoio, poucas cidades no Brasil elaboraram e divulgaram seus inventários e relatórios de emissões de GEE, fizeram análise de riscos e vulnerabilidade climática e têm planos de ação climática. A maioria das capitais que possuem planos de ação climática estão localizadas nas regiões Nordeste e Sudeste.

Poucas cidades brasileiras incorporam indicadores de justiça climática em seus planos de ação climática na busca por mais equidade e inclusão social. Esse pouco progresso sugere que existe ainda uma baixa priorização política por parte dos gestores públicos locais, fazendo com que a agenda climática ainda não seja uma prioridade. A incorporação da justiça climática nas políticas municipais, devem ser preferencialmente cocriados com a população para refletir às realidades dos espaços urbanos.

Os planos de ação climática das cidades normalmente propõem medidas voltadas para a mitigação e adaptação das emissões de GEE. Geralmente propõe ações via descarbonização dos setores de transporte e mobilidade urbana, resíduos e saneamento, e energia estacionária e estratégia de compensação das emissões residuais para alcançar as metas de redução e/ou neutralidade de carbono até 2050. Já as ações de adaptação são priorizadas tendo como base os resultados da análise de riscos e vulnerabilidades climáticas e têm como objetivo melhorar a capacidade de resposta das cidades em antecipar, prevenir, absorver e se recuperar de choques e estresses extremos.

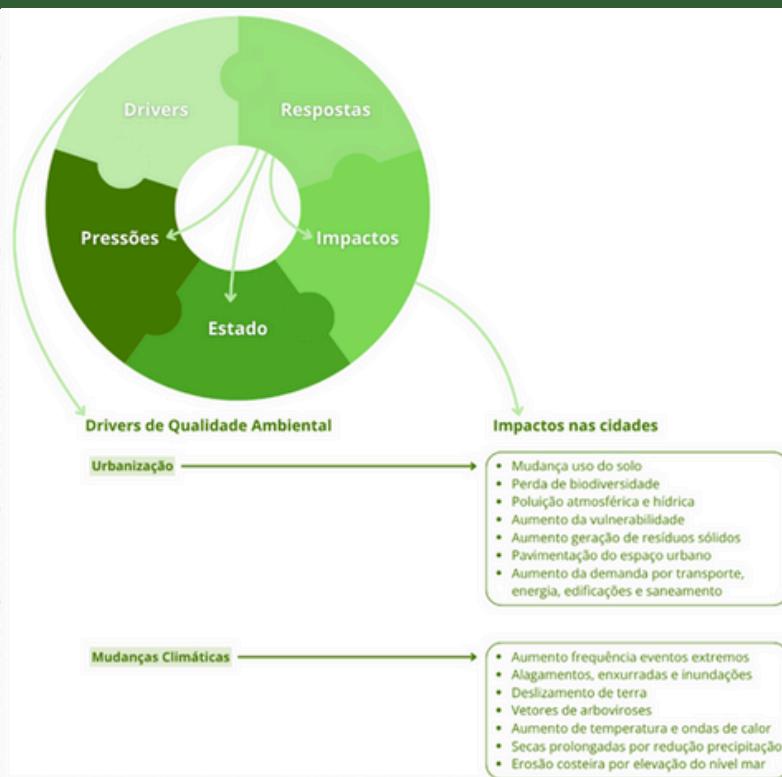
Existem muitos desafios na elaboração e implementação dos planos. Entre os principais desafios para podemos citar: i) baixa institucionalização dos planos; ii) falta de incorporação nos planos de indicadores de monitoramento da implementação e avaliação, notadamente quanto ao princípio da justiça climática; iii) limitação de capacidade técnica e institucional, e acesso restrito a financiamentos, principalmente das cidades de pequeno e médio portes; iv) baixo

número de formulação de planos em regiões metropolitanas; v) governança climática multinível limitada e restrições de poder e autonomia para agir em setores críticos ao combate das mudanças climáticas. Já as principais forças motrizes são: i) comprometimento da liderança climática local; ii) associação do governo local às Redes Transnacionais de Cidades (RTC); iii) contexto político e arcabouço legal de apoio ao enfrentamento da crise climática na escala local; iv) exposição e vulnerabilidade do espaço urbano aos riscos climáticos.

As perspectivas são positivas para um

aumento, até 2035, do número de cidades brasileiras que priorizam a agenda climática. Fatores que podem impulsionar a agenda climática urbana são: i) o avanço da agenda nacional de sustentabilidade e mudança do clima, com a implementação eficaz de iniciativas, dentre outras, do Programa Cidades Verdes Resilientes, Adapta Cidades e Plano Clima; ii) a realização em 2025 da COP 30 em Belém-PA, oportunidade para as cidades serem incluídas nas negociações climáticas globais e mostrarem os avanços e desafios das suas agendas climáticas.

Figura S4 - O Impacto das Forças Motrizes de Qualidade Ambiental nas Cidades



Fonte: Adaptada de UN-Habitat (2021).

8. ENERGIA E MEIO AMBIENTE

O Brasil é um dos líderes mundiais na produção de energia renovável. A proporção de energias renováveis na oferta interna de energia primária no país chega a aproximadamente 50%, a mais alta entre os países do G20. A eletricidade é quase toda produzida de fontes menos poluentes e tipicamente renováveis. Destaca-se, porém, que usinas termelétricas movidas a combustíveis fósseis ainda funcionam como resposta aos problemas de intermitência das renováveis.

Porém, de 2002 a 2023, o setor de energia do Brasil tornou-se mais carbono dependente. Em 2002, quando da publicação do Relatório GEO Brasil 1, o setor energético do Brasil contribuiu com 11,3% das emissões totais e Gases de Efeito Estufa (GEE) do país. Já em 2023, tal percentual aumentou para 18,3%, denotando que, indo na direção contrária à necessária descarbonização em prol do combate às mudanças climáticas e ao aquecimento global.

O nexo entre energia e meio ambiente no Brasil é forte. O país se caracteriza por uma oferta energética tipicamente renovável, porém marcada por impactos ambientais e pressões socioambientais. A sustentabilidade do nexus água-alimento-energia no Brasil depende de o país equilibrar a segurança alimentar interna, a segurança hídrica, a transição energética justa e a produção agrícola para exportação vis-à-vis pressões socioeconômicas e climáticas.

A metodologia DPSIR indica que o contexto geopolítico internacional aporta ao Brasil uma crescente pressão em prol da transição energética, mais na condição de supridor global de matérias-primas necessárias à transição energética de países desenvolvidos, e de metas autoimpostas pelos países desenvolvidos na direção de tal transição. Forças-Motrices (*Driving Forces*)

apontam que a economia brasileira, em boa medida, se caracteriza pelo setor de agropecuária com participação em alta no contexto do PIB do Brasil, e pelos setores industrial e de serviços em estabilidade. Outrossim, urge mencionar que o crescimento populacional brasileiro também se encontra, contemporaneamente, estável.

As transições energéticas no Brasil se caracterizam por tendências desafiantes. Fontes menos poluentes e modernas têm reproduzido padrões de exploração de fontes tradicionais (fósseis, hidrelétrica). A ampliação da produção de energia renovável (solar e eólica) em larga escala ocasiona, muitas vezes, despossessão de terras e supressão de culturas e de estilos de vida. Políticas e planos de expansão da oferta energética não estão devidamente transversalizados com as noções de justiça energética. O futuro da energia para motorização no Brasil tende a ser marcado por uma matriz híbrida, com forte presença de biocombustíveis, eletrificação gradual e avanços no emprego do Hidrogênio Verde (H2V). A atenuação de problemas correlatos à intermitência inerente às fontes energéticas solar e eólicas deve priorizar o armazenamento híbrido (hidrelétricas + baterias + H2V), o qual tende a ser menos custoso e mais eficiente do que tão somente a partir de baterias.

Maior grau de conexão entre políticas energéticas e ambientais (particularmente, climáticas) é premente em prol de menores impactos do setor energético ao meio ambiente. Os diversos impactos socioambientais correlatos ao setor energético do Brasil representam, em boa medida, consequências de padrões históricos estabelecidos pelas usinas hidrelétricas; a atual miríade de externalidades socioambientais negativas não se deve, centralmente, a novas relações causa-efeito, não se deve a novos problemas ambientais decorrentes da produção e do consumo de energia. A justiça ambiental permanece um desafio fulcral para o planejamento

energético nacional, exigindo a efetiva participação das populações impactadas nos processos decisórios, a distribuição equitativa dos benefícios e dos impactos dos

empreendimentos energéticos, e o fortalecimento de mecanismos de consultas e poderes de voto.

Figura S5 - Esquematização do exercício de aplicação da metodologia DPSIR ao setor de energia do Brasil



Fonte: elaborado pelos autores.

9. QUALIDADE AMBIENTAL NA INDÚSTRIA BRASILEIRA

Os principais desafios da transição, como a dependência de práticas produtivas lineares, os altos índices de emissões setoriais e as desigualdades regionais limitam a capacidade de adaptação da indústria nacional. Foi utilizando a metodologia DPSIR (*Driving Forces, Pressures, State, Impact, Response*), que organiza a análise em Forças Motrizes, Pressões, Estado, Impactos e Respostas, para mapear esses desafios e propor soluções. Os modelos industriais vigentes geram externalidades ambientais significativas, como degradação de ecossistemas, contaminação de recursos hídricos e emissões de gases de efeito estufa, ao mesmo tempo em que ampliam vulnerabilidades sociais e econômicas. Embora presentes desde os anos 2000, esses impactos ganharam maior visibilidade e intensidade a partir da década de 2010, quando se tornaram mais evidentes em função da combinação entre expansão de cadeias extractivas, pressões internacionais por descarbonização e episódios críticos como os desastres de Mariana (2015) e Brumadinho (2019).

A convivência entre práticas ambientalmente inovadoras e padrões produtivos ainda fortemente lineares evidencia grandes desigualdades setoriais e regionais, que urge a necessidade de ação estratégica integrada entre governo, setor produtivo e sociedade civil. Essa ambivalência se manifesta inicialmente na configuração territorial do parque produtivo. A concentração geográfica da indústria nas regiões Sudeste e Sul, com polos especializados embora gerem economias de escala, aprofundam desigualdades regionais e criam vulnerabilidades sistêmicas.

A defasagem tecnológica constitui um desafio estrutural. Aproximadamente 68% das indústrias de transformação ainda

operam com tecnologias convencionais, enquanto, apenas 23% incorporaram elementos da Indústria 4.0 em seus processos produtivos. Essa disparidade tecnológica se reflete na digitalização desigual, ou seja, 45% das grandes empresas possuem sistemas integrados de gestão, comparado a apenas 12% das pequenas e médias empresas. A automação industrial, presente em 34% dos estabelecimentos, concentra-se principalmente nos setores automotivo, siderúrgico e petroquímico, deixando amplos segmentos da indústria com baixo nível de modernização. Há também baixo investimento em pesquisa e desenvolvimento.

A indústria nacional também começa a enfrentar pressões crescentes por parte de novos regimes regulatórios internacionais. O Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira (CBAM, na sigla em inglês), da União Europeia, prevê a aplicação de tarifas sobre importações com base na intensidade de carbono dos produtos. A medida afeta diretamente setores como siderurgia, cimento, alumínio e fertilizantes, exigindo maior rastreabilidade e transparência nas cadeias produtivas brasileiras.

Existem oportunidades estratégicas para o Brasil acelerar a transição de um modelo predominantemente linear para um paradigma circular e de baixo carbono, e aumentar sua competitividade internacionalmente. As experiências recentes em economia circular e descarbonização são avaliadas não apenas pelos seus méritos técnicos, mas também por sua capacidade de promover desenvolvimento social, gerar competitividade e fortalecer a resiliência industrial.

O movimento de transição ganhou tração sobretudo na última década, com a disseminação de políticas setoriais e iniciativas empresariais alinhadas à Agenda 2030. A análise reconhece que essa

transição representamais do que uma necessidade ambiental: trata-se de uma oportunidade de construir um modelo de desenvolvimento mais inclusivo, inovador e sustentável.

O Brasil necessita se orientar por inovação sustentável para captar investimentos, posicionando-se competitivamente em setores emergentes ligados à transição sustentável. Existe grande potencial de criar indústria competitiva em setores como mineração de terras raras, produção de hidrogênio verde e manufatura de componentes para energias renováveis. A combinação entre recursos naturais abundantes, matriz energética limpa e capacidade industrial instalada confere ao país vantagens comparativas significativas nessa nova configuração produtiva global.

Há limitações estruturais ao sistema de financiamento industrial. A dependência excessiva de recursos próprios (68% dos investimentos) revela as fragilidades do sistema financeiro em apoiar o

desenvolvimento industrial, onde o financiamento bancário (23%) e o mercado de capitais (9%) permanecem insuficientes. O acesso ao crédito apresenta disparidades significativas, onde 89% das grandes empresas possuem linhas de crédito ativas, e apenas 34% das micro e pequenas empresas têm acesso regular ao sistema financeiro.

A governança multinível surge como uma proposta para a cocriação de soluções. Quando os entes federais, estaduais e municipais, em conjunto com empresas e sociedade civil discutem seus desafios, o caminho da inovação e da integração de agendas é construído. A convergência entre inovação tecnológica, governança colaborativa e engajamento comunitário define os caminhos possíveis para a construção de sistemas socioecológicos regenerativos. O caminho da transição industrial exige superar desigualdades regionais e setoriais, garantindo que benefícios ambientais sejam acompanhados por inclusão social.

Figura S6 – Modelo DPSIR aplicado à indústria brasileira



Fonte: elaborado pelos autores.

10. SAÚDE

A degradação ambiental no Brasil é um dos principais impulsionadores das doenças infecciosas emergentes. As principais pressões para o “spillover” são o desmatamento, pecuária intensiva próxima as unidades de conservação e outras áreas naturais, o tráfego de animais silvestres, e o comércio ilegal de madeira e ouro;

A prevenção de epidemias e pandemias necessita de vigilância ativa, intensiva e extensiva, com a integração de diversas estratégias de governança para enfrentar os desafios complexos das vigilâncias ambiental, epidemiológica e sanitária;

Atualmente, 87,5% da população brasileira vive em áreas urbanas (IBGE, 2022). O planejamento de cidades saudáveis deve integrar agendas socioambientais para promoção a saúde, a qualidade de vida e o bem-estar, reduzindo as doenças que afetam desproporcionalmente as populações mais vulneráveis;

O aumento das temperaturas, alteração da precipitação, o aumento dos incêndios florestais e a urbanização desorganizada, estão expandindo a distribuição geográfica das doenças vetoriais como malária, dengue, vírus emergentes como Oropouche e Mayaro. Em 2024, o Brasil teve 6,5 milhões de casos prováveis de dengue, com 6.297 óbitos e 13 mil casos confirmados de febre do Oropouche.

Eventos extremos como, ondas de calor, inundações, secas severas, aumentam significativamente as doenças de transmitidas pelas águas, como a diarreia, cólera, hepatite A, entre outras, e exacerbar as doenças cardiorrespiratórias, metabólicas e renais, além de lesões, agravando as vulnerabilidades em saúde, entre idosos, pessoas com comorbidades, gestantes, crianças e comunidades tradicionais. Estimativas apontam para 48 mil mortes por

ondas de calor entre 2000 e 2018, com maior impacto entre idosos, mulheres, pessoas negras e de baixa escolaridade (Santos et al., 2024). Do total de mais de 64 mil decretos registrados entre 2013 e 2023, 29% foram decorrentes às chuvas intensas, inundações, alagamentos e enxurradas e inundações, causando 2143 mortes, representando 80 % do total de mortes causadas por desastres em todo o Brasil (CNM, 2024).

A poluição do ar é um problema socioambiental crítico, principalmente nas grandes cidades e áreas urbanas, em decorrência do uso intensivo de combustíveis fósseis em transporte e atividades industriais, afetando desproporcionalmente as áreas densamente povoadas, caracterizando uma exposição crônica. Na cidade de São Paulo, mais de 8 mil mortes poderiam ser evitadas anualmente se os limites estabelecidos pela OMS fossem cumpridos.

Na Amazônia brasileira os incêndios florestais se intensificam durante a estação seca, extrapolando os limites diários de PM2,5 recomendados pela OMS (até 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e chegando a 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante queimadas. Essa exposição prolongada afeta diretamente a saúde das populações urbanas e rurais da região, com aumento de internações por doenças respiratórias, cardiovasculares e agravamento de condições pré-existentes, principalmente de grupos vulneráveis.

O saneamento básico precisa ser ampliado e qualificado como eixo estruturante da adaptação climática e da prevenção de doenças; 86.760 internações/ano poderiam ser evitadas com saneamento básico universal trazendo uma economia de, cerca, R\$ 49,9 milhões aos cofres públicos. A falta de saneamento básico sobrecarrega o SUS e provocou 344 mil internações no Brasil em 2024 (Trata Brasil 2024).

Populações costeiras, ribeirinhas e tradicionais enfrentam contaminação ambiental por produtos perigosos, perda de renda, insegurança alimentar, baixa escolaridade e moradias inadequadas; Entre 2010 e 2019, foram notificados 3.750 casos de intoxicação por agrotóxicos em crianças de 0 a 14 anos, incluindo 542 bebês menores de 12 meses. (Bombardi, 2021).

Política Nacional de Vigilância em Saúde (PNVS) é uma política pública de Estado

e função essencial do SUS, de caráter universal e orientadora do modelo de atenção à saúde nos territórios. Avanços recentes entre a PNVS e a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) registram ações e estratégias de interação entre os setores de saúde e meio ambiente, desenvolvimento regional, educação, fortalecendo evidências científicas, articulações técnico-científica e institucionais, embora os desafios estruturais ainda persistam, como as desigualdades sociais e territoriais que amplificam as vulnerabilidades.

Figura S7 - Inter-relações entre meio ambiente e saúde: modelo DPSEIR aplicado ao Brasil

POLUIÇÃO: MODELO DPSEIR APLICADO AO BRASIL



Fonte: elaborado pelos autores.

11. OPORTUNIDADES E DESAFIOS DA TRANSFORMAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NO BRASIL

O Brasil possui um dos maiores potenciais do mundo para promover melhorias ambientais com impacto positivo na economia e na sociedade, graças à sua vasta biodiversidade, abundância de recursos naturais e matriz energética majoritariamente renovável — cerca de 48% da matriz energética brasileira é composta por fontes renováveis, o maior percentual entre os países do G20.

A transformação para a sustentabilidade no Brasil depende da capacidade de integrar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) às políticas públicas e às estruturas institucionais, exigindo mudanças tanto incrementais quanto radicais nos modelos econômicos e organizacionais, com foco na erradicação da pobreza e na preservação ambiental.

O país já alcançou marcos importantes, como a liderança global na produção de bioetanol desde os anos 1970, impulsionada inicialmente por crises energéticas e posteriormente fortalecida por políticas climáticas internacionais como o Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris.

O Estado brasileiro desempenhou papel central na criação de mercados para tecnologias verdes, por meio de subsídios e incentivos, como no caso do etanol e da energia eólica. Com o tempo, essas tecnologias tornaram-se economicamente viáveis, permitindo uma transição gradual para uma maior participação do setor privado.

A articulação entre políticas setoriais — como transporte, agricultura e energia — foi essencial para o sucesso de iniciativas como o programa do etanol, demonstrando que a integração entre setores pode catalisar inovações e acelerar a transformação sustentável.

Apesar dos avanços, o Brasil ainda enfrenta desafios significativos, como as elevadas emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes do uso e mudança de uso da terra (LULUCF), que representam mais de 50% das emissões nacionais, principalmente devido ao desmatamento na Amazônia e no Cerrado.

O Plano de Transformação Ecológica, lançado em 2024, é a primeira iniciativa nacional estruturada para promover uma transição verde abrangente. Com seis eixos estratégicos — desenvolvimento tecnológico verde, bioeconomia, transição energética, economia circular, infraestrutura verde e adaptação climática — o plano visa reduzir 1 gigatonelada de CO₂ equivalente por ano, aumentar o PIB em 2,2%, reduzir o desemprego em 1,2% e elevar a renda real da população mais pobre em até 25% até 2030.

A criação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), por meio da Lei nº 15.042/2025, estabelece um mercado regulado de carbono no país, com cotas de emissão (CBE) e mecanismos de compensação entre empresas, promovendo a redução de GEE por meio de incentivos econômicos.

O Brasil possui reservas significativas de minerais estratégicos, como o lítio — sendo o quinto maior produtor mundial em 2023 — que podem ser exploradas de forma sustentável para fomentar indústrias verdes, como a produção de baterias para veículos elétricos e turbinas eólicas.

A Estratégia Nacional de Bioeconomia, lançada em 2024, visa promover o uso sustentável da biodiversidade brasileira, especialmente na Amazônia, com produtos como o açaí e o óleo de andiroba, que já têm demanda crescente nos mercados nacional e internacional, podendo gerar renda para comunidades locais e reduzir o desmatamento.

A experiência brasileira em pesquisa agrícola e desenvolvimento tecnológico, com instituições como a EMBRAPA e o CTC, oferece uma base sólida para a inovação em bioenergia e agricultura sustentável, embora ainda seja necessário ampliar o apoio ao pequeno produtor e à sociobioeconomia.

A crescente pressão internacional por práticas sustentáveis, como os mecanismos regulatórios da União Europeia (CBAM, CS3D, EUDR), pode funcionar como catalisador para a conformidade ambiental no Brasil, especialmente em setores exportadores como o de carne bovina.

O país já conta com instrumentos econômicos ambientais, como o ICMS Ecológico, fundos estaduais e municipais, e programas de compras públicas verdes, que incentivam práticas sustentáveis em diversas áreas, embora ainda sejam pontuais e careçam de maior abrangência e integração.

O Fundo Amazônia, com mais de R\$ 3,5 bilhões captados até 2023, representa uma importante fonte de financiamento para projetos de conservação e uso sustentável das florestas, com potencial de expansão por meio de mecanismos globais de pagamento por serviços ecossistêmicos.

A transformação verde tem ganhado espaço nas agendas política e econômica, com apoio de diferentes setores no Congresso Nacional, incluindo propostas de reforma tributária que transferem a carga fiscal do trabalho e capital para atividades poluentes.

Fóruns internacionais sediados pelo Brasil, como o G20 em 2024 e a COP-30 em 2025, reforçam o protagonismo do país na agenda ambiental global e evidenciam a urgência de acelerar a implementação de políticas sustentáveis em múltiplas dimensões.

Apesar dos avanços, o Brasil ainda precisa reformar suas instituições econômicas e políticas para torná-las mais verdes e inclusivas, garantindo que o desenvolvimento sustentável se torne uma realidade prática e democrática em todos os níveis da sociedade.

Apoio



Centro de Desenvolvimento
Sustentável UnB



— INSTITUTO —
JURUÁ



Coordenação técnica



Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

