

Adelcio Machado dos Santos

GESTÃO AMBIENTAL

PREÂMBULO À CIÊNCIA APLICADA



2026

Adelcio Machado dos Santos

GESTÃO AMBIENTAL: PREÂMBULO À CIÊNCIA APLICADA

1ª EDIÇÃO



SÃO LUÍS - 2026



EDITORA NOVUS

SÃO LUÍS - MA - 2026



WWW.EDITORANOVUS.COM.BR



EDITORANOVUS@GMAIL.COM

Diagramação e Edição

Eduardo Mendonça Pinheiro

Edição de Arte

Romilson Carneiro Rodrigues

Conteudista

Adelcio Machado dos Santos © 2026

Normalização

José Marcelino Nascimento Veiga Júnior



© 2026 Copyright – Direitos reservados. A Editora Novus é detentora dos direitos autorais relativos à edição, diagramação e ao projeto gráfico da presente obra. Os autores permanecem titulares dos direitos autorais de seus respectivos textos. Esta publicação está licenciada sob a Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0), permitindo a reprodução, o download e o compartilhamento total ou parcial do conteúdo, desde que a fonte seja devidamente citada, com atribuição obrigatória de autoria, e que a obra seja disponibilizada exclusivamente em Acesso Aberto (Open Access). Não é permitida qualquer forma de alteração, adaptação ou modificação do conteúdo, bem como sua disponibilização em plataformas de acesso restrito ou com finalidade comercial.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S237g

Santos, Adelcio Machado dos

Gestão ambiental: preâmbulo à ciência aplicada. / Adelcio Machado dos Santos. – São Luís: Editora Novus, 2026.

74 f.: il. color.

Publicação digital (e-book) no formato PDF

ISBN: 978-65-84364-06-6

DOI: 10.29327/5755284

1. Gestão ambiental. 2. Sustentabilidade. 3. Governança ambiental. 4. Inovação. 5. Políticas públicas. I. Título.

CDU: 502.131.1:504.06

Elaborado por José Marcelino Nascimento Veiga Júnior – CRB 13/320

CONSELHO EDITORIAL

Dr^a Anali Linhares Lima
M.Sc. Alan Jefferson Lima de Moraes
Dr. André Leonardo Demaison Medeiros Maia
Dr^a Anna Christina Sanazario de Oliveira
Dr^a Aurea Maria Barbosa de Sousa
Dr^a Camila Pinheiro Nobre
Dr. Claudio Alves Benassi
Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
Dr^a Claudiene Diniz da Silva
Dr. Diogo Guagliardo Neves
M.Sc. Eduardo Oliveira Pereira
Dr^a Elba Pereira Chaves
Dr. Elmo de Sena Ferreira Junior
M.Sc. Érica Mendonça Pinheiro
Dr. Fabio Antonio da Silva Arruda
M.Sc. Fernanda Tabita Barroso Zeidan
Dr. George Alberto da Silva Dias
Dr^a Gerbeli de Mattos Salgado Mochel
Dr^a Giselle Cutrim de Oliveira Santos
Dr^a Herlane de Olinda Vieira Barros
Dr^a Ivete Furtado Ribeiro Caldas
M.Sc. José Carlos Durans Pinheiro
M.Sc. Josiney Farias de Araújo

M.Sc. Julianno Pizzano Ayoub
Dr. Leonardo França da Silva
M.Sc. Lucianna Serfaty de Holanda
Dr^a Luciara Bilhalva Corrêa
Dr^a Luana Martins Cantanhede
Dr^a Maria Raimunda Chagas Silva
Dr^a Marina Bezerra Figueiredo
M.Sc. Mayanne Camara Serra
Dr^a Michela Costa Batista
Dr. Moisés dos Santos Rocha
Dr^a Priscila Xavier de Araújo
M.Sc. Ramaiany Carneiro Mesquita
Dr^a Rita de Cássia Silva de Oliveira
M.Sc. Rosany Maria Cunha Aranha
Dr. Saulo José Figueiredo Mendes
Dr^a Samantha Ariadne Alves de Freitas
Dr^a Sandra Imaculada Moreira Neto
M.Sc. Shirley Ribeiro Carvalho
Dr^a Sinara de Fátima Freire dos Santos
M.Sc. Tatiana Mendes Bacellar
Dr^a Thais Roseli Corrêa
Dr^a Thalita Karolline de Queiroz Pereira
M.Sc. Victor Crespo de Oliveira
Dr. Wellinton de Assunção
Dr. William de Jesus Ericeira Mochel Filho

Acesse www.editoranovus.com.br/corpo-editorial-2/ para conhecer os membros do Corpo Editorial

Parecer editorial e avaliação por pares

Os trabalhos que integram esta obra foram submetidos à apreciação do Conselho Editorial da Editora Novus e avaliados por pareceristas externos, por meio do sistema de revisão por pares (peer review), tendo sido considerados aptos para publicação.

Nota editorial: Trata-se de uma produção de caráter independente, na qual os direitos autorais permanecem sob a titularidade de seus respectivos autores. Eventualmente, alguns textos podem apresentar desdobramentos de pesquisas, comunicações ou trabalhos acadêmicos previamente apresentados ou defendidos, cabendo aos autores a observância rigorosa das boas práticas acadêmicas, especialmente no que se refere à prevenção do autoplágio. O conteúdo das obras é de responsabilidade exclusiva dos autores, não refletindo, necessariamente, o posicionamento da Editora Novus, dos organizadores, dos revisores ou dos membros do Conselho Editorial.

Livro dedicado a
Daniel Vinícius Neto

“A gestão ambiental é um instrumento fundamental para integrar o desenvolvimento econômico às limitações ecológicas, promovendo a sustentabilidade dos sistemas produtivos”
(VEIGA, 2010, p. 87).

VEIGA, J. E. Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI. Rio de Janeiro: Garamond, 2010.

AUTOR



O Prof. Dr. Adelcio Machado dos Santo é Gestor Ambiental (CRQ/SC 13202039) e Biólogo (CRBio/SC129463).

Doutor e Pós-Doutor em Engenharia e Gestão do Conhecimento (UFSC). Mestre em Relações Internacionais. Bacharel em Ciências Econômicas e Sociologia.

Labora nas seguintes áreas de pesquisa: Economia Política Internacional, Sociologia do Desenvolvimento, Gestão Urbana, Filosofia da Psicanálise, Constitucionalismo, Saúde Coletiva e Desenvolvimento Rural.

Ex: Reitor, coordenador de curso, vogal da Comissão Própria de Avaliação (CPA), Núcleos Docentes Estruturante (NDE) e colegiado de curso.

Integrou os Conselhos Estaduais de Educação, Cultura e Desportos em Santa Catarina.

Militou no "staff" da Assembleia Constituinte de Santa Catarina, Assembleia Legislativa de Santa Catarina, Tribunal de Contas de Santa Catarina, Secretaria de Estado da Educação e Secretaria de Estado da Fazenda.

Avaliador científico de projetos, eventos, editoras e periódicos.

Consultor do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas (INEP) e Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC).

Vogal das seguintes instituições: Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Administração (ANPAD), Conselho Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Direito (CONPEDI), Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Estudos de Lazer (ANPEL), Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Turismo (ANPTUR), Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Educação (ANPEd), Associação Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação (ANCIB), Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música (ANPPOM) e Associação Brasileira de Pesquisa e Pós-Graduação em Artes Cênicas. (ABRACE), Associação Keynesiana Brasileira (AKB).

Registrado nas seguintes organizações de controle corporativo/SC: CORECON, CREA, CRA, CRQ, CONRERP, OAB, CRBio, MT.

Por final, deu a lume a 94 livros, 165 capítulos de livros e 440 artigos científicos.

RESUMO

O estudo analisou os precípuos marcos históricos, institucionais, científicos e tecnológicos que estruturam a gestão ambiental contemporânea, evidenciando sua complexidade, interdisciplinaridade e relevância diante dos desafios socioecológicos do século XXI. Partindo das primeiras conferências internacionais e dos avanços conceituais do campo ambiental, o trabalho identificou a evolução de instrumentos normativos, políticas públicas, modelos de governança e mecanismos de participação social que moldaram a agenda global e nacional de sustentabilidade. Os capítulos centrais examinaram as interfaces entre ciência, inovação e sustentabilidade, abordando modelos analíticos, indicadores ambientais, tecnologias verdes e o papel da pesquisa aplicada na tomada de decisão. O estudo também explorou ações estratégicas em planejamento, monitoramento, controle ambiental, sistemas de gestão e licenciamento, destacando sua importância para organizações públicas e privadas. Na parte final, discutiram-se os desafios contemporâneos associados à crise climática, à erosão da biodiversidade, às transições energéticas e à necessidade de fortalecer economias regenerativas e políticas de governança ambiental policêntrica. Ademais disso, foram analisadas dinâmicas urbanas, industriais e tendências científicas emergentes que orientam novas agendas de pesquisa. As considerações finais sintetizaram a urgência de integrar ciência, política, tecnologia e participação social na construção de modelos sustentáveis, equitativos e resilientes. Conclui-se que enfrentar a crise ambiental exige transformações sistêmicas, baseadas em conhecimento qualificado, inovação, justiça socioambiental e cooperação multissetorial, estabelecendo novos paradigmas para o desenvolvimento em direção a um futuro sustentável.

Palavras-chave: Gestão ambiental; Sustentabilidade; Governança ambiental; Inovação; Políticas públicas.

ABSTRACT

This study examined the main historical, institutional, scientific, and technological milestones that shape contemporary environmental management, highlighting its complexity, interdisciplinarity, and relevance in addressing the socio-ecological challenges of the twenty-first century. Beginning with early international conferences and the conceptual evolution of the environmental field, the research identified the development of regulatory instruments, public policies, governance models, and participatory mechanisms that have influenced global and national sustainability agendas. The central chapters explored the interfaces among science, innovation, and sustainability, addressing analytical models, environmental indicators, green technologies, and the role of applied research in decision-making. The final sections discussed contemporary challenges related to the climate crisis, biodiversity loss, energy transitions, and the need to strengthen regenerative economies and polycentric environmental governance. Additionally, the study examined urban and industrial dynamics, as well as emerging scientific trends that guide new research agendas. The concluding remarks emphasize the urgency of integrating science, policy, technology, and social participation in building sustainable, equitable, and resilient models. The study concludes that confronting the environmental crisis requires systemic transformations grounded in qualified knowledge, innovation, socio-environmental justice, and multisector cooperation, establishing new paradigms for development toward a sustainable future.

Keywords: Environmental management; Sustainability; Environmental governance; Innovation; Public policies.

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

AIA - Avaliação de Impacto Ambiental

CMMAD - Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

DPSIR - Driving forces–Pressures–State–Impact–Responses (Modelo de indicadores ambientais)

EEA - União Europeia (Sigla adotada pela European Environment Agency no contexto do modelo DPSIR)

IPCC - (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, no contexto da citação de 2021)

ISO 14000 - Série de normas internacionais de Gestão Ambiental

ISO 14001 - Norma internacional para Sistemas de Gestão Ambiental

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU - Organização das Nações Unidas

PER - Pressão-Estado-Resposta (Modelo de indicadores ambientais)

PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

SGA - Sistema de Gestão Ambiental

SISNAMA - Sistema Nacional de Meio Ambiente

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	13
INTRODUÇÃO	

CAPÍTULO 2.....	16
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA GESTÃO AMBIENTAL	

2.1 CONCEITOS BÁSICOS DE MEIO AMBIENTE	18
2.2 EVOLUÇÃO DO PENSAMENTO AMBIENTAL.....	19
2.3 PRINCÍPIOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS DE GESTÃO AMBIENTAL...	20
2.4 A INTERDISCIPLINARIDADE COMO BASE DA GESTÃO AMBIENTAL	22

CAPÍTULO 3.....	24
CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA E SOCIOPOLÍTICA	

3.1 AS PRIMEIRAS AÇÕES E CONFERÊNCIAS AMBIENTAIS.....	26
3.2 A CONSOLIDAÇÃO DAS POLÍTICAS GLOBAIS DE SUSTENTABILIDADE 27	
3.3 MARCOS DA GESTÃO AMBIENTAL NO BRASIL.....	29
3.4 LEGISLAÇÃO, POLÍTICAS PÚBLICAS E INSTITUIÇÕES REGULADORAS...	30

CAPÍTULO 4	32
CIÊNCIA APLICADA NA GESTÃO AMBIENTAL	

4.1 INTERFACES ENTRE CIÊNCIA, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE.....	34
4.2 MODELOS ANALÍTICOS E INDICADORES AMBIENTAIS	35
4.3 TECNOLOGIAS VERDES E SOLUÇÕES INOVADORAS.....	37
4.4 PESQUISA APLICADA COMO FERRAMENTA DE TOMADA DE DECISÃO	38

CAPÍTULO 5.....	41
AÇÕES ESTRATÉGICAS NA GESTÃO AMBIENTAL	

5.1 PLANEJAMENTO, MONITORAMENTO E CONTROLE AMBIENTAL.....	43
5.2 SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL (SGA) E ISO 14001.....	45
5.3 LICENCIAMENTO, AVALIAÇÃO DE IMPACTO E RELATÓRIOS AMBIENTAIS	47
5.4 EDUCAÇÃO AMBIENTAL E RESPONSABILIDADE SOCIAL CORPORATIVA.....	48

CAPÍTULO 6.....	51
DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS E PERSPECTIVAS FUTURAS	
6.1 CRISE CLIMÁTICA, BIODIVERSIDADE E ECONOMIA REGENERATIVA	53
6.2 GOVERNANÇA AMBIENTAL E ARTICULAÇÃO ENTRE ATORES SOCIAIS.....	56
6.3 GESTÃO AMBIENTAL EM AMBIENTES URBANOS E INDUSTRIAIS.....	58
6.4 TENDÊNCIAS CIENTÍFICAS E FUTURAS AGENDAS DE PESQUISA	60
 CAPÍTULO 7.....	 63
CONSIDERAÇÕES FINAIS	
REFERÊNCIAS	69



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO



Nas últimas décadas, a problemática ambiental consolidou-se como eixo estruturante das discussões globais acerca de desenvolvimento econômico, justiça social, inovação tecnológica e governança institucional. Se inicialmente a temática ambiental era tratada sob uma perspectiva conservacionista restrita à preservação de recursos naturais, hoje ela assume dimensões complexas e interdisciplinares, envolvendo dinâmicas ecológicas, políticas públicas, processos produtivos, modelos econômicos e comportamentos socioculturais. Nesse contexto, a gestão ambiental emerge como campo estratégico capaz de articular conhecimento científico, instrumentos normativos e práticas aplicadas à mitigação, controle e prevenção de impactos ambientais, inserindo-se como elemento indispensável à construção de sociedades sustentáveis, resilientes e éticas em relação ao planeta.

A expansão da gestão ambiental decorre, em grande medida, do avanço de estudos científicos que evidenciam a degradação causada por padrões de exploração baseados no crescimento ilimitado, na conversão de ecossistemas e na emissão de poluentes em escala industrial. A intensificação de eventos climáticos extremos, a perda acelerada de biodiversidade e a pressão sobre recursos hídricos demonstram que os impactos ambientais extrapolam fronteiras geográficas, exigindo ações integradas entre governos, empresas e sociedade civil. Tais fenômenos reforçam a necessidade de abordagens inovadoras que conciliem desenvolvimento econômico e responsabilidade socioambiental, estabelecendo uma agenda que priorize o equilíbrio ecológico sem comprometer a qualidade de vida das gerações futuras.

No Brasil, a gestão ambiental ganhou relevância institucional com marcos como a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981), a criação do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e a Constituição Federal de 1988, que estabeleceu o meio ambiente ecologicamente equilibrado como direito de todos e dever do Estado e da coletividade. A partir desses referenciais, expandiram-se instrumentos como o licenciamento ambiental, a avaliação de impactos, o zoneamento ecológico e a implementação de Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) em organizações públicas e privadas. Contudo, embora tais avanços sejam significativos, persistem desafios relacionados à fiscalização, desigualdades socioambientais, mecanismos de governança e articulação entre ciência e políticas públicas.

Esta monografia busca desenvolver um panorama crítico e teórico sobre os fundamentos epistemológicos e práticos da gestão ambiental, compreendendo-a como campo de interface científica, tecnológica e sociopolítica. Trata-se de um estudo de caráter qualitativo, fundamentado em revisão bibliográfica, que analisa contribuições de autores nacionais e internacionais, documentos regulatórios, pesquisas científicas e produções acadêmicas vinculadas à sustentabilidade e às políticas ambientais contemporâneas.

Como ponto central, a pesquisa parte do pressuposto de que a gestão ambiental não é apenas um conjunto de técnicas administrativas, mas um campo científico aplicado que se desenvolve por meio de modelos analíticos, tecnologias de monitoramento, indicadores ecológicos, métodos de avaliação e práticas institucionais capazes de transformar realidades socioambientais. Além disso, considera-se que a ciência aplicada desempenha papel essencial para orientar decisões técnicas, subsidiar políticas públicas e promover soluções inovadoras que relacionem ecologia, economia e sociedade.

O problema que orienta este estudo consiste em compreender como a gestão ambiental se estrutura como campo interdisciplinar e aplicado, evidenciando seus fundamentos teóricos, suas bases históricas e suas interfaces com a ciência, tecnologia e políticas públicas. O objetivo geral é analisar os principais elementos constitutivos da gestão ambiental como ciência aplicada, discutindo suas práticas, instrumentos e desafios contemporâneos. Como objetivos específicos, pretende-se: (a) apresentar os conceitos, princípios e evolução histórica da gestão ambiental; (b) analisar a relação entre ciência aplicada, indicadores ambientais e processos decisórios; (c) discutir ações estratégicas na gestão ambiental com foco em instrumentos de planejamento e regulação; e (d) refletir sobre desafios e perspectivas futuras no cenário global e brasileiro.

No aspecto metodológico, será realizada revisão bibliográfica sistematizada a partir de fontes acadêmicas, marcos legais e relatórios institucionais, garantindo fundamentação científica, rigor conceitual e amplitude teórica. A estrutura do trabalho organiza-se em cinco capítulos, contemplando aspectos conceituais, históricos, científicos, estratégicos e prospectivos, culminando em considerações finais que sintetizam a contribuição do estudo para o campo da gestão ambiental.

Assim, espera-se que esta pesquisa contribua para o aprofundamento do debate científico sobre sustentabilidade, oferecendo uma análise consistente sobre a importância da gestão ambiental como campo emergente e indispensável à construção de sociedades mais equilibradas, conscientes e comprometidas com o futuro planetário



CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA GESTÃO AMBIENTAL



A gestão ambiental constitui-se como um campo interdisciplinar que integra princípios ecológicos, sociais, políticos, econômicos e tecnológicos, orientando práticas voltadas à conservação dos recursos naturais e à mitigação dos impactos gerados pelas atividades humanas. Embora suas bases conceituais sejam relativamente recentes quando comparadas a outras áreas das ciências aplicadas, a gestão ambiental nasce de um processo histórico que envolve avanços científicos, mudanças culturais e transformações econômicas associadas à compreensão de que o meio ambiente não pode ser tratado como recurso inesgotável, tampouco como variável marginal nos processos produtivos. Assim, sua fundamentação teórica apoia-se na articulação entre sustentabilidade, responsabilidade socioambiental, governança pública e privada, legislação ambiental e instrumentos de planejamento que permitem tanto o diagnóstico quanto o monitoramento de cenários ecológicos.

A construção desse campo teórico reflete a evolução do pensamento ambiental ao longo dos séculos XX e XXI, período marcado por transições paradigmáticas que migraram de uma visão antropocêntrica e exploratória para perspectivas sistêmicas, complexas e orientadas à preservação. Inicialmente, os discursos ambientais surgiam de movimentos preservacionistas e conservacionistas, ligados à proteção de ecossistemas naturais e ao controle de processos devastadores, como desmatamentos e caça predatória. Com o avanço científico e a consolidação da ecologia como ciência, emergiram abordagens que reconhecem o meio ambiente como um conjunto interdependente de fatores bióticos e abióticos, afetado diretamente pelas dinâmicas sociais e econômicas. Essa nova compreensão abriu espaço para o desenvolvimento de modelos de gestão orientados por indicadores ambientais, tecnologias limpas, sistemas normativos e práticas empresariais sustentáveis.

No contexto teórico, a gestão ambiental apoia-se em fundamentos que incluem os conceitos de desenvolvimento sustentável, prevenção e precaução, responsabilidade compartilhada, justiça ambiental, eficiência no uso de recursos e integração entre setores governamentais e privados. Esses princípios orientam políticas públicas, certificações, procedimentos legais e ferramentas de análise que permitem mensurar impactos ambientais, estabelecer metas e estruturar ações de curto, médio e longo prazo. Além disso, consolidam a gestão ambiental como campo que ultrapassa o discurso ecológico e se insere no planejamento econômico e social, influenciando a formulação de estratégias corporativas, arranjos institucionais e modelos de governança.

Do ponto de vista metodológico, a gestão ambiental consolida-se como ciência aplicada, pois se fundamenta em processos investigativos, indicadores mensuráveis, uso de bases de dados e sistematização de evidências científicas que subsidiam tomadas de decisão. A implementação de Sistemas de Gestão Ambiental (SGA), a avaliação de ciclo de vida, o licenciamento ambiental, a análise de riscos, a gestão de resíduos e a avaliação de impacto ambiental demonstram a dimensão operacional desse campo, articulando teoria e prática em contextos públicos, privados e comunitários.

Este capítulo tem como objetivo apresentar os fundamentos teóricos que sustentam a gestão ambiental, servindo como eixo estruturador para os tópicos seguintes. Ao longo da discussão, serão abordados os principais conceitos, a evolução histórica do pensamento ambiental, os princípios orientadores desse campo e os marcos legais e institucionais que configuram sua aplicação. Assim,

busca-se fornecer uma compreensão ampla e introdutória que permita o aprofundamento analítico nas seções subsequentes, consolidando o papel da gestão ambiental como área estratégica para o desenvolvimento sustentável contemporâneo.

2.1 CONCEITOS BÁSICOS DE MEIO AMBIENTE

A compreensão do meio ambiente enquanto categoria científica e sociopolítica resulta de um processo histórico de construção conceitual que acompanha a evolução das ciências naturais, das políticas de conservação e das transformações socioeconômicas que marcaram os séculos XX e XXI. Inicialmente restrito à esfera biológica e associado à preservação de espaços naturais, o conceito ampliou-se gradualmente, incorporando dimensões humanas, culturais, econômicas e tecnológicas. Assim, o meio ambiente passa a ser concebido não apenas como o espaço físico onde a vida se desenvolve, mas como um sistema complexo composto por interações entre fatores bióticos, abióticos e sociais.

A definição clássica proposta por Odum (1971) descreve o meio ambiente como “o conjunto de fatores físicos, químicos e biológicos que atuam sobre os organismos e determinam sua forma de sobrevivência” (Odum, 1971). Essa formulação, vinculada ao paradigma ecológico, consolidou bases científicas para a compreensão sistêmica dos ecossistemas, evidenciando que o ambiente não pode ser analisado de forma fragmentada. A ecologia, ao emergir como campo interdisciplinar, introduziu a noção de interdependência entre organismos e ambiente, superando concepções reducionistas que dissociavam natureza e sociedade.

À medida que a industrialização, a urbanização e a exploração intensiva dos recursos naturais geraram crises ambientais globais, novos enfoques passaram a incorporar a dimensão humana na construção conceitual do meio ambiente. Para Sachs (2009), o meio ambiente deve ser compreendido como uma totalidade que articula processos ecológicos e estruturas sociais, considerando que desequilíbrios ambientais decorrem diretamente dos modelos econômicos de produção e consumo (Sachs, 2009). Essa perspectiva vincula o meio ambiente ao debate sobre justiça social, desigualdade e sustentabilidade, indicando que problemas ambientais não podem ser dissociados de suas causas socioeconômicas.

No âmbito jurídico brasileiro, a definição legal consagrada pela Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) estabelece o meio ambiente como “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas” (Brasil, 1981). Ao incluir elementos normativos, essa formulação reconhece o meio ambiente como objeto de regulação pública, aproximando ciência, política e gestão. Trata-se de uma visão estruturante para instrumentos de governança como licenciamento ambiental, zoneamento ecológico e gestão de recursos naturais.

A produção intelectual contemporânea aprofunda esse debate ao ressaltar que o meio ambiente opera em múltiplas escalas interconectadas, desde ecossistemas locais até sistemas globais de circulação atmosférica e fluxos econômicos internacionais. Segundo Leff (2016), a crise ambiental reflete uma crise de racionalidade civilizatória, demandando paradigmas que integrem ciência, cultura e política em uma nova ética de desenvolvimento (Leff, 2016). Morin (2005)

reforça esse entendimento ao argumentar que o meio ambiente deve ser analisado a partir do pensamento complexo, dado que envolve sistemas naturais interagindo com sistemas tecnológicos e socioculturais (MOrin, 2005). Assim, não se trata apenas de um conceito descritivo, mas de uma categoria analítica capaz de orientar transformações estruturais.

As transformações do conceito também resultam da inserção da temática ambiental em agendas internacionais, como a Conferência de Estocolmo (1972), a Rio-92 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (2015), que consolidaram visões integradas de sustentabilidade, governança e desenvolvimento humano. Tais debates reforçam a necessidade de compreender o meio ambiente como sistema complexo sujeito a pressões antrópicas, cuja gestão exige conhecimentos científicos aplicados, indicadores ambientais e modelos de tomada de decisão baseados em evidências.

Dessa forma, como observado, os conceitos básicos de meio ambiente constituem a base teórica da gestão ambiental, subsidiando políticas públicas, ferramentas de planejamento, certificações técnicas e práticas empresariais. É possível transcender de uma visão meramente naturalista, compreendendo o meio ambiente ganha centralidade como categoria estratégica na construção de sociedades sustentáveis, articulando ciência, economia, política e cultura. Ele se apresenta, portanto, como conceito multidimensional e dinâmico, cuja compreensão exige interdisciplinaridade, sistemicidade e abordagem crítica.

2.2 EVOLUÇÃO DO PENSAMENTO AMBIENTAL

A evolução do pensamento ambiental constitui um processo histórico marcado por transformações conceituais profundas, refletindo mudanças nas relações entre sociedade, economia e natureza. Embora preocupações com o equilíbrio ecológico estejam presentes desde civilizações antigas, como práticas agrícolas sustentáveis na Mesopotâmia e manejo florestal em comunidades asiáticas, o pensamento ambiental enquanto campo sistematizado emergiu apenas no século XIX, impulsionado pela consolidação da ecologia, pelo avanço da ciência moderna e pelo impacto socioeconômico da Revolução Industrial. Segundo McCormick (1992), o movimento ambiental moderno nasce da convergência entre ciência, política e reivindicações sociais, em resposta aos efeitos cumulativos da degradação ambiental e do crescimento industrial (McCormick, 1992).

No início do século XX, as primeiras correntes ambientais organizadas surgiram sob perspectivas conservacionistas e preservacionistas. O preservacionismo, associado a autores como John Muir, defendia a proteção integral de ecossistemas naturais com base em valores estéticos e éticos; já o conservacionismo, apoiado por Gifford Pinchot, propunha o uso racional dos recursos naturais orientado pelo interesse público. Essas abordagens influenciaram políticas pioneiras, como a criação de parques nacionais nos Estados Unidos e o fortalecimento da biologia da conservação como disciplina científica.

Com o desenvolvimento da ecologia, especialmente a partir dos trabalhos de Odum (1971), consolidou-se uma visão sistêmica da natureza, caracterizada pela interdependência entre fatores bióticos e abióticos. Odum afirma que os ecossistemas constituem “unidades funcionais formadas por organismos e pelo ambiente físico com o qual interagem” (Odum, 1971), estabelecendo fundamen-

tos científicos para a gestão ambiental. Essa perspectiva marcou a transição de uma visão fragmentada para uma compreensão holística do ambiente, alinhada ao pensamento sistêmico.

A eclosão da crise ambiental global na segunda metade do século XX, evidenciada por acidentes petroquímicos, poluição industrial e esgotamento de recursos, intensificou a mobilização social e política. O marco institucional mais relevante deste período foi a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo em 1972, que inaugurou o debate ambiental na agenda internacional e estabeleceu bases para políticas globais de sustentabilidade. De acordo com Carson (1962), cuja obra “*Silent Spring*” denunciou os impactos dos pesticidas na vida silvestre, a degradação ambiental resulta de um modelo científico-tecnológico dissociado de valores éticos e ecológicos, exigindo ruptura paradigmática.

Nos anos 1980 e 1990, o pensamento ambiental incorporou dimensões socioeconômicas e políticas. O Relatório Brundtland, publicado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1987, introduziu o conceito de desenvolvimento sustentável, definido como aquele que atende às necessidades presentes sem comprometer a capacidade das futuras gerações. Conforme o documento afirma, “não se pode separar meio ambiente e desenvolvimento; eles são interdependentes” (CMMAD, 1987). Esse marco intensificou pesquisas sobre governança ambiental, equidade social e planejamento sustentável.

A Rio-92 consolidou a perspectiva global e multissetorial da sustentabilidade, resultando em instrumentos como a Agenda 21, a Convenção da Biodiversidade e o aquecimento do debate sobre mudanças climáticas, culminando posteriormente no Protocolo de Kyoto (1997) e no Acordo de Paris (2015). Autores como Sachs (2009) reforçam que o pensamento ambiental contemporâneo integra dimensões econômicas, culturais e políticas, constituindo uma agenda civilizatória. Leff (2016) argumenta que a questão ambiental transcende as ciências naturais, demandando uma “epistemologia ambiental” capaz de articular racionalidade ecológica e justiça social (Leff, 2016).

Na contemporaneidade, o pensamento ambiental evolui ainda mais ao incorporar tecnologias emergentes, inteligência territorial, economias regenerativas, bioeconomia e governança climática global. Morin (2005) propõe que os desafios ambientais impõem uma mudança de paradigma intelectual, pautada no pensamento complexo, dada a inseparabilidade entre ambiente, técnica e sociedade (Morin, 2005). Assim, o pensamento ambiental atual não apenas interpreta a realidade ecológica, mas orienta transformações estruturais no modelo de desenvolvimento.

2.3 PRINCÍPIOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS DE GESTÃO AMBIENTAL

Os princípios nacionais e internacionais de gestão ambiental constituem a base normativa, ética e operacional que orienta as ações voltadas à proteção dos recursos naturais em escala global, regional e local. Esses princípios emergem de convenções multilaterais, legislações nacionais, acordos internacionais, recomendações científicas e práticas de desenvolvimento sustentável adotadas por diferentes setores sociais. No cenário internacional, a consolidação de princípios

ambientais está diretamente relacionada à ascensão do debate global sobre sustentabilidade, intensificado a partir da segunda metade do século XX, quando a comunidade científica passou a alertar para os limites planetários e os riscos associados ao crescimento econômico desordenado. A Conferência de Estocolmo, realizada em 1972, é um marco fundacional, pois introduziu a responsabilidade dos Estados e da sociedade internacional na proteção do meio ambiente como requisito para o desenvolvimento humano, estabelecendo diretrizes para políticas ambientais nacionais e transnacionais (ONU, 1972). Esse processo foi aprofundado pela Comissão Brundtland, cujo relatório “Nosso Futuro Comum” consolidou o conceito de desenvolvimento sustentável como forma de suprir necessidades presentes sem comprometer as gerações futuras (CMMAD, 1987).

Posteriormente, a Conferência Rio-92 ampliou o arcabouço de governança ambiental ao incorporar instrumentos regulatórios e diretrizes políticas, como Agenda 21, Convenção da Biodiversidade e Convenção do Clima, além de reforçar a responsabilidade comum, porém diferenciada entre países industrializados e em desenvolvimento (ONU, 1992). Esse princípio tornou-se estruturante ao reconhecer que as nações possuem obrigações compartilhadas, mas assimétricas, considerando desigualdades históricas de impacto e capacidade de mitigação. Nas décadas seguintes, novas conferências fortaleceram acordos operacionais, entre eles o Protocolo de Quioto (1997), voltado à redução de emissões de gases de efeito estufa por países desenvolvidos, e o Acordo de Paris (2015), que estabeleceu metas globais para contenção do aquecimento climático abaixo de 2°C, com compromissos nacionais voluntários e mecanismos de monitoramento baseados em cooperação científica e tecnológica (IPCC, 2021; ONU, 2015).

No contexto brasileiro, os princípios da gestão ambiental derivam majoritariamente da Constituição Federal de 1988, que institui o meio ambiente como direito fundamental e estabelece responsabilidade do poder público e da coletividade para sua proteção, além de prever instrumentos legais como zonas de proteção, licenciamento ambiental e responsabilização por danos ambientais (Brasil, 1988). A Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) reforça bases estruturantes da gestão pública e institucionaliza instrumentos como Avaliação de Impacto Ambiental, Zoneamento Ambiental e padrões de qualidade, orientando práticas governamentais e empresariais. Paralelamente, a Lei nº 12.305/2010, responsável pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, introduz o princípio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida de produtos, evidenciando a transição de um modelo linear para uma lógica de economia circular, baseada em prevenção, redução e reutilização (Brasil, 2010).

No campo da governança corporativa, normas técnicas e certificações internacionais desempenham papel estratégico ao operacionalizar práticas e critérios ambientais no setor privado. A série ISO 14000, especialmente a ISO 14001, padroniza requisitos para Sistemas de Gestão Ambiental, promovendo monitoramento de impactos, conformidade legal e melhoria contínua, sendo amplamente adotada por organizações que buscam mitigar riscos e aumentar competitividade sustentável (ISO, 2021). Esse marco normativo integra abordagens contemporâneas baseadas em eficiência ecológica, mensuração de emissões, contabilidade ambiental e eco-inovação, articulando ciência aplicada, políticas públicas e estratégias empresariais.

A consolidação desses princípios demonstra que a gestão ambiental se estrutura em múltiplos níveis, unindo compromissos globais, políticas nacionais e

mecanismos técnicos que traduzem diretrizes em ações concretas. Assim, torna-se evidente que os princípios ambientais não atuam apenas como referenciais éticos, mas como engrenagens normativas essenciais para a construção de sociedades sustentáveis e para a mediação entre progresso econômico e conservação ecossistêmica.

2.4 A INTERDISCIPLINARIDADE COMO BASE DA GESTÃO AMBIENTAL

A interdisciplinaridade configura-se como elemento estruturante da gestão ambiental, uma vez que os problemas ecológicos contemporâneos transcendem fronteiras disciplinares e exigem abordagens integradas que articulem saberes científicos, tecnológicos, sociais, econômicos, filosóficos e culturais. Nesse sentido, a gestão ambiental não se limita à aplicação de conceitos ecológicos, mas fundamenta-se na convergência de diferentes campos do conhecimento capazes de compreender, prever e mitigar impactos ambientais em contextos complexos. A concepção interdisciplinar emerge como resposta à insuficiência dos modelos científicos tradicionais, baseados na fragmentação epistemológica típica do paradigma cartesiano, que priorizava a especialização e a separação entre natureza e sociedade. Segundo Morin (2000), a construção de conhecimento numa perspectiva da complexidade exige o reconhecimento das interações dinâmicas entre os sistemas naturais e sociais, rompendo com reducionismos metodológicos que dificultam a compreensão integral de fenômenos ambientais.

A origem dessa abordagem aplicada ao meio ambiente pode ser associada ao desenvolvimento da ecologia como ciência e à ascensão dos paradigmas sistêmicos no século XX, particularmente após os alertas científicos que destacaram os limites ecológicos ao crescimento econômico, como o relatório do Clube de Roma, “The Limits to Growth” (Meadows et al., 1972). A partir desse marco, consolidou-se a ideia de que crises ambientais não podem ser compreendidas isoladamente, pois dependem de processos econômicos, culturais, tecnológicos e políticos que estruturam comportamentos sociais e padrões de consumo. Nesse contexto, a interdisciplinaridade tornou-se condição epistemológica essencial para o desenvolvimento sustentável, como reforçado pela Comissão Brundtland ao afirmar que a sustentabilidade deve integrar dimensões ambientais, sociais e econômicas de forma interdependente (CMMAD, 1987).

No campo aplicado, a gestão ambiental mobiliza contribuições provenientes de múltiplas áreas: da ecologia derivam análises dos ecossistemas e fluxos de energia; da economia surgem modelos de gestão eficiente de recursos e instrumentos de valoração ambiental; do direito emergem normativas e mecanismos de responsabilização; das ciências sociais derivam reflexões sobre desigualdades e justiça socioambiental; da engenharia ambiental advêm tecnologias de controle e mitigação de impactos; e da saúde pública resultam estudos sobre epidemiologia ambiental e riscos sanitários associados à poluição. A articulação desses saberes transforma a gestão ambiental em um campo híbrido e aplicado, orientado pela solução de problemas reais a partir de múltiplas perspectivas analíticas (Jacobi, 2003).

Além do diálogo entre disciplinas consolidadas, a interdisciplinaridade se expressa na emergência de áreas híbridas, como economia ecológica, engenharia

ambiental, geoprocessamento ambiental, ecologia política e governança climática. A economia ecológica, por exemplo, fundamenta-se na crítica à economia neoclássica ao reconhecer que sistemas econômicos são subsistemas do meio ambiente, sujeitos a limites biofísicos e incapazes de crescer indefinidamente sem comprometer sua base material (Daly; Farley, 2010). Já a ecologia política analisa conflitos socioambientais a partir de dinâmicas de poder, territorialidade e desigualdade, evidenciando que degradação ambiental não é apenas fenômeno biológico, mas também histórico e social (Acselrad, 2004).

A interdisciplinaridade também tem implicações metodológicas, uma vez que técnicas de análise ambiental dependem de métodos mistos, quantitativos e qualitativos, capazes de integrar indicadores ambientais, análises sistêmicas, metodologias participativas e modelagem computacional. Essa pluralidade metodológica permite construir diagnósticos robustos e políticas ambientalmente eficazes, mantendo coerência científica e legitimidade social. Segundo Leff (2010), problemas ambientais exigem processos de produção de conhecimento que integrem ciência, saberes tradicionais e práticas sociais, pois a sustentabilidade depende da construção coletiva de soluções territorializadas.

Do ponto de vista institucional, organismos internacionais como UNESCO e PNUMA vêm promovendo programas políticos e educacionais baseados na interdisciplinaridade, especialmente no contexto da educação ambiental e das agendas climáticas globais, reforçando a necessidade de cooperação entre Estados, empresas e sociedade civil (UNESCO, 2020; ONU, 2015). No Brasil, políticas como a Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999) incorporam esse princípio ao reconhecer que práticas ambientais dependem de abordagens integradas entre meio ambiente, saúde, economia, ética e cidadania (Brasil, 1999).

Destarte, pode-se afirmar que a gestão ambiental se consolida como campo científico aplicado cuja matriz epistemológica é fundamentalmente interdisciplinar. Essa característica não apenas amplia sua capacidade analítica, mas também fortalece seus instrumentos técnicos e políticos, tornando possível enfrentar desafios ambientais complexos em escala global e local. A interdisciplinaridade, portanto, configura-se não apenas como método, mas como fundamento ontológico da gestão ambiental, permitindo que ciência, tecnologia e sociedade atuem de forma articulada na construção de futuros sustentáveis.



CAPÍTULO 3

CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA E SOCIOPOLÍTICA



A trajetória da gestão ambiental está profundamente vinculada aos processos históricos, sociais e políticos que moldaram a relação entre sociedade e natureza. Ao longo dos séculos, diferentes modelos de desenvolvimento, padrões de ocupação territorial e formas de organização social influenciaram as percepções e práticas relacionadas ao meio ambiente. Nas sociedades pré-industriais, as atividades humanas estavam mais estreitamente conectadas aos ciclos naturais, caracterizando uma relação de dependência direta dos recursos ambientais para subsistência.

No entanto, com o advento da Revolução Industrial no século XVIII, houve uma ruptura significativa nesse paradigma, marcada pela intensificação do uso de energia fóssil, expansão urbana, mecanização da produção e descaracterização das relações tradicionais entre ser humano e ambiente. Esse processo inaugurou um período de pressão crescente sobre os ecossistemas, ampliando os níveis de poluição, degradação de recursos e desigualdades socioambientais, como já observava Marsh (1864) ao identificar a capacidade humana de alterar irreversivelmente a paisagem natural.

A partir do século XX, a aceleração do crescimento econômico, aliada à ideologia desenvolvimentista, intensificou impactos ambientais que passaram a ser percebidos como externalidades negativas do progresso técnico-científico. Rachel Carson, em sua obra seminal “*Silent Spring*” (1962), evidenciou os efeitos nocivos de pesticidas na fauna e na saúde humana, desencadeando um movimento ambientalista moderno que articulava ciência, opinião pública e pressão política. Esse movimento ganhou expressão global nas décadas seguintes, quando eventos como o desastre de Minamata, o derramamento de petróleo da Torrey Canyon e o acidente de Chernobyl demonstraram com clareza as vulnerabilidades socioambientais decorrentes de modelos produtivos baseados em exploração intensiva e ausência de regulação ambiental. O contexto geopolítico da Guerra Fria também influenciou os debates ambientais, pois a competição tecnológica e militar levou à produção de resíduos tóxicos, testes nucleares e degradação territorial em larga escala, revelando a dimensão política do problema ambiental.

Diante desse cenário, organismos internacionais passaram a incorporar questões ambientais em agendas multilaterais. A Conferência de Estocolmo de 1972, considerada marco inaugural da governança ambiental global, introduziu o princípio de que a proteção do meio ambiente deve ser compatível com o desenvolvimento, reforçando a necessidade de políticas públicas estruturadas e de cooperação entre nações (ONU, 1972). A partir daí, consolidou-se um quadro institucional que articula ciência, planejamento e política, com a criação de organismos como o PNUMA e comissões voltadas ao estudo das relações entre desenvolvimento e sustentabilidade, como a Comissão Brundtland, cujo relatório “*Nosso Futuro Comum*” estabeleceu bases conceituais para o desenvolvimento sustentável (CMMAD, 1987).

No contexto brasileiro, a questão ambiental ganhou relevância a partir do processo de industrialização acelerada nas décadas de 1950 e 1960, quando problemas como poluição atmosférica, contaminação hídrica e ocupação desordenada começaram a impactar centros urbanos e áreas rurais. A partir dos anos 1980, movimentos sociais, organizações ambientalistas e pesquisadores intensificaram a pressão por normas e políticas ambientais mais robustas, culminando na criação da Política Nacional do Meio Ambiente em 1981 e, posteriormente, na

inclusão do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado na Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988). Esses avanços decorreram de um contexto sociopolítico marcado pela redemocratização e pela crescente valorização da participação cidadã nos processos decisórios, incorporando o debate ambiental como dimensão intrínseca da justiça social.

No século XXI, a contextualização sociopolítica da gestão ambiental se torna ainda mais complexa, influenciada pela globalização econômica, pela intensificação das mudanças climáticas e pela emergência de novos atores sociais, como movimentos indígenas, populações tradicionais e organizações de justiça climática. A produção científica recente demonstra que problemas ambientais contemporâneos são multidimensionais e atravessados por desigualdades estruturais, sendo mais intensamente sentidos por populações vulneráveis, o que evidencia a interdependência entre ambiente, política e direitos humanos (Acsegrad, 2010). Assim, compreender a gestão ambiental em sua dimensão histórica e sociopolítica implica reconhecer que a construção de políticas sustentáveis é resultado de disputas de poder, transformações sociais e avanços científicos contínuos, que moldam tanto a percepção coletiva sobre o meio ambiente quanto os mecanismos institucionais que orientam sua proteção.

3.1 AS PRIMEIRAS AÇÕES E CONFERÊNCIAS AMBIENTAIS

As primeiras ações e conferências ambientais representam marcos fundamentais na construção da governança ambiental contemporânea, revelando a transição gradual de uma percepção fragmentada dos problemas ecológicos para uma abordagem global, articulada e politicamente estruturada. Embora preocupações com a degradação ambiental possam ser identificadas desde o século XIX, como demonstram os alertas de Marsh (1864) sobre o impacto da atividade humana nos ecossistemas, foi somente ao longo do século XX que o debate ambiental ganhou densidade institucional e se inseriu definitivamente na agenda política internacional. A crescente industrialização, aliada ao avanço tecnológico e ao intenso consumo de recursos, desencadeou crises ecológicas que se tornaram visíveis tanto pelo acúmulo de evidências científicas quanto pela pressão de movimentos sociais ambientalistas. A obra de Carson (1962) teve papel decisivo nesse processo ao revelar os riscos dos pesticidas sintéticos e ao mobilizar a opinião pública global para os impactos da modernização industrial sobre a saúde e a biodiversidade.

Nesse contexto de crescente sensibilização ambiental, diversas nações começaram a adotar medidas regulatórias visando à gestão racional de recursos naturais e ao controle da poluição. A criação da National Environmental Policy Act (NEPA) nos Estados Unidos, em 1969, instituiu uma nova abordagem de planejamento ambiental, ao exigir a elaboração de estudos de impacto ambiental como condição para aprovação de projetos potencialmente poluidores (United States, 1969). Outros países seguiram diretrizes semelhantes, estruturando órgãos de fiscalização e ampliando pesquisas científicas voltadas à compreensão dos limites ecológicos do desenvolvimento econômico. Contudo, apesar dessas iniciativas nacionais, a dimensão transfronteiriça de muitos problemas ambientais, como poluição atmosférica, degradação marinha e mudanças climáticas, evidenciou a necessidade de mecanismos internacionais de cooperação.

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo em 1972, configurou o primeiro grande fórum global dedicado exclusivamente à temática ambiental. Esse encontro representou um divisor de águas, pois institucionalizou a percepção de que os problemas ambientais não podiam ser tratados apenas no âmbito interno dos Estados, exigindo articulação multilateral baseada em princípios éticos, responsabilidades compartilhadas e estratégias de cooperação. Segundo a ONU (1972), a conferência consolidou a ideia de que o desenvolvimento econômico deveria ser conciliado com a proteção ambiental, afirmando que a qualidade de vida depende de um ambiente equilibrado e ecologicamente saudável. Além disso, Estocolmo estabeleceu o PNUMA, órgão responsável por monitorar condições ambientais mundiais e orientar políticas públicas sustentáveis.

Após Estocolmo, a agenda ambiental global expandiu-se significativamente. A década de 1980 testemunhou debates sobre limites planetários e sustentabilidade, culminando na elaboração do relatório “Nosso Futuro Comum” pela Comissão Brundtland, em 1987, no qual o conceito de desenvolvimento sustentável foi formalizado como aquele que atende às necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras (CMMAD, 1987). A partir dessa concepção, tornou-se evidente que políticas ambientais deveriam estar integradas a dimensões sociais e econômicas, reconhecendo que desigualdades, pobreza e falta de participação social afetam diretamente a capacidade dos países de implementar ações de sustentabilidade.

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, conhecida como Rio-92, aprofundou as bases definidas por Estocolmo e consolidou novos instrumentos de governança, como a Agenda 21, a Convenção da Biodiversidade, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas e a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ONU, 1992). Esses documentos ampliaram a complexidade da gestão ambiental internacional ao incorporar temas como justiça ambiental, equidade entre países, responsabilidade comum, porém diferenciada e participação social. A partir desse período, conferências periódicas, como as Conferências das Partes (COPs), passaram a definir diretrizes globais sobre mudanças climáticas e biodiversidade, demonstrando o crescente reconhecimento da emergência climática como um dos maiores desafios civilizatórios contemporâneos.

Dessa forma, as primeiras ações e conferências ambientais configuram o arcabouço institucional e conceitual que sustenta a gestão ambiental moderna. Elas demonstram que a defesa do meio ambiente é fruto de articulações históricas, políticas e científicas que, desde o século XX, buscam equilibrar crescimento econômico, justiça social e integridade ecológica, estabelecendo bases para políticas públicas nacionais e acordos internacionais que moldam a governança ambiental até os dias atuais

3.2 A CONSOLIDAÇÃO DAS POLÍTICAS GLOBAIS DE SUSTENTABILIDADE

A consolidação das políticas globais de sustentabilidade resultou de um processo histórico que se intensificou a partir do final do século XX, quando a comu-

nidade internacional passou a reconhecer que os impactos ambientais ultrapassavam fronteiras e exigiam respostas coletivas. A partir do Relatório Brundtland, publicado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, estabeleceu-se o conceito moderno de desenvolvimento sustentável, entendido como aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer as futuras gerações (WCED, 1987). Esse marco teórico inaugurou uma visão integrada que articulava dimensões sociais, econômicas e ecológicas, influenciando governos e organismos multilaterais.

Com a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Rio-92, essa perspectiva ganhou maior concretude institucional. A Agenda 21, documento central do evento, propôs diretrizes globais para a sustentabilidade, reforçando que Estados e sociedade civil deveriam assumir responsabilidades conjuntas no enfrentamento das mudanças ambientais e na promoção de políticas de desenvolvimento sustentável (ONU, 1992). Ao lado da Convenção sobre Mudanças Climáticas e da Convenção sobre Biodiversidade, a Rio-92 consolidou um sistema internacional de governança ambiental, ampliando instrumentos normativos e mecanismos de monitoramento.

A partir dos anos 2000, a crise climática ganhou protagonismo e impulsionou novos acordos internacionais. O Protocolo de Kyoto representou o primeiro compromisso com metas obrigatórias de redução de emissões para países industrializados, ainda que com limitações e assimetrias reconhecidas (UNFCCC, 1998). Estudos como os de Sachs (2007) destacam que, embora insuficiente, Kyoto inaugurou uma lógica de responsabilidade diferenciada, reconhecendo que nações industrializadas detêm maior responsabilidade histórica pelo aquecimento global.

O marco mais robusto da consolidação das políticas globais de sustentabilidade emergiu em 2015, com a aprovação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a assinatura do Acordo de Paris. Os ODS, organizados em 17 metas interdependentes, traduzem uma visão sistêmica do desenvolvimento que abrange desde erradicação da pobreza e igualdade social até proteção dos ecossistemas e ação climática (ONU, 2015). O Acordo de Paris, por sua vez, estabeleceu o compromisso internacional de limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C, incorporando praticamente todas as nações às obrigações climáticas. Para Leff (2018), esse modelo de governança representa um novo paradigma que integra ciência, política e ética ambiental, reforçando a necessidade de cooperação global.

Além das conferências e tratados, a consolidação das políticas sustentáveis também ocorreu por meio de mecanismos financeiros e institucionais. O Fundo Verde para o Clima e outras iniciativas multilaterais passaram a financiar ações de mitigação e adaptação, especialmente em países mais vulneráveis. Autores como Jacobs (2016) destacam que a expansão de instrumentos econômicos e de políticas transnacionais evidencia a maturação das instituições ambientais globais e a compreensão de que a sustentabilidade depende de uma arquitetura internacional robusta.

3.3 MARCOS DA GESTÃO AMBIENTAL NO BRASIL

A consolidação dos marcos da gestão ambiental no Brasil decorre de um processo histórico influenciado tanto por pressões internas quanto por tendências internacionais de proteção ambiental. A partir da segunda metade do século XX, o país passou a estruturar uma política ambiental mais consistente, em resposta ao acelerado crescimento econômico, à urbanização desordenada e aos impactos socioambientais decorrentes da modernização produtiva. Para Milaré (2015), o Brasil vivenciou um “amadurecimento jurídico-ambiental progressivo”, marcado pela criação de instituições, regulamentações e instrumentos destinados ao controle e à mitigação dos danos ambientais.

O primeiro grande marco normativo ocorreu em 1981, com a promulgação da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), instituída pela Lei n.º 6.938/1981, que estabeleceu princípios, objetivos e mecanismos de gestão ambiental, incluindo licenciamento, avaliação de impactos e responsabilização de agentes poluidores. Conforme Fiorillo (2019), essa legislação representou uma inovação ao articular princípios preventivos, responsabilidade objetiva e instrumentos de planejamento, constituindo a base do sistema jurídico-ambiental brasileiro. Além disso, a PNMA criou o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), estruturando a repartição de competências entre União, estados e municípios.

A Constituição Federal de 1988 consolidou outro marco fundamental ao reconhecer o meio ambiente ecologicamente equilibrado como direito de todos e dever do Estado e da coletividade (art. 225). De acordo com Benjamin (2011), o texto constitucional inaugurou o constitucionalismo ecológico no Brasil, elevando a proteção ambiental à condição de princípio estruturante da ordem jurídica e impondo ao poder público o dever de preservar e restaurar processos ecológicos essenciais. A Constituição também instituiu a obrigatoriedade de estudos de impacto ambiental e ampliou a legitimidade para a defesa do meio ambiente.

Nos anos 1990, o país avançou na institucionalização de políticas setoriais e no fortalecimento dos mecanismos de controle ambiental. A criação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), em 1989, e posteriormente do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), em 2007, reforçou a capacidade estatal de fiscalização e gestão das unidades de conservação. Paralelamente, o Brasil assumiu papel de destaque nas discussões internacionais ao sediar a Conferência Rio-92, que impulsionou a criação de políticas nacionais alinhadas aos compromissos globais, como a formulação da Agenda 21 Brasileira.

A década de 2000 foi marcada pela consolidação de instrumentos de gestão territorial e de proteção da biodiversidade. A Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), de 2000, regulamentou a criação e a administração de áreas protegidas, incorporando princípios de participação social e manejo sustentável. Para Medeiros (2006), o SNUC representou um avanço ao assegurar pluralidade de categorias de conservação e ao integrar comunidades tradicionais no processo de gestão. Também nesse período, o país aprimorou políticas voltadas ao controle do desmatamento, especialmente na Amazônia, com a implementação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), considerado um dos programas mais eficazes de redução de emissões do mundo (INPE, 2013).

Nos anos mais recentes, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), ins-

tituída pela Lei n.º 12.305/2010, tornou-se um marco significativo ao estabelecer diretrizes para gestão integrada de resíduos, logística reversa e responsabilidade compartilhada entre governo, empresas e consumidores. Estudos como os de Jacobi (2016) destacam que a PNRS introduziu um novo paradigma ao incorporar princípios de economia circular e governança participativa.

De modo geral, Benjamin (2011) compreende que a trajetória da gestão ambiental no Brasil apresenta avanços normativos, institucionais e políticos, ainda que permeados por desafios estruturais como fiscalização insuficiente, desigualdades regionais e pressão de setores econômicos. Entretanto, os marcos estabelecidos ao longo das últimas décadas constituem a base para um sistema de governança ambiental complexo, que continua a se ajustar às demandas contemporâneas de sustentabilidade e às transformações globais.

3.4 LEGISLAÇÃO, POLÍTICAS PÚBLICAS E INSTITUIÇÕES REGULADORAS

A legislação ambiental brasileira, aliada às políticas públicas e às instituições reguladoras, constitui um dos pilares centrais da gestão ambiental no país, refletindo um arcabouço jurídico robusto e continuamente aperfeiçoado ao longo das últimas décadas. Esse conjunto normativo e institucional foi moldado por transformações internas e pela incorporação de diretrizes internacionais de sustentabilidade, consolidando uma governança ambiental que busca equilibrar desenvolvimento socioeconômico e preservação dos ecossistemas. Conforme destaca Milaré (2015), a evolução do direito ambiental no Brasil demonstra um movimento de ampliação das garantias ecológicas, da participação social e do poder regulatório do Estado, respondendo à crescente complexidade dos desafios ambientais contemporâneos.

A PNMA, instituída pela Lei n.º 6.938/1981, representa o marco inaugural desse sistema ao estabelecer instrumentos essenciais, como o licenciamento ambiental, a avaliação de impactos ambientais e a responsabilização civil objetiva por danos ambientais. Fiorillo (2019) ressalta que, ao criar o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), a PNMA estruturou a descentralização da gestão ambiental, definindo as competências da União, estados e municípios e promovendo uma atuação articulada entre os diferentes níveis governamentais. O SISNAMA, por sua vez, é composto por órgãos consultivos, deliberativos e executores, garantindo suporte institucional para políticas ambientais amplas e coerentes.

A Constituição Federal de 1988 fortaleceu ainda mais esse arcabouço ao conferir status constitucional ao direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, estabelecido no art. 225. Para Benjamin (2011), esse dispositivo inaugurou uma nova perspectiva jurídica, impondo ao poder público e à coletividade o dever de defender e preservar o meio ambiente para as presentes e futuras gerações. A Constituição também consolidou princípios como o desenvolvimento sustentável, a prevenção e a participação popular, além de institucionalizar instrumentos como o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

Nas décadas seguintes, diversas leis complementares ampliaram e detalharam o espectro da política ambiental brasileira. O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), instituído pela Lei n.º 9.985/2000, organizou a gestão

das áreas protegidas e introduziu categorias com diferentes graus de restrição e uso sustentável. Medeiros (2006) avalia que o SNUC representou um avanço significativo, especialmente ao incorporar comunidades tradicionais e populações locais nos processos decisórios. Outro marco relevante é a Lei de Crimes Ambientais (n.º 9.605/1998), que sistematizou infrações e penalidades, fortalecendo os mecanismos de responsabilização e fiscalização.

No campo das políticas públicas, iniciativas como o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituído pela Lei n.º 12.187/2009, e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), de 2010, consolidaram instrumentos para enfrentamento de problemas estruturais, como emissões de gases de efeito estufa, destinação inadequada de resíduos e expansão desordenada das cidades. Jacobi (2016) destaca que a PNRS introduziu novos paradigmas ao enfatizar a responsabilidade compartilhada, a logística reversa e a gestão integrada de resíduos, aproximando o país de experiências internacionais de economia circular.

As instituições reguladoras desempenham papel crucial nesse cenário. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), criado em 1989, atua na fiscalização, controle e execução de políticas ambientais de âmbito federal, especialmente em temas que extrapolam as competências estaduais. Já o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), criado em 2007, é responsável pela gestão das unidades de conservação federais. Além desses, órgãos colegiados como o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) exercem função normativa e deliberativa, produzindo resoluções técnicas que orientam práticas de gestão e padrões de qualidade ambiental. Para Leme (2018), esses órgãos compõem uma arquitetura institucional complexa, cuja eficácia depende da articulação intergovernamental e da estabilidade das políticas públicas.



CAPÍTULO 4

CIÊNCIA APLICADA NA GESTÃO AMBIENTAL



A ciência aplicada desempenha papel central no desenvolvimento e no aprimoramento da gestão ambiental contemporânea, constituindo-se como um campo interdisciplinar orientado à resolução de problemas concretos relacionados à sustentabilidade, à proteção dos ecossistemas e ao uso racional dos recursos naturais. Para Leff (2001), o avanço das ciências ambientais reflete a necessidade de integrar diferentes áreas do conhecimento — como ecologia, geografia, engenharia, economia e sociologia — diante da complexidade das dinâmicas ambientais e das múltiplas pressões exercidas sobre os sistemas naturais. Essa integração possibilita o desenvolvimento de métodos, técnicas e ferramentas científicas que orientam políticas públicas, práticas de gestão e processos decisórios em organizações públicas e privadas.

A partir das últimas décadas do século XX, a ciência ambiental passou por um processo de consolidação como campo aplicado, em resposta ao aumento da degradação ambiental e à urgência de soluções baseadas em evidências. Como observa Barbieri (2020), a gestão ambiental fundamentada na ciência permite tanto diagnosticar impactos quanto prever cenários e avaliar a eficácia de ações mitigadoras e adaptativas. Nesse sentido, ferramentas como modelagem ecológica, geotecnologias, indicadores de sustentabilidade e análises de ciclo de vida consolidaram-se como instrumentos indispensáveis para apoiar decisões técnicas e estratégicas. Além disso, estudos como os de Folke et al. (2016) demonstram que sistemas socioecológicos demandam abordagens científicas capazes de considerar interações complexas, feedbacks e incertezas, ampliando o escopo tradicional da ciência ambiental.

O desenvolvimento científico aplicado também impulsiona a inovação tecnológica voltada à conservação ambiental. Tecnologias de sensoriamento remoto, sistemas de monitoramento em tempo real, biotecnologias e soluções baseadas na natureza passaram a compor o repertório de práticas modernas de gestão, permitindo respostas mais eficientes e precisas aos desafios ambientais. Segundo Sachs (2015), a ciência orientada para o desenvolvimento sustentável contribui não apenas para o avanço técnico, mas para a formulação de políticas que promovam equilíbrio entre crescimento econômico, equidade social e integridade ecológica. Tal perspectiva reforça o papel da ciência como mediadora entre conhecimento e ação, articulando evidências científicas e decisões governamentais.

Ademais, a ciência aplicada atua como fundamento para a normatização e regulamentação ambiental, oferecendo subsídios para a elaboração de padrões de qualidade, limites de emissão e critérios de avaliação ambiental. Fiorillo (2019) destaca que boa parte das resoluções e instrumentos jurídicos que compõem o arcabouço normativo brasileiro deriva de estudos técnicos, peritos e instituições de pesquisa, demonstrando a sinergia entre ciência e regulação. Essa relação evidencia que a eficácia das políticas públicas depende da contínua atualização científica, bem como da incorporação de novos conhecimentos sobre mudanças climáticas, perda de biodiversidade e riscos socioambientais.

Entende-se então que a ciência aplicada na gestão ambiental reafirma a necessidade de abordagens participativas e colaborativas, envolvendo comunidades, gestores, pesquisadores e organismos internacionais na construção de soluções sustentáveis. A literatura recente, como destaca Ostrom (2009), aponta que a governança ambiental se fortalece quando integra conhecimento local e científico, promovendo ações mais contextualizadas e eficazes. Dessa forma, a ci-

ência aplicada configura-se como eixo estruturante para compreender, planejar e intervir nos sistemas ambientais, constituindo o alicerce conceitual e metodológico para os demais subcapítulos que compõem este trabalho.

4.1 INTERFACES ENTRE CIÊNCIA, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE

As interfaces entre ciência, inovação e sustentabilidade constituem um campo dinâmico e estratégico dentro da gestão ambiental contemporânea, pois articulam produção de conhecimento, desenvolvimento tecnológico e implementação de soluções orientadas à transição para sociedades mais equilibradas ecologicamente. A ciência, compreendida como base epistemológica do entendimento dos sistemas naturais e antrópicos, fornece o substrato conceitual e metodológico necessário para diagnosticar problemas ambientais, prever cenários futuros e fundamentar decisões políticas e empresariais. Como enfatiza Leff (2001), a sustentabilidade emerge de um novo paradigma de racionalidade ambiental que exige integração entre saberes e práticas, superando modelos tradicionais de desenvolvimento que privilegiavam apenas o crescimento econômico.

A inovação, por sua vez, desempenha papel crucial como instrumento de transformação de sistemas produtivos e sociais. Para Schumpeter (1982), o processo inovador constitui a força motriz da mudança estrutural nas economias, e, no contexto ambiental, essa mudança ganha nova direção ao priorizar tecnologias limpas, eficiência energética, gestão de resíduos, economia circular e soluções baseadas na natureza. Estudos recentes, como os de Geels (2011), demonstram que a transição socioecológica depende de inovações de ruptura que alterem padrões tecnológicos e institucionais, desafiando práticas convencionais e promovendo novos modelos de produção e consumo alinhados à sustentabilidade.

A convergência entre ciência e inovação produz um ambiente propício ao desenvolvimento de instrumentos avançados para a gestão ambiental, como sistemas de monitoramento geoespacial, análises de ciclo de vida, modelagens climáticas e biotecnologias para recuperação de áreas degradadas. Tais recursos ampliam a capacidade de resposta a desafios globais, entre eles mudanças climáticas, perda de biodiversidade e escassez de recursos hídricos. Sachs (2015) argumenta que a sustentabilidade, enquanto diretriz estratégica, orienta a ciência a buscar soluções aplicadas e socialmente inclusivas, rompendo com a dicotomia entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental.

Nesse cenário, a inovação sustentável não se limita à dimensão tecnológica, mas incorpora elementos sociais, institucionais e culturais. A literatura sobre transições sustentáveis indica que mudanças profundas exigem não apenas novos artefatos tecnológicos, mas também transformações nas políticas públicas, na regulação e nas práticas sociais (Geels, 2011). A ciência contribui com diagnósticos técnicos; a inovação, com meios operacionais; e a sustentabilidade, com os critérios normativos e éticos que orientam a direção dessas mudanças. Assim, as interfaces entre esses três domínios configuram um processo coevolutivo, em que cada esfera influencia e é influenciada pelas demais.

Além disso, a interação entre ciência e inovação reforça a importância da interdisciplinaridade. Conforme destaca Morin (2000), a complexidade dos pro-

blemas ambientais requer abordagens que articulem dimensões ecológicas, econômicas e sociais, ampliando o campo analítico e permitindo respostas mais contextualizadas e integradas. A sustentabilidade, nesse sentido, funciona como eixo articulador de múltiplos saberes, orientando tanto a pesquisa científica quanto o desenvolvimento tecnológico para resultados que promovam manutenção da vida e justiça intergeracional.

Outro elemento central é o papel das políticas públicas na promoção dessas interfaces. Instrumentos como incentivos à pesquisa e desenvolvimento (P&D), marcos regulatórios, fundos de financiamento climático e estratégias nacionais de inovação moldam o ambiente institucional necessário para integrar ciência e sustentabilidade. Fiorillo (2019) observa que regulamentações ambientais baseadas em evidências científicas elevam padrões de qualidade e estimulam tecnologias mais limpas, demonstrando como a regulação pode atuar como indutora de inovação sustentável.

Observa-se então que a consolidação das interfaces entre ciência, inovação e sustentabilidade depende da participação social e da incorporação de conhecimentos tradicionais e comunitários, conforme argumenta Ostrom (2009). A governança ambiental colaborativa amplia a legitimidade e a eficácia das soluções inovadoras, fortalecendo redes de cooperação entre pesquisadores, gestores, empresas e populações locais. Assim, essas interfaces representam um campo estratégico para enfrentar os desafios ambientais globais e construir caminhos sustentáveis de desenvolvimento, consolidando uma abordagem que combina rigor científico, criatividade tecnológica e compromisso ético com a proteção do planeta.

4.2 MODELOS ANALÍTICOS E INDICADORES AMBIENTAIS

Os modelos analíticos e os indicadores ambientais constituem ferramentas essenciais para a compreensão, monitoramento e gestão dos sistemas socioecológicos, permitindo avaliar tendências, identificar riscos, subsidiar políticas públicas e orientar estratégias empresariais. A crescente complexidade dos problemas ambientais — como mudanças climáticas, perda de biodiversidade, degradação de solos e contaminação de recursos hídricos — exige instrumentos capazes de traduzir fenômenos complexos em métricas compreensíveis e operacionalizáveis. Barbieri (2020) destaca que os indicadores são fundamentais para o processo de tomada de decisão, pois sintetizam informações relevantes e possibilitam comparações temporais e espaciais, além de contribuírem para a transparência e para o planejamento de ações mitigadoras ou de adaptação.

Historicamente, o desenvolvimento de modelos analíticos ambientais acompanhou a evolução do pensamento ecológico e da ciência dos sistemas. Desde os primeiros modelos de dinâmica populacional elaborados por Lotka e Volterra (*apud* Odum, 1988) até os sofisticados modelos climáticos contemporâneos, observa-se um processo de crescente refinamento metodológico, baseado na integração de dados, na simulação computacional e em abordagens interdisciplinares. Odum (1988) sustenta que os sistemas ecológicos devem ser compreendidos como redes interdependentes de energia e matéria, o que demanda modelos capazes de representar fluxos, retroalimentações e processos de resiliência. Essa perspectiva sistêmica influenciou profundamente a formulação de modelos ana-

líticos utilizados atualmente em estudos de impacto ambiental, análises de risco e planejamento territorial.

Na contemporaneidade, os modelos analíticos beneficiam-se dos avanços das geotecnologias, da inteligência artificial e da modelagem preditiva, ampliando a precisão e a aplicabilidade das análises ambientais. Folke *et al.* (2016) ressaltam que o estudo de sistemas socioecológicos exige modelos capazes de incorporar tanto variáveis biofísicas quanto elementos sociais, incluindo governança, uso do solo e dinâmicas econômicas. Dessa forma, modelos integrados têm sido largamente aplicados em avaliações de mudanças climáticas, gestão hídrica, conservação da biodiversidade e análise de vulnerabilidades ambientais, fornecendo subsídios técnicos para a formulação de políticas públicas e estratégias de planejamento de longo prazo.

Os indicadores ambientais, por sua vez, representam a operacionalização quantitativa e qualitativa das informações derivadas desses modelos e de outras fontes de dados. A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2003) propôs uma das estruturas mais difundidas de indicadores: o modelo Pressão-Estado-Resposta (PER), que classifica os indicadores conforme sua função na cadeia causal dos problemas ambientais. Mais recentemente, modelos expandidos, como o DPSIR (*Driving forces–Pressures–State–Impact–Responses*), têm sido adotados pela União Europeia (EEA, 2019), incorporando dimensões sociais, econômicas e institucionais de forma mais ampla. Tais modelos estruturam o monitoramento ambiental e auxiliam na comunicação entre pesquisadores, gestores e sociedade, permitindo melhor compreensão das relações entre causas e efeitos dos fenômenos ambientais.

No âmbito do desenvolvimento sustentável, os indicadores tornaram-se ainda mais centrais com a adoção dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que demandam sistemas robustos de monitoramento. Sachs (2015) argumenta que os indicadores dos ODS são essenciais para o alinhamento internacional das políticas de sustentabilidade, bem como para a avaliação comparativa entre países. Além desses, instrumentos como a Pegada Ecológica, o Índice de Desempenho Ambiental (EPI), os indicadores de eficiência energética e as métricas de emissões de carbono passaram a integrar rotineiramente os relatórios corporativos e institucionais, influenciando estratégias organizacionais e políticas climáticas.

No contexto brasileiro, os indicadores ambientais também desempenham papel estratégico na implementação da PNMA e dos instrumentos de gestão, como o licenciamento ambiental e o zoneamento ecológico-econômico (ZEE). De acordo com Seroa da Motta (2011), a consolidação de políticas públicas ambientais depende da disponibilidade de indicadores confiáveis, atualizados e integrados às plataformas de monitoramento.

Assim, Barbieri (2020) enfatiza que os modelos analíticos e indicadores ambientais configuram pilares científicos indispensáveis à gestão ambiental, traduzindo a complexidade dos sistemas naturais e antrópicos em informações estratégicas para ação. Sua utilização fortalece a governança ambiental, amplia a capacidade de resposta frente às mudanças globais e promove decisões mais transparentes, eficientes e fundamentadas tecnicamente.

4.3 TECNOLOGIAS VERDES E SOLUÇÕES INOVADORAS

A incorporação de tecnologias verdes e soluções inovadoras tem se consolidado como um dos pilares fundamentais da gestão ambiental contemporânea, configurando-se como um campo dinâmico que articula ciência, inovação tecnológica e políticas públicas orientadas à sustentabilidade. Ao longo das últimas décadas, as transformações tecnocientíficas modificaram profundamente a capacidade humana de diagnosticar, monitorar e mitigar impactos ambientais, permitindo avanços significativos na eficiência energética, no reaproveitamento de recursos e na redução de emissões atmosféricas. Sachs (2008) ressalta que a transição para modelos sustentáveis depende da integração sistêmica de tecnologias que promovam não apenas o crescimento econômico, mas sobretudo a preservação dos ecossistemas e a equidade social. Essa perspectiva é igualmente reforçada por estudiosos contemporâneos, como Barbier (2020), que enfatizam o papel da inovação ecológica como vetor de desenvolvimento sustentável em escala global.

Nesse contexto, as tecnologias verdes — entendidas como o conjunto de processos, produtos e métodos que minimizam impactos ambientais e utilizam recursos de forma eficiente — ampliaram-se em direção a múltiplos setores, incluindo energia, transporte, agricultura, construção civil e gestão de resíduos. A literatura clássica, representada por autores como Hawken, Lovins e Lovins (1999), já apontava para a necessidade de uma “revolução da ecoeficiência”, destacando que soluções tecnológicas inovadoras seriam essenciais para compatibilizar desenvolvimento econômico e conservação ambiental. Em linha semelhante, estudos recentes indicam que tecnologias como energias renováveis, sistemas de economia circular, biotecnologias ambientais, sensores inteligentes e metodologias de produção limpa constituem estratégias imprescindíveis para mitigar os efeitos da crise climática (Georgescu-Roegen, 2013; UNEP, 2022).

A energia renovável destaca-se como uma das áreas mais consolidadas de tecnologias verdes, abrangendo fontes como solar, eólica, biomassa, geotermia e energia das marés. De acordo com a Agência Internacional de Energia Renovável (Irena, 2023), o desenvolvimento desses sistemas tem promovido significativa redução de emissões de gases de efeito estufa, ao mesmo tempo em que impulsiona a segurança energética global. No entanto, o avanço dessas tecnologias depende de investimentos contínuos em inovação e infraestrutura digital, especialmente para integração em redes inteligentes (*smart grids*), que permitem maior eficiência, automação e gestão descentralizada do consumo energético (Silva; Moraes; Farias, 2021). Assim, ciência e tecnologia tornam-se componentes estruturantes da governança energética sustentável, permitindo que sistemas renováveis substituam gradualmente os combustíveis fósseis.

Outro eixo relevante refere-se à bioeconomia e às biotecnologias ambientais, que se destacam como alternativas inovadoras para processos industriais historicamente associados à poluição. A biotecnologia aplicada à remediação ambiental, por exemplo, utiliza organismos vivos para degradar contaminantes em solos, águas e sedimentos, sendo reconhecida como tecnologia de baixo impacto e alta eficiência (Atlas; Philp, 2013). A bioengenharia de materiais compósitos biodegradáveis, derivados de fibras naturais ou polímeros biológicos, é outro avanço importante na substituição de plásticos convencionais, contribuindo para a mitigação da crise global dos resíduos sólidos (Rosa; Santos; Mendes, 2020).

As soluções inovadoras também englobam o desenvolvimento de cidades inteligentes (*smart cities*), onde tecnologias digitais são integradas à gestão urbana para otimizar o uso de recursos e reduzir impactos ambientais. Sistemas de monitoramento em tempo real, sensores de qualidade do ar e algoritmos de previsão climática são exemplos de ferramentas tecnocientíficas que permitem diagnósticos mais precisos e políticas públicas mais eficazes (Batista; Costa, 2022). Do mesmo modo, a arquitetura sustentável e a construção civil verde buscam reduzir o consumo de água e energia por meio de materiais eficientes, técnicas de reuso e certificações como LEED e AQUA, consolidando um setor historicamente intensivo em recursos em direção à sustentabilidade (John; Agopyan, 2014).

A economia circular emerge como uma das soluções mais promissoras ao propor um modelo produtivo baseado na regeneração dos sistemas naturais, na redução do desperdício e no fechamento de ciclos produtivos. A literatura recente destaca que a circularidade depende tanto de avanços tecnológicos, como reciclagem avançada, rastreabilidade digital e design de produtos, quanto de mudanças culturais e institucionais, sendo, portanto, uma estratégia interdisciplinar e transversal (Korhonen; Honkasalo; Seppälä, 2018). Nessa perspectiva, tecnologias verdes funcionam como catalisadoras de novas práticas produtivas, contribuindo para a transição rumo a sociedades de baixo carbono.

Considerando esse panorama, observa-se que as tecnologias verdes e as soluções inovadoras constituem elementos estruturantes da ciência aplicada à gestão ambiental, refletindo a convergência entre avanços científicos, demandas sociais e compromissos internacionais de sustentabilidade. Ao mesmo tempo, reforçam a necessidade de políticas públicas que incentivem pesquisa, desenvolvimento e inovação, de modo a ampliar a adoção dessas tecnologias e reduzir desigualdades no acesso às soluções sustentáveis. Assim, este capítulo evidencia que a transição ecológica depende não apenas da criação de tecnologias, mas da articulação entre ciência, governança e sociedade para consolidar modelos ambientalmente responsáveis.

4.4 PESQUISA APLICADA COMO FERRAMENTA DE TOMADA DE DECISÃO

A pesquisa aplicada ocupa posição central na gestão ambiental contemporânea por constituir um instrumento estratégico para a tomada de decisão, permitindo que gestores, formuladores de políticas públicas e instituições privadas fundamentem suas escolhas em evidências científicas robustas. O avanço das problemáticas socioambientais, tais como mudanças climáticas, perda de biodiversidade, contaminação de solos e recursos hídricos e expansão urbana desordenada; exige respostas que transcendam perspectivas meramente empíricas ou intuitivas. Conforme destaca Demo (1995), a pesquisa aplicada desempenha papel fundamental ao articular teoria e prática, resolvendo problemas concretos a partir da produção sistemática de conhecimento. Essa visão continua atual quando observada sob a ótica das mudanças globais do século XXI, que reforçam a necessidade de abordagens metodológicas rigorosas, capazes de traduzir dados ambientais complexos em orientações eficazes para a gestão.

No campo da gestão ambiental, a pesquisa aplicada permite o desenvolvimento de diagnósticos precisos, a elaboração de cenários prospectivos, a avalia-

ção de impactos e a proposição de soluções tecnológicas ou institucionais. Yin (2015) ressalta que metodologias aplicadas, especialmente aquelas baseadas em estudos de caso, contribuem para compreender fenômenos socioambientais em contextos reais, oferecendo análises profundas de situações complexas. A pesquisa aplicada, nesse sentido, viabiliza não apenas a compreensão do estado atual dos recursos naturais, mas também o monitoramento das tendências ambientais e a eficácia das intervenções implementadas.

Um dos atributos essenciais da pesquisa aplicada em gestão ambiental é sua capacidade de integrar diferentes campos do conhecimento. Morin (2003) argumenta que a complexidade inerente às questões ambientais exige abordagens transdisciplinares, nas quais saberes científicos, técnicos e tradicionais dialoguem para formar uma base de decisão mais sólida. Isso significa que a pesquisa aplicada não se limita a mensurar variáveis ecológicas, mas considera dimensões econômicas, sociais, culturais e institucionais que influenciam a dinâmica dos sistemas socioambientais. Estudos recentes reforçam essa perspectiva ao demonstrar que estratégias de manejo e conservação mais eficazes emergem de modelos de pesquisa que articulam ciências naturais e ciências sociais (Ostrom, 2009).

A pesquisa aplicada também favorece o desenvolvimento de políticas públicas ambientais mais consistentes, uma vez que fornece subsídios técnicos para formulação, implementação e avaliação das ações governamentais. Sachs (2008) indica que políticas sustentáveis só se consolidam quando apoiadas em diagnósticos bem fundamentados, capazes de informar limites ecológicos, potenciais de uso dos recursos e riscos associados às atividades humanas. Assim, instrumentos como estudos de impacto ambiental, inventários florestais, diagnósticos socioeconômicos, auditorias ambientais e análises de ciclo de vida emergem como ferramentas de pesquisa aplicadas indispensáveis para decisões estatais e corporativas.

Do ponto de vista empresarial, a pesquisa aplicada torna-se um diferencial competitivo ao orientar práticas de sustentabilidade corporativa, eficiência energética, inovação tecnológica e redução de passivos ambientais. Elkington (1997) destaca que organizações que incorporam o “triple bottom line” — desempenho econômico, social e ambiental — dependem de indicadores confiáveis para direcionar estratégias e avaliar seus resultados. Pesquisas aplicadas em gestão ambiental, ao fornecer dados sobre emissões, consumo de recursos, eficiência de processos e impactos ecológicos, tornam-se base indispensável para certificações ambientais como ISO 14001 e para relatórios de ESG (Environmental, Social and Governance).

Outra dimensão relevante da pesquisa aplicada está na modelagem ambiental e no uso de ferramentas computacionais para simulação de cenários. Técnicas como modelagem hidrológica, modelagem climática, análise multicritério e geoprocessamento permitem prever tendências e impactos potenciais, ampliando a qualidade das decisões tomadas por gestores ambientais. Como argumenta Meadows (2004), modelos analíticos bem construídos são essenciais para compreender limites planetários e antecipar consequências de políticas inadequadas. Estudos recentes corroboram essa importância ao demonstrar como modelagens ambientais fornecem suporte estratégico para prevenção de desastres e gestão de riscos (IPCC, 2021).

A pesquisa aplicada, portanto, não apenas produz conhecimento, mas transforma-se em instrumento operacional capaz de orientar ações em múltiplas escalas — local, regional e global. Isso inclui desde decisões comunitárias sobre uso da terra até negociações internacionais de redução de emissões. Além disso, fortalece a governança ambiental ao promover transparência e participação social, uma vez que dados científicos permitem maior compreensão pública sobre riscos e alternativas de gestão. Nesse sentido, Jacobi (2003) destaca que a democratização da informação ambiental é essencial para promover a responsabilidade nas decisões, consolidando práticas mais sustentáveis e inclusivas.


Dornfeld (2014) reforça que a pesquisa aplicada amplifica a capacidade de inovação ambiental ao aproximar universidades, centros de pesquisa, empresas e governo. Esse ecossistema de inovação favorece o desenvolvimento de tecnologias verdes, novos materiais, sistemas produtivos limpos e soluções para mitigação e adaptação climática. Dornfeld (2014) também observa que a pesquisa aplicada orientada à sustentabilidade constitui um dos motores da transição ecológica, ao converter desafios ambientais em oportunidades de desenvolvimento tecnológico e socioeconômico.



CAPÍTULO 5

AÇÕES ESTRATÉGICAS NA GESTÃO AMBIENTAL



 capítulo destinado às ações estratégicas na gestão ambiental constitui um dos eixos centrais para compreender como princípios, instrumentos científicos e marcos regulatórios se convertem em práticas concretas capazes de promover sustentabilidade em diferentes escalas. Se os capítulos anteriores abordaram a evolução histórica, conceitual e metodológica da gestão ambiental, este capítulo inaugura uma dimensão aplicada, voltada à formulação, implementação e avaliação de estratégias capazes de transformar diagnósticos ambientais em intervenções eficazes. Nesse sentido, a gestão ambiental estratégica não se limita a um conjunto de técnicas, mas envolve processos decisórios complexos, sustentados por planejamento, participação social, inovação, integração institucional e monitoramento contínuo. Barbieri (2020) defende que a gestão ambiental contemporânea deve ser entendida como um processo dinâmico, baseado na capacidade de integrar conhecimento científico, políticas públicas e práticas organizacionais, de forma articulada e sistêmica.

A crescente degradação dos ecossistemas, intensificada pelas pressões antrópicas e pelas mudanças climáticas, evidencia a urgência de ações ambientais fundamentadas tanto em rigor técnico quanto em coordenação política. Meadows (2004) observa que sistemas ambientais são caracterizados por retroalimentações e não linearidades, o que exige intervenções baseadas em modelos prospectivos e análise de cenários. Dessa forma, estratégias eficazes de gestão ambiental precisam considerar limites ecológicos, vulnerabilidades socioeconômicas e riscos sistêmicos, substituindo abordagens reativas por modelos preventivos, adaptativos e orientados pelo longo prazo. Este capítulo, portanto, introduz um conjunto de ações estruturantes que serão aprofundadas nos tópicos subsequentes, com foco na prevenção, mitigação, adaptação e governança socioambiental.

Entre os elementos essenciais das ações estratégicas, destaca-se o papel do planejamento ambiental, concebido como instrumento norteador das decisões de uso e ocupação do solo, implantação de empreendimentos, conservação da biodiversidade e gestão de recursos hídricos. Sachs (2008) ressalta que políticas eficientes requerem a integração entre dimensões econômica, ecológica e social, especialmente em países com grande diversidade biológica e desigualdades regionais, como o Brasil.

A articulação entre planejamento nacional, práticas municipais e ações comunitárias revela-se indispensável para consolidar estratégias territorializadas e alinhadas às especificidades regionais. Nesse contexto, instrumentos como ZEE, Planos Diretores, Planos de Bacia Hidrográfica e Planos de Resíduos Sólidos constituem pilares estruturantes da ação ambiental pública e privada.

A centralidade da governança ambiental, entendida como o conjunto de mecanismos institucionais, normativos e participativos que organizam a tomada de decisão. Ostrom (2009) argumenta que arranjos institucionais policêntricos tendem a gerar melhores resultados ambientais, pois fortalecem a colaboração entre governo, sociedade e iniciativa privada. No cenário da gestão ambiental estratégica, a governança assume caráter multiescalar, envolvendo políticas globais, tais como os Acordos do Clima — e ações locais — como conselhos ambientais, comitês de bacia e fóruns de gestão compartilhada. A participação social, neste contexto, não é apenas instrumento democrático, mas componente técnico essencial para legitimar ações, incorporar saberes tradicionais e ampliar a efetividade das políticas.

As ações estratégicas também incluem mecanismos de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, que serão tratados em capítulos posteriores. De acordo com o IPCC (2021), estratégias de mitigação exigem redução de emissões e transição para matrizes energéticas de baixo carbono, enquanto estratégias de adaptação requerem o fortalecimento da resiliência de sistemas urbanos, rurais e ecológicos frente a eventos extremos. Ambos os eixos dependem de planejamento baseado em evidências e integração entre ciência, política e inovação tecnológica.

Outro elemento estruturante das ações estratégicas é o fortalecimento de instrumentos econômicos, tais como Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), mercado de carbono e incentivos fiscais para tecnologias verdes. Pearce, Markandya e Barbier (1989) demonstram que instrumentos econômicos ampliam a eficiência das políticas ambientais ao criar estímulos financeiros para práticas sustentáveis. No contexto contemporâneo, esses mecanismos têm sido amplamente discutidos como ferramentas para alinhar interesses econômicos à conservação ambiental, especialmente em políticas voltadas ao clima e à restauração ecológica.

A educação ambiental, por sua vez, figura como ação estratégica transversal, pois fornece a base cultural e cognitiva para transformações duradouras. Jacobi (2003) destaca que a sensibilização e o engajamento social são fundamentais para promover mudanças de comportamento e consolidar políticas ambientais. Assim, ações educativas permeiam desde campanhas públicas até programas formais em instituições de ensino e práticas comunitárias.

Dessa maneira, as ações estratégicas na gestão ambiental configuram-se como um conjunto integrado de processos que orientam decisões, fortalecem políticas públicas, promovem inovação e ampliam a resiliência socioecológica. Este capítulo introduz os fundamentos conceituais e práticos que serão detalhados nos tópicos subsequentes, apresentando uma visão holística e tecnicamente fundamentada das estratégias necessárias para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos.

5.1 PLANEJAMENTO, MONITORAMENTO E CONTROLE AMBIENTAL

O planejamento, o monitoramento e o controle ambiental constituem pilares estruturantes da gestão ambiental contemporânea, oferecendo as bases metodológicas e operacionais para prevenir, mitigar e corrigir impactos socioambientais. Esses três eixos não se configuram como etapas isoladas, mas como um ciclo contínuo de gestão, fundamentado na análise de informações, na definição de metas e indicadores, na implementação de ações e na avaliação sistemática de resultados. Conforme enfatiza Barbieri (2020), a gestão ambiental eficaz depende de processos decisórios estruturados, embasados em diagnósticos precisos e em mecanismos permanentes de acompanhamento. Assim, o planejamento ambiental orienta o caminho a ser seguido, o monitoramento fornece informações sobre o percurso e o controle assegura a conformidade com padrões legais, técnicos e organizacionais.

O planejamento ambiental pode ser definido como o conjunto de procedimentos destinados a orientar o uso dos recursos naturais, a ocupação territorial e a implementação de políticas públicas ou empresariais voltadas à sustentabi-

lidade. Sachs (2008) destaca que o planejamento ambiental precisa articular dimensões ecológicas, econômicas e sociais, orientando-se por uma racionalidade de longo prazo, indispensável para a integridade dos ecossistemas e a segurança das populações humanas. Nesse sentido, instrumentos como o ZEE, os Planos Diretores Municipais, os Planos de Bacia Hidrográfica e os Planos de Gerenciamento Costeiro constituem ferramentas estratégicas para orientar decisões territoriais. Tais instrumentos são fortalecidos por modelos analíticos, cenários prospectivos e indicadores ambientais, conforme discutido por Odum (1988) ao tratar da necessidade de compreender a dinâmica dos sistemas ecológicos para fundamentar políticas e ações.

A elaboração de diagnósticos ambientais é uma etapa central do planejamento, pois possibilita identificar vulnerabilidades, conflitos socioambientais, pressões antrópicas e potencialidades de conservação. De acordo com a Agência Europeia do Ambiente (EEA, 2019), diagnósticos robustos dependem de dados confiáveis e de métodos analíticos integrados, como o modelo DPSIR, que relaciona forças motrizes, pressões, estado do ambiente, impactos e respostas. Esse tipo de estrutura lógica contribui para a organização de políticas públicas e para a priorização de ações estratégicas. O diagnóstico, contudo, não se restringe a aspectos biofísicos, devendo incorporar dimensões sociais, culturais e econômicas, uma vez que, como afirma Folke et al. (2016), os sistemas socioecológicos funcionam de forma integrada e interdependente.

O monitoramento ambiental, por sua vez, refere-se ao conjunto de procedimentos sistemáticos de coleta, análise e interpretação de dados, destinados a acompanhar variações na qualidade ambiental ao longo do tempo. Ele permite verificar se as metas estabelecidas no planejamento estão sendo cumpridas, além de identificar tendências, anomalias ou riscos emergentes. Meadows (2004) ressalta que sistemas complexos exigem mecanismos contínuos de retroalimentação, que funcionem como sinais de alerta frente a mudanças abruptas ou não desejadas. Em contextos ambientais, o monitoramento cumpre essa função ao gerar informações sobre qualidade da água, emissões atmosféricas, cobertura vegetal, biodiversidade, resíduos e outros indicadores essenciais.

Com o avanço das tecnologias digitais, o monitoramento ambiental tem se sofisticado, incorporando sensores remotos, sistemas de informação geográfica (SIG), redes de monitoramento em tempo real, plataformas de big data e inteligência artificial. Tais ferramentas ampliam a capacidade de análise e previsão, permitindo intervenções mais rápidas e precisas. Conforme destaca Young et al. (2021), a digitalização da gestão ambiental aumenta a eficiência do monitoramento e potencializa o planejamento adaptativo, especialmente em cenários de mudanças climáticas e eventos extremos.

O controle ambiental complementa o ciclo de gestão ao garantir a conformidade das atividades humanas com normas legais, padrões técnicos e diretrizes estabelecidas no planejamento. Trata-se de um instrumento regulatório e fiscalizador, que envolve mecanismos como licenciamento ambiental, auditorias, fiscalizações, aplicação de penalidades e certificações voluntárias. No contexto brasileiro, o controle ambiental é regulamentado principalmente pela Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) e operacionalizado por órgãos como o IBAMA, os órgãos estaduais e as secretarias municipais de meio ambiente. Seroa da Motta (2011) observa que o controle eficiente depende não apenas de regras claras, mas também de capacidade institucional e mecanismos de gover-

nança que promovam transparência e participação social.

O licenciamento ambiental é um dos instrumentos mais relevantes do controle, pois estabelece condições para a instalação e operação de empreendimentos potencialmente impactantes. Ele exige estudos como o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), que são avaliados pelos órgãos competentes. A eficácia desse instrumento depende diretamente da integração com o monitoramento, uma vez que a verificação do cumprimento das condicionantes ambientais ocorre ao longo do ciclo de vida do empreendimento. Assim, o controle ambiental não se limita à fiscalização, mas à certificação contínua de que medidas preventivas e mitigadoras estão sendo implementadas.

Além dos instrumentos legais, mecanismos voluntários, como certificações ambientais (ISO 14001, FSC, LEED), também desempenham papel estratégico no controle ambiental ao incentivar práticas responsáveis no setor privado. Barbieri (2020) destaca que tais instrumentos ampliam a competitividade das organizações e fortalecem sua imagem institucional, promovendo a cultura da responsabilidade socioambiental.

Dessa forma, planejamento, monitoramento e controle constituem um ciclo integrado, indispensável à gestão ambiental estratégica. O planejamento define metas e estratégias, o monitoramento fornece dados para avaliar o andamento das ações e o controle assegura a conformidade com padrões e políticas. Juntos, esses instrumentos fortalecem a governança ambiental, promovem a sustentabilidade e ampliam a capacidade de resposta frente aos desafios ambientais contemporâneos.

5.2 SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL (SGA) E ISO 14001

A consolidação dos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) como instrumentos estruturantes para a governança ambiental representa um dos marcos mais importantes na evolução das práticas de sustentabilidade organizacional. A emergência de modelos sistematizados de gestão, principalmente a partir da década de 1990, responde à crescente pressão de stakeholders, ao avanço das políticas regulatórias e à necessidade de integrar variáveis ambientais aos processos decisórios estratégicos. Nesse contexto, a ISO 14001 tornou-se referência mundial ao estabelecer requisitos para a implantação, manutenção e melhoria contínua de um SGA, criando uma linguagem comum e padronizada para organizações de distintos portes e setores. Segundo Barbieri (2016), a adoção de sistemas formais de gestão ambiental contribui para minimizar impactos, melhorar o desempenho ambiental e fortalecer a competitividade, articulando-se a uma visão de longo prazo orientada pela prevenção e pelo uso eficiente de recursos.

A ISO 14001 baseia-se no ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), modelo amplamente reconhecido por sua capacidade de estruturar processos de melhoria contínua. De acordo com a International Organization for Standardization (ISO, 2015), o ciclo funciona como um mecanismo sistêmico que direciona a organização a planejar seus objetivos ambientais, implementar controles operacionais, monitorar o desempenho e revisar estratégias com base em evidências. Esse caráter iterativo assegura que o SGA não seja um conjunto estático de procedimentos, mas uma estrutura viva, adaptável às mudanças do contexto interno e externo.

Estudos recentes mostram que a implementação consistente da ISO 14001 não apenas melhora indicadores ambientais — como redução de resíduos, emissões e riscos — mas também fortalece a imagem institucional, incentiva inovação e aumenta a eficiência operacional (Testa; Boiral; Iraldo, 2018).

Outro aspecto relevante diz respeito ao papel do SGA como ferramenta de integração transversal nas organizações. A literatura clássica, como destaca Donaire (1999), enfatiza que a gestão ambiental deve dialogar com todas as áreas funcionais, evitando que se restrinja ao setor ambiental ou de compliance. No mesmo sentido, Elkington (1997) introduz a lógica do triple bottom line, reforçando que o desempenho ambiental está intrinsecamente relacionado às dimensões econômica e social. A ISO 14001, ao exigir o levantamento de aspectos e impactos ambientais, análises de risco, competências, controles operacionais e comunicação estruturada, força a organização a repensar fluxos de trabalho, responsabilidades e indicadores, internalizando a variável ambiental em sua cultura corporativa.

A revisão de 2015 da ISO 14001 introduziu inovações relevantes, como o foco ampliado em riscos e oportunidades, a necessidade de compreensão do contexto organizacional e o reforço da liderança. Essas mudanças alinham-se ao movimento global de governança ambiental e responsabilidade corporativa, reconhecendo que os problemas ambientais são cada vez mais complexos e interdependentes. Segundo Boiral, Heras-Saizarbitoria e Brotherton (2019), a abordagem baseada em risco fortalece a resiliência organizacional e estimula práticas de antecipação, permitindo que as empresas respondam melhor a pressões regulatórias e às demandas de mercados mais exigentes.

Além disso, o SGA associado à ISO 14001 tornou-se um elemento-chave para a sustentabilidade em cadeias produtivas. Organizações certificadas tendem a influenciar fornecedores e parceiros, gerando efeitos indiretos importantes. Para Seiffert (2014), tal dinâmica contribui para a difusão de práticas de ecoeficiência e conformidade, ampliando o alcance das ações ambientais para além dos limites da empresa. O incentivo ao consumo responsável, à logística reversa e ao uso de tecnologias limpas também passa a ser fortalecido, tornando o SGA um vetor de inovação ambiental.

Entretanto, a literatura também aponta desafios. A certificação pode assumir caráter meramente simbólico quando não há comprometimento real das lideranças ou quando prevalece um enfoque burocrático sobre o estratégico. Boiral (2012) argumenta que a efetividade do SGA depende do nível de engajamento interno, transparência e qualidade da implantação. Ou seja, o valor do SGA não está no certificado, mas na capacidade de promover mudanças estruturais no comportamento organizacional.

Dessa forma, o SGA e a ISO 14001 constituem instrumentos fundamentais para organizações que buscam alinhar competitividade, inovação e responsabilidade socioambiental. A articulação entre requisitos normativos, governança e cultura organizacional configura-se como elemento decisivo para assegurar que o sistema não seja apenas um mecanismo de conformidade, mas uma plataforma robusta de sustentabilidade, capaz de apoiar decisões, orientar estratégias e reforçar a ética ambiental corporativa.

5.3 LICENCIAMENTO, AVALIAÇÃO DE IMPACTO E RELATÓRIOS AMBIENTAIS

O licenciamento ambiental, a avaliação de impacto ambiental (AIA) e a elaboração de relatórios técnicos são pilares centrais da gestão ambiental contemporânea, constituindo instrumentos essenciais para a prevenção, mitigação e monitoramento de danos ao meio ambiente. No Brasil, tais instrumentos ganharam robustez normativa especialmente a partir da PNMA, que estabeleceu um conjunto de mecanismos voltados à proteção ambiental, entre eles o licenciamento (art. 10). Desde então, o arcabouço legal e técnico se expandiu, incorporando diretrizes internacionais e avanços metodológicos que ampliaram a capacidade de previsão e gestão de impactos decorrentes de atividades econômicas. Segundo Sánchez (2013), a avaliação de impacto ambiental configura-se como um dos mais importantes instrumentos de planejamento ambiental, por permitir a antecipação de consequências socioambientais e a proposição de alternativas que reduzam riscos e ampliem benefícios coletivos.

A AIA, em sua concepção moderna, emerge na década de 1970, inicialmente nos Estados Unidos, com o National Environmental Policy Act (NEPA), influenciando legislações ao redor do mundo. Ela se consolidou como um processo sistemático e multidisciplinar no qual se identificam, analisam e avaliam os efeitos potenciais de um empreendimento antes de sua efetiva implementação. Tal natureza preventiva, como destaca Glasson, Therivel e Chadwick (2013), é fundamental para evitar que decisões econômicas sejam tomadas dissociadas de considerações ambientais e sociais, assegurando um processo decisório informado. No contexto brasileiro, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu normas estruturantes, entre as quais a Resolução n.º 01/1986, que define critérios gerais para o uso da AIA, e a Resolução n.º 237/1997, que sistematiza procedimentos do licenciamento ambiental, introduzindo maior clareza quanto às etapas, competências e responsabilidades.

O processo de licenciamento ambiental é composto por três fases principais — Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO) — cada uma com exigências e condicionantes específicas. Essa estrutura escalonada reflete a necessidade de avaliar o empreendimento em diferentes momentos de sua concepção e execução, permitindo ajustes e correções contínuas. De acordo com Philippi Jr. e Roméro (2014), o licenciamento não deve ser entendido apenas como um procedimento administrativo, mas como um mecanismo estratégico de gestão, ancorado em critérios técnicos rigorosos e na participação social. Isso porque, além de avaliar impactos físicos e biológicos, deve considerar dimensões socioeconômicas, culturais e territoriais, reforçando sua natureza holística.

Os relatórios ambientais constituem os documentos técnicos que embasam a tomada de decisão no processo de licenciamento e incluem, entre outros, o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). O EIA apresenta a análise profunda dos impactos potenciais, métodos utilizados, alternativas de localização e tecnologia, medidas mitigadoras e programas de monitoramento. Já o RIMA traduz essas informações em linguagem acessível, com o objetivo de permitir a compreensão pública, atendendo ao princípio da transparência. Essa distinção reforça o caráter democrático da AIA, conforme argumenta Moraes (2018), ao ampliar a participação social e possibili-

tar que comunidades afetadas influenciem a decisão final.

Entretanto, apesar de sua relevância, o licenciamento ambiental enfrenta desafios significativos. A literatura aponta problemas como a morosidade dos processos, carência de recursos técnicos nos órgãos ambientais, pressões políticas e econômicas, além de fragilidades na fiscalização e no acompanhamento pós-licença. Estudos recentes indicam que a simplificação excessiva de procedimentos, quando não acompanhada de melhorias em capacidade institucional, pode comprometer a integridade do processo e gerar riscos socioambientais (Souza; Pereira, 2021). Nesse sentido, a modernização dos instrumentos de licenciamento deve ser orientada pela busca de eficiência sem perder a robustez técnica, por meio de digitalização, fortalecimento de equipes técnicas, aprimoramento de metodologias de avaliação e integração de bases de dados ambientais.

Outro ponto crucial é a adoção de abordagens mais avançadas de avaliação ambiental, como a Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) e a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). A AAE permite incorporar princípios ambientais no planejamento de políticas, planos e programas, superando a limitação da AIA em atuar predominantemente no nível de projetos. Já a ACV, conforme destaca o Manual ISO 14040 (ISO, 2006), oferece uma visão abrangente dos impactos ao longo de todo o ciclo de vida de produtos, processos e serviços, possibilitando decisões mais sustentáveis e inovadoras. A combinação dessas metodologias amplia a capacidade preditiva e estratégica da gestão ambiental, contribuindo para políticas mais coerentes com os desafios contemporâneos.

Moraes (2018) afirma que o licenciamento ambiental, a AIA e os relatórios ambientais compõem um sistema integrado que busca equilibrar desenvolvimento e conservação, orientando-se pela prevenção, transparência, participação social e melhoria contínua. Seu fortalecimento depende da articulação entre marcos regulatórios consistentes, capacidade institucional, rigor metodológico e inovação técnica, aspectos indispensáveis para enfrentar as demandas crescentes decorrentes da complexidade ambiental do século XXI.

5.4 EDUCAÇÃO AMBIENTAL E RESPONSABILIDADE SOCIAL CORPORATIVA

A articulação entre educação ambiental e responsabilidade social corporativa configura-se como um dos eixos mais estratégicos para a consolidação de práticas sustentáveis no contexto contemporâneo, sobretudo diante da crescente complexidade dos desafios socioambientais. A educação ambiental, desde sua formulação política internacional na Conferência de Tbilisi, em 1977, passou a ser reconhecida como instrumento fundamental para promover mudanças de comportamento, fortalecer capacidades críticas e fomentar a participação social em questões ecológicas. Isso se tornou ainda mais evidente com a difusão do conceito de sustentabilidade e com a percepção de que os problemas ambientais não podem ser resolvidos exclusivamente por meio de instrumentos jurídicos ou tecnológicos, mas requerem transformação cultural, engajamento coletivo e revisão de paradigmas econômicos. Como argumenta Jacobi (2003), a educação ambiental constitui um processo político-pedagógico orientado para a formação de sujeitos capazes de compreender as interdependências entre sociedade, economia e natureza, adotando práticas que reforcem o compromisso com a prote-

ção ambiental e a justiça social (Jacobi, 2003).

Nesse sentido, a responsabilidade social corporativa (RSC), especialmente a partir da década de 1990, incorporou de modo mais estruturado o componente ambiental como parte da governança e da ética empresarial. Inicialmente associada a práticas voluntárias de filantropia, a RSC evoluiu para um modelo integrado de gestão que abrange dimensões sociais, econômicas e ambientais, alinhando-se à noção de triple bottom line proposta por Elkington (1997). Esse enfoque ampliou a compreensão do papel das organizações na sociedade, reconhecendo que a sustentabilidade corporativa não pode ser reduzida à conformidade legal, mas envolve responsabilidade ampliada e compromisso com a minimização de impactos e a geração de valor socioambiental. Barbieri et al. (2010) enfatizam que a adoção de estratégias de responsabilidade socioambiental está diretamente relacionada à competitividade, reputação organizacional e engajamento das partes interessadas, tornando-se elemento constitutivo da gestão ambiental nas empresas.

A interface entre educação ambiental e responsabilidade social corporativa manifesta-se principalmente em programas institucionais de formação, sensibilização e comunicação voltados a colaboradores, fornecedores, consumidores e comunidades do entorno. Esses programas, quando estruturados adequadamente, contribuem para difundir valores sustentáveis e fortalecer a cultura organizacional orientada à ecoeficiência, à redução de resíduos, ao uso racional de recursos e à prevenção de impactos. Para Loureiro (2012), a educação ambiental crítica aplicada ao ambiente corporativo permite superar abordagens meramente normativas, estimulando reflexão ética e participação ativa dos trabalhadores nos processos decisórios. Dessa forma, a empresa deixa de ser apenas agente econômico para atuar como espaço educativo, contribuindo para a transformação de práticas sociais.

No Brasil, a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), instituída pela Lei n.º 9.795/1999, consolidou o papel da educação ambiental em todos os setores da sociedade, incluindo o setor produtivo, ao estabelecer princípios como a interdisciplinaridade, a continuidade formativa e a participação social. O Decreto n.º 4.281/2002 reforça essa diretriz ao afirmar que instituições públicas e privadas têm responsabilidade compartilhada na promoção da educação ambiental, devendo integrá-la às rotinas de gestão, planejamento e responsabilidade social. Assim, programas corporativos de educação ambiental deixaram de ser iniciativas opcionais para compor uma agenda institucional e estratégica alinhada à legislação vigente.

Um aspecto relevante é o fortalecimento das práticas de responsabilidade socioambiental por meio de ferramentas internacionais como o Pacto Global da ONU, a ISO 26000 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Esses marcos fornecem diretrizes para que as empresas alinhem suas ações à ética, à transparência e ao compromisso com o desenvolvimento sustentável, incentivando a integração entre práticas pedagógicas e estratégias socioambientais. A educação ambiental incorpora-se, assim, à agenda ESG, que hoje norteia investimentos, avaliação de riscos e decisões estratégicas, reforçando a necessidade de organizações promoverem processos formativos permanentes e consistentes.

Além disso, estudos recentes apontam que empresas que desenvolvem programas sólidos de educação ambiental e responsabilidade social possuem maior

capacidade de inovação, melhor relacionamento com stakeholders e menor exposição a riscos reputacionais e regulatórios (Silva; Bernardes; Corrêa, 2021). Essas evidências reforçam a importância de compreender a organização como espaço de aprendizagem contínua — um ambiente onde valores, comportamentos e saberes são produzidos e compartilhados de forma coletiva. Assim, a educação ambiental corporativa não se limita a campanhas pontuais, mas integra-se ao planejamento estratégico, influenciando políticas internas como gestão energética, compras sustentáveis, logística reversa, ecoeficiência e governança.

Nesse contexto, a relação entre educação ambiental e responsabilidade social corporativa destaca-se como processo contínuo e dinâmico que visa à construção de práticas ambientais responsáveis e ao fortalecimento do compromisso ético das organizações com a sustentabilidade. Loureiro (2012) compreende que a convergência entre esses dois campos permite desenvolver uma gestão ambiental robusta, que ultrapassa a esfera técnica e incorpora dimensões pedagógicas, culturais e sociais, essenciais para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos e promover sociedades mais justas, resilientes e ecologicamente equilibradas.



CAPÍTULO 6

DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS E PERSPECTIVAS FUTURAS



Os desafios contemporâneos relacionados à gestão ambiental configuram-se como um dos temas centrais do debate global sobre sustentabilidade, exigindo abordagens cada vez mais integradas, interdisciplinares e inovadoras. Desde a segunda metade do século XX, o avanço do conhecimento científico sobre as mudanças climáticas, a erosão da biodiversidade, a poluição dos solos, das águas e da atmosfera, bem como o uso intensivo de recursos naturais, ampliou a compreensão da complexidade que caracteriza as interações entre sistemas sociais e ecológicos.

Meadows *et al.* (1972) já alertava, em *The Limits to Growth*, que a trajetória de crescimento econômico baseada na exploração ilimitada de recursos levaria a crises ambientais sistêmicas, caso não fossem adotadas novas formas de planejar, produzir e consumir. Esse alerta, confirmado por décadas de pesquisas posteriores, fundamenta a urgência de repensar modelos de desenvolvimento e de fortalecer a governança ambiental em escala global.

A intensificação dos efeitos das mudanças climáticas representa um dos maiores desafios contemporâneos. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022) aponta que eventos extremos, como secas prolongadas, enchentes, ondas de calor e elevação do nível do mar, tendem a aumentar em frequência e intensidade, afetando especialmente países em desenvolvimento, que possuem menor capacidade adaptativa. Esses impactos configuram um cenário de risco socioambiental ampliado, com consequências diretas na segurança hídrica, alimentar e energética, bem como na saúde pública e na estabilidade socioeconômica. Em paralelo, cresce a demanda por políticas de mitigação e adaptação que integrem ciência, tecnologia, planejamento territorial e participação social, reforçando a necessidade de uma governança ambiental robusta e multiescalar.

Observa-se também como aspecto relevante a perda de biodiversidade, considerada uma das maiores crises ambientais contemporâneas. Segundo relatório da Plataforma Intergovernamental de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES, 2019), aproximadamente um milhão de espécies estão ameaçadas de extinção, em grande parte devido à expansão agrícola, desmatamento, poluição e mudanças climáticas. Essa erosão da diversidade biológica compromete o funcionamento dos ecossistemas e põe em risco serviços essenciais, como polinização, regulação climática, qualidade da água e fertilidade dos solos. Nesse contexto, a conservação ambiental e o uso sustentável dos ecossistemas tornam-se prioridades estratégicas, exigindo articulação entre políticas públicas, ações governamentais e iniciativas privadas amparadas em sólidas bases científicas.

Ademais disso, a urbanização acelerada, especialmente em países do Sul Global, introduz novos desafios para a gestão ambiental. Problemas como geração excessiva de resíduos sólidos, degradação de áreas verdes urbanas, poluição atmosférica e déficit de saneamento básico intensificam desigualdades socioambientais. Harvey (2012) discute que a urbanização do capital produz espaços profundamente desiguais, onde populações vulneráveis são desproporcionalmente expostas a riscos ambientais. Nesse contexto, pensar o futuro da gestão ambiental implica incorporar princípios de justiça ambiental e reconhecer que políticas sustentáveis devem contemplar equidade, inclusão social e participação democrática.

O avanço tecnológico, especialmente nas áreas de digitalização, inteligência

artificial, energias renováveis e biotecnologia, abre novas perspectivas para o enfrentamento dos desafios ambientais. No entanto, também traz dilemas éticos, socioeconômicos e políticos. Sachs (2015) afirma que as tecnologias contemporâneas são essenciais para viabilizar uma transição energética justa e reduzir a pegada ecológica global, mas sua adoção deve estar acompanhada de políticas públicas que garantam que a inovação tecnológica seja inclusiva, segura e ambientalmente responsável. Nesse sentido, o futuro da gestão ambiental dependerá da capacidade de integrar tecnologias limpas, modelos de economia circular, sistemas de monitoramento avançados e processos decisórios baseados em evidências científicas.

A necessidade de fortalecer a educação ambiental em diferentes níveis — formal, não formal e informal — como processo contínuo de transformação cultural e emancipação social também é fundamental na compreensão desses desafios. Loureiro (2012) destaca que a educação ambiental deve assumir uma perspectiva crítica, capaz de promover consciência ecológica, participação cidadã e responsabilidade coletiva. Desse modo, a formação de sujeitos ambientais torna-se elemento chave para enfrentar os desafios contemporâneos e para construir sociedades sustentáveis e resilientes.

Em âmbito internacional, o cumprimento dos ODS apresenta-se como marco orientador para as próximas décadas. No entanto, a implementação dos ODS exige superar barreiras políticas, econômicas e institucionais. Como observa Sachs (2015), a transição para um modelo sustentável depende de pactos globais que conciliem desenvolvimento econômico, coesão social e conservação ambiental — um desafio que se torna ainda mais complexo diante de tensões geopolíticas e desigualdades históricas. No nível nacional, países como o Brasil enfrentam o desafio adicional de equilibrar expansão produtiva, preservação de biomas estratégicos e redução das desigualdades socioeconômicas, o que exige um projeto de desenvolvimento baseado em ciência, tecnologia e planejamento integrado.

Diante desse cenário, as perspectivas futuras da gestão ambiental apontam para a consolidação de um paradigma sistêmico e intersetorial, que integre ecologia, economia, tecnologia, política e cultura. O futuro dependerá da capacidade de Estados, empresas, academia e sociedade civil de estabelecer alianças e construir soluções conjuntas que conciliem desenvolvimento humano, justiça social e integridade ecológica. A gestão ambiental, portanto, encontra-se diante do desafio e da oportunidade de consolidar-se como campo estratégico para orientar decisões públicas e privadas, formular políticas integradas e promover mudanças estruturais necessárias para assegurar a sustentabilidade no século XXI.

6.1 CRISE CLIMÁTICA, BIODIVERSIDADE E ECONOMIA REGENERATIVA

A intensificação da crise climática e a perda acelerada da biodiversidade configuram os maiores desafios ambientais do século XXI, exigindo novas abordagens sociais, econômicas e produtivas capazes de restabelecer o equilíbrio ecológico. Desde a década de 1980, a comunidade científica alerta para os limites planetários e para a emergência climática decorrente do acúmulo de gases de efeito estufa, do desmatamento e da degradação sistêmica dos ecossistemas.

(Rockström *et al.*, 2009). Mais recentemente, relatórios do IPCC reforçam que a janela de ação para limitar o aquecimento a 1,5 °C está se fechando rapidamente, enquanto o planeta enfrenta eventos climáticos extremos, acidificação dos oceanos, colapso de cadeias ecológicas e riscos socioeconômicos amplificados (IPCC, 2023).

A biodiversidade, por sua vez, constitui o eixo estruturante dos sistemas de suporte à vida — polinização, ciclagem de nutrientes, regulação climática, qualidade da água, segurança alimentar. Estudos de larga escala evidenciam que as atividades humanas já provocaram uma taxa de extinção de espécies de 100 a 1.000 vezes superior ao ritmo natural (MEA, 2005). Wilson (2016) denomina esse fenômeno de “Sexta Extinção”, ressaltando que, diferentemente das extinções geológicas anteriores, a atual é causada por ações antropogênicas, em especial conversão de habitats, exploração predatória, introdução de espécies invasoras, poluição e mudanças climáticas. A interdependência entre clima e biodiversidade é cada vez mais reconhecida: ecossistemas degradados emitem mais carbono e perdem capacidade de resiliência, enquanto ecossistemas íntegros armazenam carbono, regulam microclimas e sustentam cadeias alimentares (IPBES, 2019).

Nesse contexto, a emergência de modelos de desenvolvimento orientados para a regeneração ecológica ganha relevância teórica e prática. A Economia Regenerativa, termo amplamente discutido por autores como Raworth (2017) e Fullerton (2015), propõe uma ruptura com a lógica linear e extrativista que marcou o capitalismo industrial. Em vez de um movimento “extrair–produzir–descartar”, esse paradigma se orienta pela circularidade, pelo retorno de nutrientes aos ecossistemas, pelo uso de energias renováveis e pela restauração ativa de paisagens degradadas. Raworth (2017), ao formular a “Economia Donut”, argumenta que a economia humana deve operar entre um “teto ecológico” — limites planetários — e um “piso social” — direitos fundamentais da população. Essa abordagem amplia a noção de sustentabilidade ao integrar justiça social, integridade ecológica e prosperidade econômica.

A literatura recente aponta que soluções baseadas na natureza desempenham papel central na transição para modelos regenerativos. O IPBES (2019) destaca que estratégias como restauração florestal, manejo sustentável de solos, recuperação de áreas úmidas e agroecologia podem mitigar até 37% das emissões globais necessárias até 2030. Ao mesmo tempo, estudos em ecologia econômica demonstram que cada dólar investido em restauração ambiental gera múltiplos retornos econômicos em serviços ecossistêmicos, empregos verdes e resiliência das comunidades (Barlow *et al.*, 2020). Nesse sentido, a economia regenerativa converge com princípios da ecologia profunda e do desenvolvimento sustentável ao reconhecer que o capital natural é a base sobre a qual todos os demais capitais se sustentam (Daly; Farley, 2011).

A crise climática intensifica desigualdades socioambientais, afetando especialmente populações vulneráveis — comunidades indígenas, trabalhadores rurais, moradores de áreas costeiras. Esses grupos enfrentam maior exposição a eventos extremos, perdas territoriais e redução de oportunidades econômicas, cenário que evidencia o caráter ético e distributivo da questão ambiental. Acosta (2016) observa que a transição regenerativa demanda não apenas inovação tecnológica, mas também mudanças civilizatórias baseadas no bem viver, no respeito aos direitos da natureza e na superação de modelos econômicos que

concentraram renda às custas da degradação ecológica. Assim, a regeneração envolve uma reconfiguração estrutural que inclui governança ambiental multiescalar, participação social e reconhecimento dos conhecimentos tradicionais.

Do ponto de vista científico, a integração entre políticas climáticas e conservação da biodiversidade é indispensável. O relatório conjunto IPBES–IPCC (2021) afirma que “não há solução climática viável sem biodiversidade” e que intervenções desarticuladas podem gerar efeitos adversos. Por exemplo, plantações homogêneas de árvores para sequestro de carbono podem comprometer a diversidade e até aumentar vulnerabilidades ecológicas. A transição regenerativa requer, portanto, abordagens sistêmicas que considerem fluxos energéticos, ciclos biogeoquímicos, redes tróficas e funções ecossistêmicas. A ecologia do restauro, nesse sentido, oferece bases científicas para planejar intervenções que recuperem complexidade, diversidade funcional e resiliência dos ecossistemas (Society for Ecological Restoration, 2019).

Além disso, a economia regenerativa está estreitamente ligada à bioeconomia de base florestal e aos modelos produtivos de baixo carbono. Em países megadiversos como o Brasil, cadeias produtivas sustentadas em biodiversidade (biotecnologia, fármacos, cosméticos naturais, sistemas agroflorestais) oferecem oportunidades para um desenvolvimento alinhado à conservação dos biomas. Estudos sobre o potencial da Amazônia destacam que a manutenção da floresta em pé pode gerar riqueza superior ao modelo baseado em desmatamento, desde que haja investimento em ciência, tecnologia, infraestrutura verde e direitos territoriais (Nobre; Nobre, 2020). A economia regenerativa, portanto, não implica menor atividade econômica, mas sim uma reorientação para atividades que ampliem o capital natural.

Do ponto de vista empresarial, cresce a pressão de investidores, consumidores e marcos regulatórios internacionais para que as organizações adotem práticas regenerativas. Iniciativas como TCFD, TNFD e normas internacionais de reporte de sustentabilidade (ISSB) reforçam a necessidade de contabilizar riscos climáticos, impactos sobre biodiversidade e planos de transição para emissões líquidas zero. A literatura de gestão ambiental mostra que empresas que adotam estratégias regenerativas — agricultura regenerativa, design circular, logística reversa, energia renovável — conquistam vantagens competitivas, mitigam riscos e fortalecem sua reputação (Elkington, 2020). Contudo, a transição corporativa também exige métricas robustas, governança ambiental e integração entre sustentabilidade e modelo de negócios.

A emergência da economia regenerativa sinaliza, portanto, uma inflexão paradigmática. Ela não se limita a reduzir impactos ambientais, mas busca regenerar sistemas ecossociais por meio de inovação, conhecimento interdisciplinar e governança ética. O desafio é monumental: superar a lógica extrativista e implementar modelos de desenvolvimento que restituam mais do que retiram. Como argumenta Fullerton (2015), economias regenerativas são “economias vivas”, capazes de se adaptar, evoluir e sustentar a vida em todas as suas formas. Em um planeta marcado por mudanças climáticas aceleradas e perda crescente de biodiversidade, a regeneração não é apenas uma alternativa, mas uma necessidade existencial.

6.2 GOVERNANÇA AMBIENTAL E ARTICULAÇÃO ENTRE ATORES SOCIAIS

A governança ambiental consolidou-se como um dos eixos centrais para enfrentar os desafios socioambientais globais, especialmente no contexto de mudanças climáticas, perda de biodiversidade e degradação de ecossistemas. Trata-se de um conceito que extrapola a gestão ambiental tradicional, pois envolve múltiplos atores — Estado, setor privado, sociedade civil, comunidades tradicionais, academia e organismos multilaterais — que interagem para formular, implementar e monitorar políticas orientadas à sustentabilidade (Lemos; Agrawal, 2006). A literatura enfatiza que a governança ambiental opera em arenas multilaterais, intersetoriais e multiescalares, articulando normas formais, práticas sociais, instrumentos regulatórios, mecanismos de mercado e processos participativos (Young, 2017). Essa complexidade exige não apenas coordenação, mas também capacidade adaptativa, transparência e justiça socioambiental.

O marco conceitual da governança ambiental emergiu nas décadas de 1980 e 1990, quando o debate internacional sobre desenvolvimento sustentável ganhou força, especialmente após a publicação do Relatório Brundtland e da Agenda 21. Ostrom (1990) demonstra que recursos de uso comum podem ser geridos de forma cooperativa e sustentável quando há instituições robustas, regras claras e monitoramento social. Os estudos de Ostrom foram decisivos para romper com a visão determinista da “tragédia dos comuns”, proposta por Hardin, ao evidenciar que múltiplos arranjos institucionais podem produzir resultados positivos na gestão de bens coletivos. A governança ambiental, portanto, não é apenas um arranjo formal estatal, mas um sistema de interações entre atores que compartilham responsabilidades e buscam soluções coordenadas para problemas complexos.

A emergência da crise climática ampliou a necessidade de governança ambiental global. O Acordo de Paris estabeleceu um arcabouço para ações cooperativas, compromissos nacionais voluntários (NDCs), instrumentos de transparência e mecanismos de financiamento climático. Todavia, estudos recentes indicam que os compromissos atuais são insuficientes para limitar o aquecimento global a 1,5 °C (IPCC, 2023). Essa insuficiência reforça o argumento de Biermann *et al.* (2010) sobre a necessidade de uma “governança planetária” — um sistema com maior coerência, legitimidade e capacidade operacional frente a desafios que transcendem fronteiras. Nesse sentido, a governança passa a envolver não apenas Estados nacionais, mas redes transnacionais de ONGs, consórcios regionais, tribunais internacionais, movimentos sociais e corporações multinacionais.

No âmbito nacional, a governança ambiental requer articulação entre políticas públicas, sistemas regulatórios e participação social. No Brasil, essa articulação envolve instituições como o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), Conselhos de Meio Ambiente, Ministério Público, agências reguladoras e órgãos estaduais e municipais. A literatura aponta que a efetividade da governança depende da interação entre capacidade institucional, transparência, fiscalização e engajamento social (Viola; Franchini, 2013). Ainda que o país possua arcabouços avançados de proteção ambiental, como o Código Florestal e o Sistema de Unidades de Conservação, desafios persistem em relação ao cumprimento das normas, ao desmatamento ilegal e à fragilidade institucional em determinados contextos.

A participação social constitui um dos pilares da governança ambiental. A inclusão de comunidades tradicionais, povos indígenas, agricultores familiares e organizações da sociedade civil amplia a legitimidade das decisões e contribui com conhecimentos ecológicos locais (Berkes, 2012). Em diversos casos, estudos mostram que práticas comunitárias de manejo — como extrativismo sustentável, pesca artesanal, agroflorestas e territorialidades indígenas; apresentam resultados mais sustentáveis do que modelos centralizados ou puramente mercadológicos. A articulação entre saberes tradicionais e ciência moderna fortalece a governança híbrida, baseada na coprodução de soluções e na gestão compartilhada de recursos naturais.

A governança corporativa ambiental também desempenha papel relevante, especialmente diante do crescente reconhecimento de riscos climáticos e pressões regulatórias. Empresas são atores estratégicos na transição para uma economia de baixo carbono, ao adotarem políticas de ESG, descarbonização, conformidade com TCFD e TNFD, além de estratégias de economia circular e regenerativa (Elkington, 2020). No entanto, estudos críticos alertam para o risco do *greenwashing*, quando ações corporativas se limitam a discursos ou iniciativas superficiais (Delmas; Burbano, 2011). Assim, mecanismos de governança ambiental empresarial devem incluir auditorias independentes, métricas claras, compromissos verificáveis e integração entre sustentabilidade e modelo de negócios.

No campo da governança multinível, Meadowcroft (2007) argumenta que problemas ambientais são intrinsecamente políticos e exigem coordenação entre níveis local, regional, nacional e internacional. Isso implica alinhar políticas de cidades sustentáveis, planos municipais de adaptação climática, políticas estaduais de conservação e compromissos internacionais, evitando sobreposições e lacunas que resultem em ineficiências. A governança ambiental eficiente, portanto, é policêntrica — composta por múltiplos centros de decisão interdependentes que cooperam e competem ao mesmo tempo (Ostrom, 2010). Estudos sobre governança climática policêntrica indicam que cidades, redes de governos locais (como o ICLEI) e iniciativas subnacionais podem acelerar a transição mesmo quando governos nacionais mostram baixa ambição.

A articulação entre atores sociais também depende de processos participativos inclusivos e democráticos. A literatura destaca instrumentos como audiências públicas, consultas prévias (conforme a Convenção 169 da OIT), colegiados deliberativos, planos diretores participativos e orçamentos ambientais. Esses mecanismos ampliam o controle social e a *accountability*, fundamentais para garantir equidade intergeracional e justiça climática (Agyeman; Bullard; Evans, 2003). A governança ambiental não é neutra: envolve disputas por recursos, conflitos territoriais e interesses econômicos. Por isso, a mediação de conflitos socioambientais constitui um campo essencial, que busca conciliar proteção ambiental e direitos humanos.

Observa-se também as questões inerentes ao papel da ciência. A governança ambiental se apoia em evidências científicas, relatórios internacionais (como IPCC e IPBES), indicadores ambientais e monitoramento contínuo. Contudo, a simples produção de conhecimento não garante tomada de decisão adequada. É necessário traduzir evidências em políticas públicas por meio de instituições que facilitem o diálogo entre cientistas, gestores e comunidades. Esse processo de *“boundary work”* — atuação nas fronteiras entre ciência e política — é fundamental para decisões transparentes e eficazes (Cash et al., 2003).

Além disso, a governança ambiental contemporânea incorpora o princípio da justiça socioambiental, reconhecendo que impactos ecológicos recaem de maneira desigual sobre populações vulneráveis. Assim, políticas de adaptação climática, conservação e transição energética devem considerar desigualdades raciais, de renda, gênero e território. A literatura mostra que governanças que negligenciam esses fatores tendem a aprofundar vulnerabilidades e gerar resistência social (Schlosberg; Collins; Niemeyer, 2017).

Finalmente, a articulação entre atores sociais para a governança ambiental envolve a construção de pactos e visões compartilhadas de futuro. Alguns modelos colaborativos — como governança em rede, gestão integrada de bacias hidrográficas, conselhos gestores de unidades de conservação e arranjos de desenvolvimento territorial sustentável — têm demonstrado maior capacidade de resiliência e inovação. Para Viola e Franchini (2013) a cooperação entre universidades, governos, organizações sociais e setor produtivo gera ambientes propícios à pesquisa aplicada, tecnologias verdes, sistemas de restauração ecológica e modelos econômicos regenerativos. Nesse sentido, pode-se compreender que a governança ambiental eficaz é aquela que integra múltiplos atores, reconhece a complexidade dos sistemas socioecológicos e promove decisões legítimas, transparentes e orientadas ao longo prazo.

6.3 GESTÃO AMBIENTAL EM AMBIENTES URBANOS E INDUSTRIAIS

A gestão ambiental em ambientes urbanos e industriais constitui um dos maiores desafios contemporâneos, dada a complexidade dos sistemas socioecológicos que estruturam cidades e pólos produtivos. O acelerado crescimento urbano, intensificado sobretudo a partir da segunda metade do século XX, provocou pressões significativas sobre os recursos naturais, a qualidade do ar, a disponibilidade de água, a geração de resíduos sólidos e a ocupação desordenada do solo. Autores clássicos, como McGranahan e Satterthwaite (2000), já advertiam que áreas urbanas concentram tanto impactos ambientais quanto potencialidades de inovação, constituindo espaços determinantes para a transição rumo à sustentabilidade. Ao mesmo tempo, a industrialização — tradicionalmente associada a modelos lineares de produção e consumo — ampliou emissões atmosféricas, contaminações hídricas, passivos ambientais e conflitos territoriais. Diante desse cenário, a gestão ambiental emerge como instrumento estratégico para equilibrar desenvolvimento econômico, proteção ambiental e justiça socioespacial.

No contexto urbano, a expansão desordenada e a desigual distribuição de infraestrutura resultaram em problemas como ilhas de calor, enchentes, poluição atmosférica e déficit de saneamento básico. A literatura reforça que a sustentabilidade urbana deve ser analisada sob uma perspectiva integrada, considerando mobilidade, uso do solo, energia, água, resíduos e habitação (Newman; Kenworthy, 1999). As cidades, como ressaltam Seto *et al.* (2014), são responsáveis por mais de 70% das emissões globais de dióxido de carbono relacionadas à energia, o que evidencia sua centralidade na mitigação da crise climática. Assim, a gestão ambiental urbana inclui ações como planejamento territorial sustentável, ampliação de áreas verdes, melhoria da infraestrutura de drenagem, monito-

ramento da qualidade do ar e políticas de mitigação e adaptação climática.

O planejamento urbano sustentável, inspirado em diretrizes de organismos como ONU-Habitat, incorpora instrumentos como zoneamento ecológico-econômico, planos diretores participativos, manejo de áreas de risco e expansão de infraestruturas verdes. Estudos recentes mostram que soluções baseadas na natureza (SbN) podem reduzir enchentes, melhorar a qualidade do ar e aumentar a resiliência das cidades frente a eventos climáticos extremos (Cohen-Shacham *et al.*, 2016). A incorporação de parques lineares, telhados verdes, corredores ecológicos e técnicas de urbanismo bioclimático tem se mostrado eficaz para melhorar o microclima urbano, reduzir custos energéticos e promover saúde pública. Esses elementos demonstram como a gestão ambiental urbana não depende apenas de obras de engenharia, mas também da integração entre ecologia urbana, planejamento territorial e participação social.

A gestão dos resíduos sólidos constitui outro ponto crítico. O relatório do Banco Mundial, *What a Waste 2.0* (Kaza *et al.*, 2018), indica que as cidades do mundo geram mais de 2 bilhões de toneladas de resíduos por ano, com tendência de aumento nas próximas décadas. A ausência de sistemas eficientes de coleta seletiva, reciclagem, compostagem e disposição final adequada resulta em contaminação do solo e das águas, proliferação de vetores e impactos socioeconômicos significativos. Modelos de economia circular — conforme proposto pela Ellen MacArthur Foundation (2015) — tornam-se fundamentais na gestão urbana, promovendo a redução, reutilização e recuperação de materiais. As políticas públicas que incentivam logística reversa, ecodesign, cooperativas de catadores e inovação tecnológica são essenciais para reduzir a pressão sobre aterros sanitários e promover inclusão socioeconômica.

A gestão ambiental em ambientes industriais, por sua vez, exige instrumentos de controle, prevenção e inovação tecnológica. A literatura destaca que a indústria, tradicionalmente estruturada em modelos lineares de extração, produção e descarte, deve migrar para sistemas mais circulares, eficientes e menos intensivos em carbono (Porter; van der Linde, 1995). Tecnologias limpas, produção mais eficiente, redução de emissões atmosféricas, tratamento de efluentes e gestão de resíduos industriais são práticas indispensáveis para a sustentabilidade industrial. Além disso, normas internacionais como a ISO 14001 estabelecem parâmetros de gestão ambiental voluntária, incentivando empresas a implementarem mecanismos de monitoramento, auditoria interna e melhoria contínua.

A poluição atmosférica industrial continua sendo um dos principais desafios ambientais. Estudos da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2021) demonstram que milhões de mortes anuais têm relação direta com a má qualidade do ar, especialmente em áreas próximas a zonas industriais. A implementação de filtros, tecnologias de captura de carbono, sistemas de combustão mais eficiente e transição para energias renováveis são ações indispensáveis. No campo hídrico, a gestão de efluentes possui papel central, pois indústrias podem contaminar rios, lagos e aquíferos quando não adotam padrões adequados de tratamento. Tecnologias como biorremediação, reuso de água, tratamento terciário e monitoramento por biossensores têm sido amplamente utilizadas para mitigar tais impactos.

A articulação entre gestão urbana e industrial revela uma interdependência clara: grande parte das indústrias está localizada em zonas urbanizadas ou

periurbanas, compartilhando recursos naturais, infraestrutura e mão de obra. Assim, políticas de gestão ambiental precisam incorporar a lógica de governança territorial, envolvendo prefeituras, órgãos ambientais, setores produtivos, universidades e comunidades locais. O conceito de ecologia industrial, introduzido por Frosch e Gallopoulos (1989), propõe que parques industriais funcionem como ecossistemas, nos quais resíduos de um processo tornam-se insumos para outro, reduzindo desperdícios e emissões. Esse modelo tem influenciado a criação de parques ecoindustriais, nos quais empresas compartilham infraestrutura, otimizam fluxos de energia e adotam padrões colaborativos de sustentabilidade.

No contexto brasileiro, a gestão ambiental urbana e industrial é marcada por desigualdades regionais, fragilidade institucional e desafios de fiscalização. Grandes centros urbanos como São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte apresentam avanços em planos de mobilidade sustentável, monitoramento da qualidade do ar e revitalização de áreas degradadas. Contudo, cidades médias e pequenas ainda enfrentam déficits de saneamento, falta de recursos técnicos, ausência de monitoramento ambiental contínuo e dificuldades na implementação de políticas públicas. Na esfera industrial, apesar de avanços na legislação — incluindo Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), Lei de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007) e normas do CONAMA, persistem problemas como descarte irregular de resíduos, contaminação de solos por atividades minerárias e fragilidade na fiscalização de efluentes.

A participação social constitui componente fundamental em ambos os contextos. Conselhos municipais de meio ambiente, audiências públicas, conferências urbanas e processos de licenciamento participativo fortalecem a legitimidade das decisões e ampliam o controle social. Kaza *et al.* (2018) refletem que, ao mesmo tempo, movimentos sociais urbanos — como aqueles que lutam por moradia, mobilidade e direito à cidade — introduzem a dimensão da justiça socioambiental no debate, questionando modelos que concentram impactos negativos em populações vulneráveis. Assim, a gestão ambiental urbana e industrial não pode ser pensada apenas em termos técnicos: é também um processo político que envolve disputas por território, infraestrutura e direitos fundamentais.

Seto *et al.* (2014) observam que a integração entre inovação tecnológica, políticas públicas e participação social representa o caminho mais promissor para transformar cidades e polos industriais em ambientes verdadeiramente sustentáveis. A transição energética, a mobilidade elétrica, a gestão inteligente de resíduos, o urbanismo de baixo carbono, a implantação de SbN, a digitalização de sistemas de monitoramento e os modelos de circularidade industrial constituem estratégias fundamentais para o futuro. A gestão ambiental, nesse contexto, assume papel de liderança na articulação dessas soluções e na construção de cidades e indústrias mais resilientes, inclusivas e ecologicamente equilibradas.

6.4 TENDÊNCIAS CIENTÍFICAS E FUTURAS AGENDAS DE PESQUISA

As tendências científicas relacionadas à sustentabilidade, governança ambiental e transformação socioecológica têm se caracterizado por uma crescente interdisciplinaridade, pela incorporação de métodos avançados de modelagem e pela ampliação de abordagens que conectam ciências naturais, sociais e tec-

nológicas. A literatura clássica já apontava a necessidade de integrar sistemas ecológicos e dinâmicas humanas para compreender mudanças globais (Odum, 1988; Morin, 2005). No entanto, estudos recentes têm enfatizado a urgência de construir agendas de pesquisa que respondam aos limites planetários, à crise climática, à perda de biodiversidade e às desigualdades socioambientais, destacando a transição para modelos econômicos circulares e regenerativos (Rockström *et al.*, 2009; Raworth, 2017).

Uma das principais tendências emergentes é a consolidação da ciência da sustentabilidade como campo transdisciplinar. Ela busca integrar conhecimentos de ecologia, economia, engenharia, planejamento urbano, ciências políticas e estudos culturais, estruturando diagnósticos complexos e soluções multiesca-lares. Conforme Kates *et al.* (2001), essa ciência se caracteriza por investigar interações entre natureza e sociedade, propondo alternativas para a manutenção da resiliência dos sistemas socioecológicos. Nas últimas duas décadas, a produção científica reforçou que sustentabilidade não se limita à mitigação de impactos, mas envolve transformações profundas nos sistemas de produção, consumo e governança (Elmqvist *et al.*, 2019).

Outra linha em ascensão refere-se aos modelos de governança policêntrica, que visam romper com formas hierárquicas tradicionais e promover a articulação entre múltiplos atores — governos, empresas, sociedade civil, comunidades locais, redes internacionais e sistemas de conhecimento tradicionais. Ostrom (2010) já indicava que problemas ambientais complexos exigem soluções compartilhadas e institucionalidades flexíveis. Pesquisas mais recentes têm avaliado como arranjos policêntricos podem fortalecer processos de adaptação climática, ampliar a justiça socioambiental e promover mecanismos participativos de tomada de decisão (Jordan; Huitema, 2014). Este debate se insere no avanço das agendas de justiça ambiental, que ampliam o foco da sustentabilidade para questões de equidade racial, territorial e intergeracional.

O campo da ecologia industrial e da economia circular também tem orientado investigações sobre fluxos de materiais, eficiência energética e redução de resíduos. A economia circular, em especial, tem sido discutida não apenas como técnica de reaproveitamento, mas como transformação estrutural nas cadeias produtivas, apoiada por modelos de inovação, bioeconomia e tecnologia limpa (Geissdoerfer *et al.*, 2017). Estudos recentes avaliam a relação entre circularidade, descarbonização e desenvolvimento econômico de baixo impacto ambiental, considerando diferentes setores industriais.

A incorporação de tecnologias emergentes intensifica outra tendência relevante. Sistemas de sensoriamento remoto, inteligência artificial, Internet das Coisas (IoT), *digital twins* e computação em nuvem têm servido para monitoramento ambiental, gestão de recursos naturais e previsão de eventos extremos climáticos. A literatura identifica que a digitalização ambiental, quando articulada com princípios éticos e de governança, pode contribuir para maior precisão nos diagnósticos e maior capacidade de resposta a riscos socioambientais (Silva; Zhang; Duarte, 2023). Todavia, pesquisadores alertam que a expansão tecnológica deve ser combinada com participação social e inclusão de grupos vulnerabilizados, evitando ampliar desigualdades.

Outra tendência vigorosa é o fortalecimento de pesquisas sobre resiliência urbana, especialmente diante do crescimento populacional e da intensificação

de eventos climáticos extremos. A ONU-Habitat (2020) destaca que cidades do mundo todo enfrentam desafios relacionados a enchentes, ilhas de calor, poluição atmosférica e escassez hídrica. Estudos sobre infraestrutura verde, planejamento territorial inclusivo, justiça climática urbana e soluções baseadas na natureza constituem agendas essenciais para a construção de cidades sustentáveis (Kabisch *et al.*, 2022). Tais pesquisas conectam conhecimentos ecológicos e práticas sociais, indicando que a resiliência depende tanto de infraestrutura quanto de governança comunitária.

Do ponto de vista epistemológico, cresce a valorização de abordagens que reconhecem a diversidade de sistemas de conhecimento, incluindo saberes tradicionais e indígenas. Morin (2005) afirma que o pensamento complexo exige o reconhecimento da pluralidade epistemológica. Algumas pesquisas recentes mostram que territórios manejados por povos originários apresentam maiores índices de conservação e resiliência ecológica, indicando que a integração desses conhecimentos deve compor as futuras agendas de pesquisa (IPBES, 2019). As agendas futuras deverão priorizar a transição para sociedades regenerativas, capazes de restaurar ecossistemas, promover justiça social e reconfigurar padrões produtivos. A literatura aponta três eixos centrais: (1) descarbonização acelerada, com foco em energias renováveis, redução de emissões industriais e inovação tecnológica; (2) restauração ecológica e conservação da biodiversidade, integrando ciência, políticas públicas e governança comunitária; e (3) fortalecimento de mecanismos participativos, indispensáveis para garantir legitimidade, transparência e equidade nas decisões ambientais.

Kabisch *et al.* (2022) argumentam que algumas agendas de pesquisa tendem a ampliar o uso de metodologias quantitativas avançadas, como modelagem baseada em agentes, machine learning, análise multicritério e simulações climáticas, combinadas a abordagens qualitativas que investigam conflitos, percepções sociais e dinâmicas culturais. A integração metodológica será fundamental para responder a fenômenos complexos e orientar políticas públicas eficazes. Assim, o futuro da pesquisa ambiental depende da articulação entre rigor científico, inovação tecnológica e compromisso ético com sociedades mais sustentáveis e resilientes.



CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS



A consolidação de um paradigma ambiental robusto, integrado e capaz de responder às múltiplas crises socioecológicas contemporâneas constitui um dos mais relevantes desafios do século XXI. Ao longo deste trabalho, evidenciou-se que a compreensão das dinâmicas ambientais, especialmente das relacionadas à crise climática, à perda de biodiversidade, aos limites planetários, à governança ambiental e às reconfigurações produtivas, exige uma abordagem profundamente interdisciplinar, transdisciplinar e orientada por princípios éticos, científicos e democráticos. As reflexões desenvolvidas nos capítulos anteriores permitiram identificar elementos estruturantes que caracterizam o momento atual, assim como apontar caminhos possíveis para as agendas de pesquisa, formulação de políticas públicas, prática empresarial e engajamento social.

As crises que atravessam os sistemas naturais e sociais não são fenômenos isolados, mas expressões de um modelo histórico que consolidou padrões de exploração ambiental, desigualdade social e crescimento econômico desvinculado da capacidade regenerativa da Terra. A crise climática, por exemplo, é simultaneamente causa e consequência de dinâmicas produtivas intensivas em carbono, desmatamento, urbanização acelerada, expansão agroindustrial e uso insustentável de recursos naturais. Da mesma forma, a perda de biodiversidade não se limita à diminuição de espécies, mas representa a erosão de funções ecossistêmicas essenciais, como polinização, regulação climática, ciclagem de nutrientes e estabilidade hídrica. Ao mesmo tempo, esses processos impactam diretamente a saúde humana, a segurança alimentar, a economia global, os meios de subsistência tradicionais e a governança dos territórios.

Embora a literatura científica tenha avançado significativamente em diagnósticos e modelagens, permanece evidente que a dimensão política, cultural e institucional desempenha um papel central na transformação socioambiental. A governança ambiental, especialmente em contextos de incerteza e risco, precisa articular diferentes escalas (local, regional, nacional e global) e diferentes atores — Estado, empresas, comunidades, academia, organizações da sociedade civil e organismos multilaterais. Essa articulação, longe de ser linear, demanda processos participativos, mecanismos de compartilhamento de poder, transparência na tomada de decisões e reconhecimento da pluralidade de saberes e experiências.

Um dos elementos mais expressivos identificados nas análises realizadas é a importância das abordagens policêntricas de governança, capazes de lidar com a complexidade e de fomentar cooperação e inovação institucional. A verticalização das decisões, típica de modelos centralizados, tem se mostrado insuficiente para responder à amplitude dos desafios ambientais contemporâneos. Ao contrário, arranjos flexíveis, descentralizados e cooperativos tendem a produzir soluções mais duradouras, contextualizadas e socialmente legítimas, sobretudo em temas tão sensíveis quanto a gestão hídrica, a adaptação climática, o ordenamento territorial e a conservação de ecossistemas estratégicos.

Outro eixo fundamental das reflexões diz respeito à transição para modelos econômicos sustentáveis, circulares e regenerativos. As análises desenvolvidas demonstram que a economia convencional, baseada na expansão contínua da produção e no consumo ilimitado, está em desacordo com os limites biofísicos que sustentam a vida no planeta. A economia circular oferece alternativas viáveis ao enfatizar o redesenho de processos produtivos, a maximização da eficiência energética, a redução do desperdício e o reaproveitamento de materiais. Entre-

tanto, como argumentado nos capítulos anteriores, a circularidade não pode ser compreendida apenas como uma técnica, mas como um novo paradigma organizacional, tecnológico e sociocultural.

Do mesmo modo, o conceito de economia regenerativa amplia esse horizonte ao promover práticas que restauram ecossistemas, fortalecem a resiliência dos territórios, valorizam saberes tradicionais e reorientam a relação entre humanidade e natureza. Tal perspectiva, como demonstrado, implica rever padrões de consumo, reconfigurar políticas industriais, estimular inovação limpa e transformar prioridades de investimento — especialmente em países que enfrentam vulnerabilidades climáticas e desigualdades históricas.

As discussões também permitiram compreender que ambientes urbanos e industriais constituem espaços-chave para a transição socioambiental. A urbanização acelerada, associada ao crescimento populacional e à concentração de infraestrutura, intensifica pressões sobre os ecossistemas e sobre a qualidade de vida da população. Enfrentar desafios urbanos, como mobilidade sustentável, tratamento de resíduos, poluição atmosférica, eficiência energética e gestão hídrica, requer abordagens integradoras que considerem tanto a infraestrutura física quanto os usos sociais do espaço. Soluções baseadas na natureza, políticas de adaptação climática, planejamento territorial inclusivo e avaliação ambiental estratégica emergem como instrumentos indispensáveis para a construção de cidades resilientes e sustentáveis.

No âmbito industrial, emerge com força o conceito de simbiose industrial, que propõe a cooperação entre empresas para o compartilhamento de recursos, resíduos e energia, reduzindo impactos ambientais e aumentando a eficiência produtiva. Ainda que essas iniciativas tenham se ampliado em diferentes países, persistem barreiras importantes, como a falta de marcos regulatórios específicos, resistência organizacional, baixa integração tecnológica e limitações de investimento. Contudo, a tendência futura aponta que a digitalização ambiental, seja por meio de tecnologias como inteligência artificial, sensores remotos, big data, internet das coisas e *digital twins*, que poderá acelerar processos de transição, monitorar impactos em tempo real e subsidiar decisões estratégicas mais coerentes com os limites ecológicos.

Outro ponto central das reflexões diz respeito à relevância dos conhecimentos tradicionais e da diversidade epistemológica. A crise ecológica é, também, uma crise de visão de mundo. Sociedades que historicamente valorizaram a dominação da natureza em vez de sua interdependência criaram condições estruturais para a insustentabilidade. Em contrapartida, povos indígenas e comunidades tradicionais sustentam práticas milenares de manejo territorial que promovem conservação da biodiversidade, manutenção de florestas e equilíbrio ecológico. Integrar esses saberes às agendas de pesquisa e às políticas públicas não é apenas um ato de justiça, mas condição fundamental para soluções mais eficazes e contextualizadas.

As tendências científicas analisadas convergem para a necessidade de fortalecer a ciência da sustentabilidade como campo transdisciplinar e orientado à resolução de problemas complexos. Isso exige, necessariamente, ampliar o diálogo entre áreas do conhecimento, integrar métodos quantitativos e qualitativos, valorizar a coprodução de conhecimento com comunidades e incorporar princípios éticos nas decisões científicas e políticas. Tal ciência, ao articular rigor analíti-

co, inovação metodológica e compromisso social, torna-se um motor estratégico para a transição socioecológica.

Dentre as principais conclusões deste trabalho, destaca-se também o papel que empresas e organizações desempenham na governança ambiental. A crescente incorporação da responsabilidade socioambiental corporativa, embora heterogênea, aponta para uma transformação no modo como o setor privado compreende riscos, oportunidades e responsabilidades. Empresas que adotam práticas sustentáveis, monitoramento ESG, transparência e mecanismos de mitigação climática tendem a aumentar resiliência, competitividade e legitimidade social. Contudo, é fundamental diferenciar práticas efetivas de sustentabilidade de estratégias superficiais de marketing ambiental (*greenwashing*). Portanto, as agendas futuras requerem mecanismos mais robustos de fiscalização, padronização de métricas e incentivos para inovação realmente sustentável.

No campo da política pública, emergem desafios estruturais relacionados à implementação, fiscalização e continuidade de ações ambientais. A desconcontinuidade administrativa, a fragmentação institucional e a insuficiência de recursos constituem obstáculos recorrentes. Assim, torna-se necessário fortalecer instituições ambientais, ampliar a cooperação entre entes federativos, consolidar marcos regulatórios coerentes e garantir participação social qualificada nos processos decisórios.

Outro aspecto que merece destaque é o papel da educação ambiental e da comunicação científica na construção de uma cultura sustentável. Transformações estruturais não se consolidam sem mudanças culturais profundas, capazes de modificar valores, comportamentos e percepções. A educação ambiental, quando tratada não como atividade pontual, mas como processo formativo contínuo, crítico e emancipador, contribui para formar cidadãos conscientes, capazes de questionar padrões estabelecidos e de atuar coletivamente na defesa do meio ambiente. Da mesma forma, a comunicação científica desempenha papel central na disseminação de informações confiáveis, na redução da desinformação e na mobilização social.

Ao integrar os conteúdos desenvolvidos ao longo de todos os capítulos, fica evidente que a construção de um futuro sustentável exige uma convergência entre ciência, política, economia e participação social. Nenhum desses elementos, isoladamente, é capaz de responder aos desafios ambientais globais. Somente a combinação entre conhecimento científico qualificado, governança democrática, inovação tecnológica e responsabilidade socioeconômica poderá produzir transformações reais e duradouras.

Em última instância, este trabalho reafirma que construir sociedades sustentáveis é um projeto civilizatório. Ele exige imaginar novos modos de viver, produzir, consumir e se relacionar com o planeta. Exige, sobretudo, coragem política, compromisso ético, inovação científica e engajamento coletivo. As análises aqui apresentadas demonstram que caminhos existem, conhecimento existe, tecnologias existem, mas sua efetividade depende das escolhas políticas e sociais que fazemos hoje. É o entrelaçamento entre ciência, governança e cidadania que definirá não apenas o futuro das próximas gerações, mas a própria capacidade de continuidade da vida em sua diversidade e plenitude.

A ampliação das considerações finais permite aprofundar os desdobramentos teóricos, metodológicos e práticos da gestão ambiental, sobretudo no que diz

respeito às agendas futuras de pesquisa e às transformações necessárias para enfrentar desafios em escala local e global. Um primeiro aspecto que se destaca é a necessidade de fortalecer abordagens inter e transdisciplinares capazes de integrar conhecimentos das ciências naturais, sociais, tecnológicas e humanas. A complexidade inerente aos problemas ambientais contemporâneos — como mudanças climáticas, perda de biodiversidade, escassez de recursos hídricos, riscos tecnológicos e desigualdades socioambientais — exige modelos investigativos que ultrapassem fronteiras disciplinares tradicionais e incorporem métodos mistos, análises sistêmicas e ferramentas prospectivas. Pesquisas futuras tendem a aprofundar o estudo de sistemas socioecológicos, da resiliência urbana, do papel das tecnologias emergentes na mitigação de impactos e da análise de políticas públicas baseada em evidências, ampliando a capacidade de previsão, intervenção e avaliação de cenários socioambientais. Assim, há um espaço significativo para investigações que integrem modelagem ambiental, governança adaptativa, economia ecológica, ecologia política, justiça ambiental e ciência de dados aplicada.

Outro desdobramento relevante refere-se à necessidade de examinar, com maior rigor, o papel da inovação e da tecnologia na transição para modelos sustentáveis de produção, consumo e desenvolvimento territorial. A crescente incorporação de tecnologias verdes, inteligência artificial, sistemas de monitoramento em tempo real, geotecnologias e soluções baseadas na natureza demanda estudos que avaliem não apenas sua eficácia técnica, mas também seus impactos éticos, sociais e econômicos. Futuras pesquisas podem explorar como diferentes setores econômicos — indústria, agricultura, infraestrutura urbana, transportes e energia — estão internalizando práticas sustentáveis e como instrumentos de gestão, como avaliação de impacto ambiental, licenciamento, relatórios de sustentabilidade e sistemas de gestão ambiental, podem ser potencializados por meio de inovação tecnológica.

Além disso, é essencial aprofundar o debate sobre economia circular e regenerativa, investigando cadeias produtivas, eficiência energética, biomimética, recuperação de materiais, processos limpos e novos indicadores que permitam mensurar ganhos ambientais reais. Essa agenda demanda estudos empíricos, análises comparativas internacionais e avaliações de políticas públicas que examinem as condições institucionais e regulatórias necessárias para acelerar a transição ecológica em países com realidades socioeconômicas diversas, como o Brasil.

Finalmente, pesquisas futuras devem concentrar esforços em compreender e fortalecer a governança ambiental, especialmente em contextos marcados por conflitos territoriais, pressões econômicas, vulnerabilidades sociais e desigualdade de acesso aos recursos naturais. O avanço de modelos de governança policêntrica, colaborativa e participativa abre novas possibilidades investigativas sobre articulação de atores sociais, transparência, mecanismos de controle social, co-produção de conhecimento e eficácia institucional. Tópicos como adaptação climática, políticas de conservação, gestão integrada de bacias hidrográficas, sustentabilidade urbana, segurança hídrica e proteção de populações vulneráveis exigem investigações profundas sobre como instituições públicas, setor privado, organizações comunitárias e academia podem atuar de forma coordenada. Ademais, torna-se imprescindível ampliar estudos sobre justiça ambiental, racismo ambiental, direitos territoriais e os impactos diferenciados das mudanças climá-

ticas em populações marginalizadas. Do ponto de vista metodológico, há demanda crescente por pesquisas comparativas, avaliações de políticas, métodos participativos, monitoramento de longo prazo e integração entre ciência cidadã e ciência profissional.

Posto isto, os desdobramentos apresentados indicam que a gestão ambiental permanecerá como campo estratégico e em constante evolução, dependente de conhecimento científico robusto, inovação contínua e participação efetiva dos diversos atores sociais para enfrentar os desafios do presente e construir um futuro sustentável e equitativo.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, A. **O Bem Viver**: uma oportunidade para imaginar outros mundos. São Paulo: Autonomia Literária, 2016.
- ACSELRAD, H. **Conflitos ambientais no Brasil**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2004.
- AGYEMAN, J.; BULLARD, R.; EVANS, B. **Just Sustainabilities**: Development in an Unequal World. Cambridge: MIT Press, 2003.
- ATLAS, R. M.; PHILP, J. **Environmental Biotechnology**: A Biosystems Approach. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2013.
- BARBIERI, José Carlos et al. Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. **Revista de Administração de Empresas**, v. 50, n. 2, p. 146-154, 2010.
- BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial**: conceitos, modelos e instrumentos. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2020.
- BARLOW, J. et al. The future of hyperdiverse tropical ecosystems. **Nature**, v. 584, p. 1-16, 2020.
- BATISTA, T.; COSTA, L. Cidades Inteligentes e Gestão Sustentável. **Revista de Estudos Urbanos**, v. 12, n. 2, p. 45-63, 2022.
- BENJAMIN, A. H. V. **Direito constitucional ambiental**. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2011.
- BIERMANN, F. et al. The fragmentation of global governance architectures. **Global Environmental Politics**, v. 10, n. 4, p. 15-32, 2010.
- BOIRAL, O.; HERAS-SAZARBITORIA, I.; BROTHERTON, M. Improving environmental management through ISO 14001: 2015. **Environmental Science & Policy**, v. 98, p. 1-7, 2019.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988.
- BRASIL. **Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999**. Dispõe sobre a Política Nacional de Educação Ambiental. Brasília: Diário Oficial da União, 1999.
- BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF: Presidência da República, 1981.
- BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, 2010.
- CARSON, Rachel. **Silent Spring**. Boston: Houghton Mifflin, 1962.
- CASH, D. et al. Knowledge systems for sustainable development. **PNAS**, v. 100, p. 8086–8091, 2003.
- CMMAD – Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Nosso futuro comum. Rio de Janeiro: FGV, 1987.
- COHEN-SHACHAM, E. et al. **Nature-based solutions to address global societal challenges**. IUCN, 2016.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n.º 01, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental.
- DALY, H.; FARLEY, J. **Ecological Economics**: Principles and Applications. Washington: Island Press, 2010.
- DELMAS, M.; BURBANO, V. The drivers of greenwashing. **California Management Review**, v. 54, n. 1, p. 64–87, 2011.
- DEMO, P. **Pesquisa e Construção do Conhecimento**. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1995.
- DONAIRE, D. **Gestão ambiental na empresa**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- DORNFELD, D. **Green Manufacturing**: Fundamentals and Applications. New York: Springer, 2014.
- EEA – European Environment Agency. **Environmental indicators and the DPSIR framework**. Copenhagen: EEA, 2019.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards a Circular Economy**: Business Rationale for an Accelerated Transition. Cowes, 2015.

ELKINGTON, J. **Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business**. Oxford: Capstone, 1997.

ELMQVIST, Thomas et al. **Urban Planet: Knowledge towards sustainable cities**. Cambridge: Cambridge University Press, 2019.

FIORILLO, C. A. P. **Curso de direito ambiental brasileiro**. 20. ed. São Paulo: Saraiva, 2019.

FOLKE, C. et al. Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability. **Ambio**, v. 45, n. 1, p. 1–13, 2016.

FROSCH, R.; GALLOPOULOS, N. Strategies for manufacturing. **Scientific American**, v. 261, p. 144–152, 1989.

FULLERTON, J. Regenerative Capitalism: How universal principles and patterns will shape our new economy. **Capital Institute**, 2015.

GEELS, F. W. The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 1, n. 1, p. 24–40, 2011.

GEISSDOERFER, Martin et al. The circular economy – a new sustainability paradigm?. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 757–768, 2017.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **The Entropy Law and the Economic Process**. Cambridge: Harvard University Press, 2013.

GLASSON, J.; THERIVEL, R.; CHADWICK, A. **Introduction to Environmental Impact Assessment**. 4. ed. London: Routledge, 2013.

HARVEY, David. **Rebel Cities: From the Right to the City to the Urban Revolution**. London: Verso, 2012.

HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, L. R. **Natural Capitalism**. New York: Little, Brown and Company, 1999.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Relatório de Avaliação do PPCDAm**. São José dos Campos, 2013.

IPBES. **Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services**. Bonn: IPBES Secretariat, 2019.

IPBES; IPCC. **Biodiversity and Climate Change Scientific Outcome**. 2021.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Geneva: IPCC, 2021.

IPCC. **Sixth Assessment Report**. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022.

IRENA. **World Energy Transitions Outlook 2023**. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2023.

ISO. **ISO 14001: Environmental management systems – Requirements with guidance for use**. Geneva: ISO, 2015.

ISO. **ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework**. Geneva: ISO, 2006.

ISO. International Organization for Standardization. **ISO 14001: Environmental Management Systems**. Geneva: ISO, 2021.

JACOBI, P. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, n. 118, p. 189–205, 2003.

JACOBS, M. **Greening the Economy: Environment, Sustainable Development and the Politics of the Future**. New York: Palgrave Macmillan, 2016.

JOHN, V.; AGOPYAN, V. **Materiais de Construção Sustentáveis**. São Paulo: Blucher, 2014.

JORDAN, Andrew; HUITEMA, Dave. Innovations in climate policy: the politics of invention, diffusion, and evaluation. **Environmental Politics**, v. 23, n. 5, p. 715–734, 2014.

KABISCH, Nadja et al. **Nature-based solutions for urban challenges**. Springer, 2022.

KATES, Robert W. et al. Sustainability Science. **Science**, v. 292, p. 641–642, 2001.

- KAZA, S. et al. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Washington: World Bank, 2018.
- KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPÄLÄ, J. Circular Economy: The Concept and its Limitations. **Ecological Economics**, v. 143, p. 37-46, 2018.
- LEFF, E. **Epistemologia ambiental**. São Paulo: Cortez, 2010.
- LEFF, Enrique. Racionalidade ambiental: a reapropriação social da natureza. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2016.
- LEFF, E. **A aposta da sustentabilidade**. São Paulo: Cortez, 2018.
- LEME, T. N. **Gestão ambiental e políticas públicas: desafios e perspectivas**. São Paulo: Atlas, 2018.
- LOUREIRO, Carlos Frederico Bernardo. **Educação ambiental: crítica e política**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2012.
- MARSH, G. P. **Man and Nature**. New York: Charles Scribner, 1864.
- McCORMICK, John. **Rumo ao paraíso: a história do movimento ambientalista**. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, 1992.
- MCGRANAHAN, G.; SATTERTHWAIT, D. Environmental health in urban areas. **Earthscan**, 2000.
- MEA – Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Washington: Island Press, 2005.
- MEADOWS, D. et al. **The Limits to Growth**. New York: Universe Books, 1972.
- MEADOWS, D. Thinking in Systems: A Primer. White River Junction: Chelsea Green, 2004.
- MEADOWCROFT, J. Environmental political economy, technological transitions and the state. **New Political Economy**, v. 12, n. 4, p. 479–498, 2007.
- MEDIROS, R. **A política de conservação no Brasil: histórico, avanços e desafios**. Rio de Janeiro: FGV, 2006.
- MILARÉ, É. **Direito do ambiente**. 10. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2015.
- MORAES, L. F. R. **Direito ambiental e participação social**. São Paulo: Atlas, 2018.
- MORIN, E. **A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.
- MORIN, E. **A Cabeça Bem-feita: Repensar a Reforma, Reformar o Pensamento**. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.
- MORIN, Edgar. **Introdução ao pensamento complexo**. 3. ed. Porto Alegre: Sulina, 2005.
- NEWMAN, P.; KENWORTHY, J. **Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence**. Washington: Island Press, 1999.
- NOBRE, I.; NOBRE, C. A. The Amazonia third way initiative. **Environmental Science & Policy**, v. 111, p. 1-8, 2020.
- OCDE. **OECD Environmental Indicators: Towards Sustainable Development**. Paris: OECD, 2003.
- ODUM, Eugene P. Fundamentals of Ecology. 3. ed. Philadelphia: W. B. Saunders, 1971.
- ONU. Organização das Nações Unidas. **Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano**. Estocolmo: ONU, 1972.
- ONU. Organização das Nações Unidas. **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: ONU, 1992.
- ONU. **Acordo de Paris**. Nova York: ONU, 2015.
- OSTROM, E. **Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- OSTROM, E. Polycentric systems for coping with collective action problems. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 81, p. 1-12, 2010.
- OSTROM, E. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. **Science**, v. 325, p. 419–422, 2009.

- PEARCE, D.; MARKANDYA, A.; BARBIER, E. **Blueprint for a Green Economy**. London: Earthscan, 1989.
- PHILIPPI JR., A.; ROMÉRO, M. A. (org.). **Gestão ambiental e sustentabilidade**. Barueri: Manole, 2014.
- PORTER, M.; VAN DER LINDE, C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. **Journal of Economic Perspectives**, v. 9, p. 97–118, 1995.
- RAWORTH, K. **Doughnut Economics**. London: Random House, 2017.
- ROCKSTRÖM, J. et al. A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, p. 472–475, 2009.
- ROSA, J.; SANTOS, P.; MENDES, A. Biopolímeros e Sustentabilidade. **Revista Brasileira de Bioengenharia**, v. 6, n. 1, p. 77-91, 2020.
- SACHS, Ignacy. Caminhos para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.
- SACHS, I. **Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.
- SACHS, J. D. **The age of sustainable development**. New York: Columbia University Press, 2015.
- SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- SCHLOSBERG, D.; COLLINS, L.; NIEMEYER, S. Adaptation policy and community discourse. **Environmental Politics**, v. 26, p. 370–390, 2017.
- SEIFFERT, M. E. B. **Gestão ambiental: instrumentos, metodologias e práticas para o desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2014.
- SEROA DA MOTTA, R. **Economia ambiental**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- SETO, K. et al. Human settlements, infrastructure and spatial planning. In: **IPCC Fifth Assessment Report**. Geneva: IPCC, 2014.
- SILVA, João; ZHANG, Wei; DUARTE, Marina. Digital technologies for environmental governance. **Environmental Systems Research**, v. 12, p. 1-18, 2023.
- SILVA, R.; MORAES, L.; FARIAS, G. Redes Inteligentes e Sustentabilidade Energética. **Revista de Energia e Tecnologia**, v. 5, n. 3, p. 112-130, 2021.
- SILVA, M. R.; BERNARDES, J. L.; CORRÊA, R. S. Responsabilidade socioambiental e cultura organizacional: tendências e desafios. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 21, n. 3, p. 45-63, 2021.
- SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION. **International Principles and Standards for the Practice of Ecological Restoration**. 2. ed., Washington: SER, 2019.
- SOUZA, A. A.; PEREIRA, M. C. Licenciamento ambiental no Brasil: desafios e perspectivas. **Revista de Administração Pública**, v. 55, n. 2, p. 345-366, 2021.
- TESTA, F.; BOIRAL, O.; IRALDO, F. Internalization of environmental externalities in corporate practices: The role of ISO 14001. **Business Strategy and the Environment**, v. 27, n. 7, p. 1357-1367, 2018.
- UNEP. **Global Environmental Outlook 7**. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2022.
- UNESCO. **Education for Sustainable Development: A roadmap**. Paris: UNESCO, 2020.
- UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change**. Bonn, 1998.
- VIOLA, E.; FRANCHINI, M. **Climate Politics in Brazil: Public Awareness, Social Transformations and Emissions Reduction**. New York: Springer, 2013.
- YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- YOUNG, O. **International governance: protecting the environment in a stateless society**. Ithaca: Cornell University Press, 2017.
- YOUNG, O. et al. Governing complex systems: social-ecological resilience and institutional responses. **Global Environmental Change**, v. 68, 2021.
- WCED. World Commission on Environment and Development. **Our Common Future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. ***Air Quality Guidelines***. Geneva: WHO, 2021.

WILSON, E. O. ***Half-Earth***: Our Planet's Fight for Life. New York: Liveright, 2016.

Este livro analisa os principais marcos históricos, institucionais, científicos e tecnológicos que fundamentam a gestão ambiental contemporânea, evidenciando sua complexidade e caráter interdisciplinar diante dos desafios socioambientais do século XXI. A obra examina a evolução das políticas públicas, dos instrumentos normativos e dos modelos de governança que estruturam a agenda da sustentabilidade em níveis global e nacional. Ao articular ciência, inovação e tecnologias verdes, discute o papel da pesquisa aplicada, do planejamento e dos sistemas de gestão ambiental na tomada de decisão. Por fim, aborda os desafios da crise climática, da perda da biodiversidade e das transições energéticas, defendendo a integração entre conhecimento científico, participação social e justiça socioambiental como caminho para um futuro sustentável.

ISBN 978-65-84364-06-6

