

# ANÁLISE DA INCLUSÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA COMO INSTRUMENTO DA POLÍTICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

<http://dx.doi.org/10.21527/2176-6622.2023.59.12758>

Submetido em: 25/9/2021

Aceito em: 19/9/2022

**Patrícia Albuquerque Vieira**

Autora correspondente: Universidade Federal do Ceará – UFC. Av. da Universidade, 2853. Benfica – CEP 60020-181 – Fortaleza/CE, Brasil. <http://lattes.cnpq.br/2211395443690436>. <https://orcid.org/0000-0002-7351-0541>. [patriciaalbuquerquevieira@hotmail.com](mailto:patriciaalbuquerquevieira@hotmail.com)

**Stephanie Cristina de Sousa Vieira**

Universidade Federal do Ceará – UFC. Fortaleza/CE, Brasil. <http://lattes.cnpq.br/8711290450582118>. <https://orcid.org/0000-0001-6316-3526>

**Valéria Sandra de Oliveira Costa**

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Recife/PE, Brasil. <http://lattes.cnpq.br/2411998717256147>. <https://orcid.org/0000-0002-6632-2489>

## RESUMO

A crise social e ambiental na qual o Brasil está inserido, caracterizada pelo atual e predatório modelo de desenvolvimento, coloca em risco a sobrevivência das espécies humanas e não humanas da presente e das futuras gerações, de maneira que novas estratégias devem ser utilizadas, a fim de evitar novos danos ao meio ambiente. O presente artigo busca investigar como e em que medida a modelagem matemática pode contribuir na forma de instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), Lei nº 6.938/81, em um novo inciso, a fim de agregar confiabilidade ao Estudo de Impacto Ambiental e ao seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental, bem como exercer função mais preventiva e cautelosa no gerenciamento dos efeitos dos impactos ambientais. Para tanto, percebe-se, inicialmente, a crise ambiental, na qual a sociedade está inserida, como um meio impulsionador de mudanças de percepções e paradigmas. Por conseguinte, faz-se a análise da PNMA, de seus objetivos e instrumentos para, finalmente, explorar a possibilidade de utilização da precisão da modelagem matemática nesta lei, como um meio efetivo para que sejam evitados mais danos ambientais. A metodologia envolve pesquisa interdisciplinar, com orientação epistemológica na teoria crítica, que congrega teoria e práxis, e articula as áreas de Sociologia, Direito Ambiental e Economia. Conclui-se que, para a concretização do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, a utilização da modelagem matemática se mostra adequada à proteção ecológica e pró-ativa à efetivação de uma análise mais precisa, preventiva, precaucional e menos descritiva dos riscos de impacto ante os prejuízos ambientais.

**Palavras-chave:** Crise ambiental; complexidade ambiental; estudo de impacto ambiental; direito ambiental.

## ANALYSIS OF THE INCLUSION OF MATHEMATICAL MODELING AS AN INSTRUMENT ENVIRONMENTAL POLICY

## ABSTRACT

The social and environmental crisis in which Brazil is inserted, characterized by the current and predatory development model, puts the survival of human and non-human species of the present and future generations at risk, so that new strategies must be used to prevent further damage to the environment. This article seeks to investigate how and to what extent mathematical modeling can contribute to the form of an instrument of the National Environmental Policy (PNMA), Law nº 6.938/81, in a new item, to add reliability to the Environmental Impact Study and its respective Environmental Impact Report and to exercise a more preventive and cautious role in managing the effects of environmental impacts. Therefore, initially, the environmental crisis, in which society is inserted, is perceived as a means of driving changes in perceptions and paradigms. Therefore, the PNMA, its objectives and instruments are analyzed to, finally, explore the possibility of using the precision of mathematical modeling in this law, as an effective means to avoid environmental damage. The methodology involves interdisciplinary research, with an epistemological orientation in critical theory, brings together theory and praxis and articulates Sociology, Environmental Law and Economics. It is concluded that, for the realization of the right to an ecologically balanced environment, the use of mathematical modeling proves to be adequate for ecological and proactive protection to carry out a more precise, preventive, precautionary and less descriptive analysis of the risks of impact in the face of damages. environmental.

**Keywords:** Environmental crisis; environmental complexity; environmental impact study; environmental law.

## 1 INTRODUÇÃO

A relação entre o ser humano e a natureza, caracterizada pelo paradigma antropocêntrico, tem se mostrado bastante nociva para o meio ambiente. As mais de sete milhões de pessoas que habitam o Planeta Terra exercem forte pressão sobre os recursos naturais, que são finitos. Por este motivo, a degradação ambiental é perceptível, não somente sob o viés ecológico, mas também o humanitário.

O último relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC, 2021) apontou que, equivocadamente, a composição da atmosfera está mudando em virtude das emissões de gases e aerossóis provocadas pelas atividades antrópicas, de modo a evidenciar a necessidade de formação de uma nova racionalidade jurídica ambiental, com fins de conservação de um meio ambiente ecologicamente equilibrado, para a garantia de manutenção da saúde e, por consequência, da sobrevivência das presentes e futuras gerações.

É neste ponto que o Direito Ambiental, com seus princípios basilares e normas regulamentadoras, mostra-se essencial para moldar comportamentos em prol da proteção do meio ambiente. Entende-se ser mais vantajoso prevenir do que reparar prejuízos<sup>1</sup>, muitas vezes, irrecuperáveis, motivo que justifica a necessidade de enfoque em ações prévias. Assim, enfatiza-se, neste ensaio, o princípio da prevenção, que tem por objetivo a adoção de comportamentos (ação ou omissão) para a prevenção de danos ambientais previsíveis, e o princípio da precaução, distinto do primeiro em razão dos danos ambientais que, neste caso, são prováveis de acontecer, isto é, não há certeza científica.

Em termos de norma, a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), Lei nº 9638/1981 (BRASIL, 1981), recepcionada pela Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (CRFB/1988), visa a recuperar, preservar e melhorar a qualidade ambiental. Para tanto, vale-se do instrumento da Avaliação de Impactos Ambientais (AIA), que se subdivide em Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (Rima).

O EIA é regulamentado pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama nº 01/1986), que determina que seja um documento de natureza técnica, com finalidade de analisar os impactos ambientais oriundos de atividades e/ou empreendimentos potencialmente poluidores ou que causem grande impacto no meio ambiente. O Rima, por seu turno, deverá refletir as conclusões do estudo prévio, com o escopo de informar a sociedade. Como não há obrigatoriedade de observância de nenhuma especificidade técnica, os documentos são elaborados, em sua maioria, de forma descritiva.

Na busca por maior precisão científica e eficiência, a pergunta de partida deste artigo é: Como e em que medida a modelagem matemática, se inserida como uma ferramenta obrigatória da PNMA para a realização da AIA, pode colaborar para o alcance da finalidade da norma? Torna-se relevante elucidar que modelagem matemática é o processo que envolve a construção de um modelo matemático, que diz respeito a um conjunto de símbolos e encadeamentos matemáticos, o qual intenta traduzir um fenômeno em questão ou um problema real, apresentando-se como útil para a compreensão mais ampla e determinada dos problemas, possibilitando posterior adoção de medidas.

O presente estudo é constituído por análise teórica, a partir de livros, artigos científicos, jurisprudência e leis existentes acerca da matéria, e empírica, por intermédio de dados secundários de relatórios a respeito do desmatamento e dos impactos ambientais, que vêm acontecendo no Brasil de forma crescente, a fim de demonstrar que os instrumentos descritivos e despadronizados utilizados para formular o EIA/Rima não são suficientes.

O texto se subdivide em três seções. Na primeira, constrói-se o alicerce da pesquisa, consubstanciado na crise ambiental como resultado da concepção de conhecimento, a qual se respalda em uma racionalidade tradicional, passível de um repensar ante os riscos e as incertezas da Sociedade de Risco. Considera-se toda a complexidade que abrange a realidade sob várias formas: histórica, cultural, social, física, biológica, psíquica

<sup>1</sup> Embora, muitas vezes, o Direito Ambiental seja utilizado com fins de responsabilização por prejuízos já ocasionados.

e humana, que fazem parte da existência nos quais estão inseridos. Assim, foram escolhidos os referenciais epistemológicos desenvolvidos por Edgar Morin, Enrique Leff e seus adeptos.

Por conseguinte, examina-se a Política Nacional do Meio Ambiente, sua recepção pela Constituição Federal de 1988, seus objetivos e princípios correlatos. Finalmente, na terceira seção, discute-se como a inserção da obrigatoriedade de inclusão de dados em um modelo matemático no rol de instrumentos da Política Nacional, especificamente no que se refere à Avaliação de Impactos Ambientais, pode contribuir para que a Lei nº 6938/1981 exerça um papel mais preventivo e cauteloso, a fim de que se impossibilite a ocorrência de danos ambientais, objetivo desta investigação.

## 2 A CRISE AMBIENTAL SOB A ÓTICA PROPULSORA DA MUDANÇA DE PARADIGMAS

A evolução histórico-econômica do ser humano favoreceu a visão antropocêntrica clássica e, dessa forma, o bem ambiental passou a ter a finalidade de satisfazer as necessidades humanas. A verdade científica, vista como pronta, determinada e imutável, foi utilizada como referência para justificar as ações antrópicas no meio ambiente. A natureza era vista de modo dissociado da sociedade, ao passo que os seus recursos, de caráter utilitário, existiam, de maneira ilimitada, para atender os seus interesses (BELCHIOR, 2011). Nunca se pensou na possibilidade de escassez das riquezas naturais do Planeta.

Sucedem-se que a superexploração da natureza, oriunda de atividades antrópicas, resultou em modificações dos aspectos naturais do planeta, ao ponto de realizar alterações na superfície terrestre (KOTZÉ; KIM, 2019). Desde os anos 1980, alguns pesquisadores têm intitulado o atual período geológico de Antropoceno (BELCHIOR; VIANA, 2020)<sup>2</sup>. Nesse sentido, a problemática ambiental está na pauta do dia, e a lógica rápida e invasiva do mercado insiste em ameaçar o meio ambiente e a igualdade social.

Sob a alegação de que o ter corresponde à qualidade de vida e *status social*, o crescimento econômico acelerado continua a existir em meio à competitividade, desigualdade e injustiça. “Assim, muitas ambiguidades estão exalando suas falhas, pois as brechas do sistema mostram as facetas cruéis e degradantes que estão por trás da falsa impressão de bem viver” (ARRUDA; CUNHA; MILIOLI, 2020, p. 2).

Em ultrapasse a isto, a Sociedade de Risco<sup>3</sup> assume a responsabilidade diante dos incontroláveis perigos, buscas imediatistas das quais não há qualquer domínio, tampouco limitação ou alternativa para lidar com suas incoerências (ARRUDA; CUNHA; MILIOLI, 2020). “Contido na globalização, e ainda assim claramente distinto dela, há um padrão de distribuição dos riscos no qual se encontra um material politicamente explosivo: cedo ou tarde, eles alcançam inclusive aqueles que os produziram ou que lucraram com eles” (BECK, 2011, p. 44).

É evidente que o mundo precisa encontrar formas de compatibilizar o desenvolvimento econômico e social com o equilíbrio ambiental, tendo em vista que não existe luxo, fortuna e bens materiais sem que haja vida (BELCHIOR, 2011). Nessa toada, o sociólogo ambiental Leff (2001), em sua obra “Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade e poder”, elenca as três dívidas que controlam a geopolítica mundial: a dívida financeira, a dívida ecológica e a dívida da razão. Não obstante, são interdependentes e influenciam as ações estatais de forma direta ou disfarçada: a dívida financeira, segundo o autor, pode ser interpretada como a principal e mais simplista, considerando que se trata de valores pagáveis ou não pagáveis, negociáveis ou refinanciáveis; por sua vez, a dívida ecológica, vasta e mais profunda, revela-se no crescimento

<sup>2</sup> O período geológico intitulado Holoceno, iniciado há 11.700 anos e que permanece até o presente, tem sido uma época relativamente estável sob o ponto de vista climático (CRUTZEN, 2002). Desde os anos 1980, alguns pesquisadores passaram a utilizar o termo Antropoceno, para caracterizar um período em que os efeitos da humanidade estariam impactando globalmente o Planeta Terra. O vencedor do prêmio Nobel de química, Paul Crutzen (1995) colaborou na popularização da denominação nos anos 2000, em que a influência humana se mostra presente em algumas áreas, juntamente com as influências geológicas. “A humanidade emerge como uma força significativa globalmente, capaz de interferir em processos críticos [do planeta], como a composição da atmosfera e outras propriedades (ARTAXO, 2014, p. 15).

<sup>3</sup> A definição de Sociedade de Risco foi desenvolvida por Ulrich Beck para caracterizar a sociedade atual, cujos desafios, inicialmente escondidos, são, por ela própria, produzidos em razão da evolução tecnológica e científica, conduzindo à autodestruição e à eliminação de todas as formas de vida no planeta, inserida ainda em um cenário de transformação de relações sociais, dos bens de consumo e da própria relação do ser humano com o mundo natural (BECK, 2011).

econômico destrutivo e não é somente impagável, mas incomensurável, apesar de o autor reconhecer a capacidade de ser revalorizada, internalizada e redistribuída (LEFF, 2001).

Para o autor, contudo, “uma vez saldadas as contas, satisfeitas as demandas e reivindicações, restam seus devedores sujeitos à mesma razão, atados às mesmas causas, no jogo da repartição dos custos e benefícios deixados por uma ordem homogeneizante, unipolar, que dita as normas do comércio, do intercâmbio, da justiça e da equidade” (LEFF, 2001, p. 39). A dívida da razão diz respeito ao grande desafio que obriga a sociedade a repensar sobre o atual modo de vida globalizado, que mantém os cidadãos em permanente débito.

Conforme a interpretação de Cunha (2020, p. 23), a crise ambiental se apresenta como uma crise da racionalidade e da modernidade, dos fundamentos da racionalidade formal, instrumental e institucional, que têm sido os sustentáculos de uma modernidade insustentável, “desconstruindo a ordem de racionalidade econômica e jurídica que guiam os processos de produção dos regimes de propriedade e justiça social, apelando para uma reflexão sobre a configuração de uma nova ordem jurídica fundada em novos direitos que hoje surgem em relação com a sustentabilidade ecológica e a diversidade cultural”.

Um reflexo prático dessas considerações no Brasil volta-se para o fato de que, apesar de existirem instrumentos legais dispostos há décadas, que apresentam relevantes finalidades, como a avaliação de impactos ambientais (EIA/Rima), o cenário nacional continua a causar preocupações. Em consulta ao Relatório Mundial 2020, emitido pela Organização Internacional *Human Rights Watch* (HRW, 2020), na Amazônia, entre janeiro e outubro de 2019, o desmatamento aumentou mais de 80% em comparação ao mesmo período de 2018. Ainda, consoante os dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, de 1º de janeiro a 1º de dezembro de 2020, foram registrados 101.292 focos de queimadas, 16% a mais do que no mesmo período do ano de 2019 (INPE, 2021).

Ainda, um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia constatou que, em 2019, 34% das queimadas ocorreram em áreas recentemente desmatadas, em outros termos, como forma de “limpeza” de áreas extensas. Outros 30% dos incêndios ocorreram em áreas florestais, como ferramenta de degradação para posterior desmatamento, e 36% ocorreram em áreas agrícolas já estabelecidas (IPAM, 2020). Tais dados são apenas alguns de vários exemplos que demonstram a ineficácia das leis ambientais brasileiras, entre elas a PNMA, com seus mecanismos em questão.

Em outras palavras, percebe-se que os problemas da sociedade contemporânea demandam uma nova concepção harmonizadora com o meio em que se existe. Para tanto, faz-se relevante repensar a realidade da crise ambiental, diante das incertezas da Pós-Modernidade e da Sociedade de Risco (BELCHIOR; VIANA, 2020), como propõe Edgar Morin, por meio dos princípios delineados pela Teoria da Complexidade. Segundo o autor, “o Pensamento Complexo abrange princípios de disjunção, de conjunção e de implicação e, dessa forma, o conhecimento passa a ser construído por intermédio de lógicas de complementação e exclusão, gerando ordem e desordem, reconhecendo, ainda, a relação de interdependência entre causas e consequências” (PÁDUA; MATALLO JR, 2008, p. 24).

A complexidade tem por objetivo o conhecimento multidimensional, que se caracteriza pela interdisciplinaridade e por compreender que nem tudo está pronto e acabado. A teoria compreende o processo de construção e reconstrução do pensamento, sem desconsiderar a existência de uma forma de apreender mais simplista (MORIN, 2011). Esta sempre existirá e, naquilo que não se conseguir compreender da maneira comum, a complexidade poderá amparar complementando.

O meio ambiente é uma temática ampla, interdisciplinar e complexa, que não se limita a conceitos e definições isoladas, nem a uma divisão fragmentada, visto que possui inumeráveis interfaces e inter-relações que impactam o fenômeno social, político e econômico (PADILHA, 2020). Desta forma, em meio à crise ambiental, faz-se necessário repensar a realidade, as relações e rediscutir a ciência.

Nessa ordem de ideias, constata-se que, a partir da década de 1960, sobremaneira, por intermédio da obra *Primavera Silenciosa*, de Rachel Carson (CARSON, 2010), novas tendências foram abertas para a construção de um outro ramo do Direito, à época, o ambiental. Questiona-se até que ponto o interesse individual pode colocar em risco o direito coletivo e transindividual ao meio ambiente saudável. Essa indagação passou a

compor a pauta de vários encontros mundiais – o de Estocolmo, em 1972; Rio 92; o Relatório *Brundtland* (1987) –; e a tomar corpo nos ordenamentos constitucionais do final do século 20.

Com o despertar da inevitabilidade de proteger o meio ambiente para garantir o futuro da presente e das futuras gerações, surgiram, também, inclusões e adaptações nos sistemas normativos, “pois todos os direitos jurídicos são, ou aspiram a ser, direitos de bem-estar – tentativas políticas e judiciais de alcançar o bem-estar humano em contextos sociais mutáveis” (HOLMES; SUSTEIN, 2019, p. 189).

No Brasil, Benjamin (1999) interpreta a história evolutiva legislativo-ambiental do país em três momentos, tendo por objetivo a proteção ambiental: a fase desregrada, a fragmentária e a holística. A fase da exploração desregrada surgiu da percepção da existência do Brasil, bem como a sua exploração pelos portugueses, iniciada em 1500, até o começo da segunda metade do século 20. A Constituição Imperial não trouxe qualquer norma sobre a tutela ambiental (BENJAMIN, 1999).

A segunda fase da evolução, denominada fragmentária, caracterizou-se pela regulação das atividades exploratórias de forma esparsa<sup>4</sup>, e foi influenciada pela Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Humano, aqui já intitulada Estocolmo, em 1972. Tal conferência resultou na criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), que deu continuidade a esses empenhos e às demais conferências, de igual importância (ONU, 1972).

Por fim, na terceira fase, holística, identifica-se uma visão do meio ambiente como um conjunto integrado e que legislações fragmentárias, sem a unificação dos institutos jurídicos de proteção à natureza, seriam ineficazes para a garantia do desenvolvimento sustentável (BENJAMIN, 1999). Nesse cenário de mudanças, desde a década de 1970, o professor Paulo Nogueira Neto participou de conferências internacionais pelo Brasil. Como Secretário Especial do Meio Ambiente (de 1973 a 1985) da Secretaria Especial do Meio Ambiente (Sema), órgão vinculado ao Ministério do Interior, foi o responsável por instituir a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), Lei nº 6.938/1981 (BRASIL, 1981), sob a presidência de João Figueiredo (NOGUEIRA NETO, 2010), antes mesmo do advento da Constituição Federal de 1988, que a recepcionou, conforme analisa-se a seguir.

### 3 A POLÍTICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE: ASPECTOS CONSTITUCIONAIS, OBJETIVOS E PRINCÍPIOS CORRELATOS

Com a edição da Lei nº 6.938/1981 (BRASIL, 1981), o Brasil passou a ter formalmente uma Política Nacional do Meio Ambiente. A lei funciona como um marco legal para quaisquer políticas públicas de meio ambiente, a serem aperfeiçoadas por todos os entes da federação, em evidente conformidade com o que preceitua a Constituição Federal.

A PNMA, embora publicada no início da década de 1980 e, portanto, sob a égide de diversa ordem constitucional, foi objeto de recepção ou, como Ramos (1994) denomina, de novação pela Constituição Federal de 1988. Assim, seu fundamento de validade, outrora distinto, passa a ser a referida Lei Maior<sup>5</sup>. Reitera-se que tal mudança de fundamento não implica na alteração do conteúdo da norma (KELSEN, 1998). Considerando esse contexto, faz-se importante a realização de uma análise acerca de seu fundamento de validade contemporâneo.

Como um dos objetivos<sup>6</sup> fundamentais da República, a Constituição Federal dispõe a construção de uma sociedade livre, justa e solidária (artigo 3º, I). Destacando o último aspecto, a solidariedade se refere

<sup>4</sup> Cada Estado ou município possuía autonomia para eleger as suas diretrizes políticas em relação ao meio ambiente de forma independente. Na prática, contudo, poucos manifestavam interesse para legislar sobre o tema (FARIAS, 2006).

<sup>5</sup> A respeito da temática, Kelsen (1998, p. 122) se pronuncia: “A ‘recepção’ é um procedimento abreviado de criação do Direito. As leis que, na linguagem comum, inexistem, continuam sendo válidas são, a partir de uma perspectiva jurídica, leis novas cuja significação coincide com a das velhas leis. Elas não são idênticas às velhas leis, porque seu fundamento de validade é diferente.”

<sup>6</sup> Ressalta-se que os objetivos fundamentais da República, segundo França (2014, p. 224), “são metas a serem promovidas por todo o sistema estatal com força coativa imediata, possuindo eficácia vinculante de seu conteúdo, como norte a ser concretizado em toda e qualquer ação dos integrantes do Estado brasileiro. É missão estatal proporcionar o máximo de efetivação dos objetivos da República no menor tempo possível”.

à humanidade, ao respeito ao espírito comum (DENNINGER, 2000), algo que somente pode ser alcançado a partir de uma efetiva proteção ambiental (MATIAS; MATTEI, 2014), a qual tem previsão no mesmo diploma constitucional, especificamente em seu artigo 225: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (Brasil, 1988). É diante disso que o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado é considerado direito fundamental.

Direitos fundamentais, em observância aos ensinamentos de Sarlet (2012), aplicam-se aos direitos do ser humano, sendo previstos constitucionalmente em determinado Estado. Ainda que não esteja expressamente indicado no artigo 5º da CRFB/1988, o caráter fundamental de terceira geração é reconhecido tanto por doutrinadores quanto por tribunais, devendo-se destacar o próprio Supremo Tribunal Federal<sup>7</sup>. Isso implica em uma alteração do patamar em que a proteção ambiental se encontrava, visto que deixa de ser um interesse accidental e passa a ocupar o ápice do ordenamento (BENJAMIN, 2007).

Deve-se observar, inclusive, que a proteção ambiental não é tratada constitucionalmente de forma isolada. O próprio capítulo referente à ordem econômica e financeira aponta como princípio norteador a proteção em questão, mencionando seu tratamento diferenciado conforme o impacto ambiental dos produtos e dos serviços, bem como de seus processos de elaboração e prestação (artigo 170, VI, da CF<sup>8</sup>). Dessa forma, a PNMA encontra seu fundamento de validade na Constituição Federal de 1988, especialmente a partir da previsão de que todos possuem o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, caracterizado como direito fundamental.

A Política analisada tem como objetivo primário: (i) preservar, (ii) melhorar e (iii) recuperar a qualidade ambiental adequada à vida<sup>9</sup>. O termo preservar<sup>10</sup>, segundo a Lei nº 9.985/2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (BRASIL, 2000), consiste no “conjunto de métodos, procedimentos e políticas que visem a proteção a longo prazo das espécies, habitats e ecossistemas, além da manutenção dos processos ecológicos, prevenindo a simplificação dos sistemas naturais”. Em se tratando de melhorar, deve-se compreender como o alcance de avanço, de desenvolvimento da qualidade ambiental. Por fim, recuperar diz respeito à restauração dos recursos que sofreram danificação, o que nem sempre é possível, haja vista a existência de danos irreparáveis.

Anteriormente ao prosseguimento da abordagem dos objetivos, faz-se relevante explorar importantes aspectos referentes à preservação: para que possa ser alcançada, diferentes mecanismos devem ser considerados, entre eles, a prevenção e a precaução, princípios previstos no ordenamento jurídico brasileiro, e também suas aplicações, pois, se efetivas, possibilitam a preservação do meio ambiente.

A Lei nº 6.938/1981 indica a compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico; a definição de áreas prioritárias de ação governamental relativa à qualidade e ao equilíbrio ecológico; o estabelecimento de critérios e padrões de qualidade ambiental e de normas relativas ao uso e manejo de recursos ambientais; o desenvolvimento de pesquisas e de tecnologias nacionais orientadas para o uso racional de recursos ambientais; a difusão de tecnologias de manejo do meio ambiente, a divulgação de dados e informações ambientais e a formação de uma consciência pública sobre a necessidade de preservação da qualidade ambiental e do equilíbrio ecológico; a preservação e restauração dos recursos ambientais, com vistas à sua utilização racional e disponibilidade permanente, concorrendo para a manutenção do equilíbrio ecológico propício à vida e imposição, ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição

<sup>7</sup> O referido posicionamento pode ser encontrado no Mandado de Segurança 22164/SP, na ADI-MC3540/DF e no RE 415454/SC.

<sup>8</sup> A redação do inciso foi dada pela Emenda Constitucional nº 42 de 19.12.2003. Tal inserção demonstra a construção de uma consciência ambiental. Percebe-se que a compreensão da necessidade de uma abordagem sistêmica vem se tornando cada vez mais presente (KRÜGER, 2001).

<sup>9</sup> Objetivo constante no artigo 2º da Lei de nº 6.938/1981.

<sup>10</sup> Não deve ser confundido com o termo “conservação da natureza”, que, nos moldes da Lei nº 9.985/2000, diz respeito ao “o manejo do uso humano da natureza, compreendendo a preservação, a manutenção, a utilização sustentável, a restauração e a recuperação do ambiente natural, para que possa produzir o maior benefício, em bases sustentáveis, às atuais gerações, mantendo seu potencial de satisfazer as necessidades e aspirações das gerações futuras, e garantindo a sobrevivência dos seres vivos em geral”.

pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos (BRASIL, 1981). Deve-se salientar, ainda, que a preservação é materializada a partir da aplicação de instrumentos adequados para tal.<sup>11</sup>

Ainda, a PNMA prevê princípios necessários para o alcance do objetivo central supraanalisado. Reale (1986, p. 60) explica que “Princípios são, pois verdades ou juízos fundamentais, que servem de alicerce ou de garantia de certeza a um conjunto de juízos, ordenados em um sistema de conceitos relativos à dada porção da realidade”. Salienta-se, segundo o mesmo autor (1986, p. 60), que se denominam também princípios algumas proposições que fundam a validade de “um sistema particular de conhecimentos, como seus pressupostos necessários”.

Neste sentido, os supramencionados princípios consistem na ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo na racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar; no planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais; na proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas; no controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras; nos incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais; no acompanhamento do estado da qualidade ambiental e na recuperação de áreas degradadas (BRASIL, 1981).

Apresentados os aspectos constitucionais, os objetivos, tanto geral quanto específicos, bem como os princípios da PNMA, percebe-se que se trata de uma legislação que se adequa aos anseios ambientais, voltando-se ao direito que todos têm de um meio ambiente ecologicamente equilibrado. Quando se trata de sua eficácia, porém, constata-se certa deficiência<sup>12</sup>, fazendo-se necessária a busca por medidas que possam alterar essa realidade. Assim sendo, a seguir, serão expostos os instrumentos da PNMA e sugerida, com base na adoção, em determinados Estados brasileiros, a inserção da modelagem matemática como um recurso de uso obrigatório.

#### 4 A UTILIZAÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA COMO RECURSO OBRIGATÓRIO DA POLÍTICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

Diante da prévia discussão acerca da crise ambiental e da conseqüente necessidade de mudança de paradigmas, a modelagem matemática demonstra ser um importante instrumento para a consecução de uma real transformação prática, a partir de uma colaboração positiva nos resultados de políticas ambientais. Trata-se de um processo que pode promover uma visão ampliada da situação analisada, sendo útil para a adoção de medidas adequadas à ocasião concreta. Destaca-se que autores afirmam que a modelagem em questão se apresenta como uma espécie de retrato aproximado da realidade (BORBA; SKOVSMOSE, 1997; MALCOLM, 2007; BARBOSA, 2009).

Aponta-se a matemática como a melhor forma para tratar sobre qualquer fenômeno, ao se considerar que “as regularidades da realidade são cognoscíveis pela matemática.”, podendo-se fazer menção ao conceito da ideologia da certeza: “os objetos matemáticos não são passíveis de crítica, mas são posicionados como uma espécie de “linguagem” (ou instrumento, se preferir) acurada para descrever a realidade” (MALCOLM, 2009, p. 72; BORBA; SKOVSMOSE, 1997). Nesse sentido, passa-se a tratar sobre a imprescindibilidade de sua inserção no sistema jurídico brasileiro.

A PNMA, para o alcance de seus objetivos já apresentados, prevê a aplicação de mecanismos por parte da Administração Pública, denominados instrumentos, dispostos no artigo 9º da Lei nº 6.938/81, sendo definidos com maiores detalhes nas Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

<sup>11</sup> Na próxima seção, haverá uma melhor exploração dos mesmos, ressaltando-se, previamente, a avaliação de impactos ambientais, por meio do EIA e do Rima, com base na PNMA e em exigência constitucional (artigo 225, § 1º, IV), a qual é imprescindível para a observância dos princípios acima aludidos, desde que realizada em consonância com a proteção do meio ambiente.

<sup>12</sup> Esta é uma problemática que não se resume à Política Nacional do Meio Ambiente, mas que se estende às demais legislações ambientais. No Brasil, existem diversas leis que dizem respeito à proteção do meio ambiente, porém, as suas aplicações não condizem com as previsões.

De modo geral, os instrumentos da PNMA são o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental; o zoneamento ambiental; a avaliação de impactos ambientais; o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras; os incentivos à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologia, voltados para a melhoria da qualidade ambiental; a criação de espaços territoriais especialmente protegidos pelo Poder Público federal, estadual e municipal, tais como áreas de proteção ambiental, de relevante interesse ecológico e reservas extrativistas; o sistema nacional de informações sobre o meio ambiente; o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental; as penalidades disciplinares ou compensatórias ao não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou correção da degradação ambiental; a instituição do Relatório de Qualidade do Meio Ambiente, a ser divulgado anualmente pelo Ibama; a garantia da prestação de informações relativas ao Meio Ambiente, obrigando-se o Poder Público a produzi-las, quando inexistentes; o Cadastro Técnico Federal de atividades potencialmente poluidoras e/ou utilizadoras dos recursos ambientais; e instrumentos econômicos, como concessão florestal, servidão ambiental e seguro ambiental, entre outros (BRASIL, 1981).

Destaca-se o instrumento da avaliação de impactos ambientais. Conforme pontualmente abordada em momentos anteriores deste estudo, a referida aferição encontra respaldo e é exigida constitucionalmente (artigo 225, § 1º, IV), com a finalidade de assegurar a efetividade do direito ao meio ambiente equilibrado, incumbindo, assim, ao Poder Público: “exigir, na forma da lei, para a instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação ao meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade”. Desse modo, a avaliação se dá por meio do EIA e do Rima<sup>13</sup>.

O EIA consiste em um documento formulado a partir dos resultados de um estudo técnico, no qual é realizada uma avaliação das implicações ao meio ambiente, que serão decorrentes de um projeto ou empreendimento. Compõe-se, obrigatoriamente, conforme o artigo 6º da Resolução Conama 237/97, por quatro seções: diagnóstico ambiental da área de influência do empreendimento; análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas; medidas mitigadoras dos impactos negativos e programa de acompanhamento e monitoramento (LEITE, 2013). O Rima diz respeito a um reflexo das conclusões obtidas no EIA, sendo, portanto, demandado nos mesmos casos em que este o for. A sua elaboração, diferentemente do EIA, deve ser objetiva, com linguagem acessível e de fácil entendimento pela população<sup>14</sup>, contendo, no mínimo, os requisitos dispostos nos incisos do artigo 9º da Resolução Conama 01/1986 (BRASIL, 1986).

Tornando a tratar sobre os instrumentos de modo geral, tem-se que alguns foram sendo acrescentados com o passar dos anos. O inciso XIII do artigo 9º da PNMA, referente a instrumentos econômicos, por exemplo, somente foi inserido em 2006, pela Lei de nº 11.284 (BRASIL, 2006). Isso demonstra que, paulatinamente, tem-se percebido a necessidade de uma abordagem sistêmica<sup>15</sup> (KRÜGER, 2001), a fim de que a crise ambiental seja combatida. A sociedade, a economia, a ciência e demais áreas, portanto, devem atuar conjuntamente para o alcance de um real desenvolvimento, promovendo, assim, a liberdade (SEN, 2000).

Se fazem ainda necessárias, no entanto, inúmeras modificações para que, de fato, a mencionada abordagem seja concretizada. Analisando-se de forma prática, na avaliação de impactos ambientais, por exemplo, constata-se o predomínio da descrição como um obstáculo. Segundo Sánchez (2006), grande parte dos EIAs são realizados de forma mais descritiva, ao invés de analítica. O autor explica, também, que há uma tendência entre os profissionais (engenheiros, cientistas e acadêmicos) de escrever de uma forma divagante, esquecendo-se que o Estudo de Impacto Ambiental tem o intuito de observar a comunicação, não devendo perder o foco, como ocorre em diagnósticos que se prendem demasiadamente a longas descrições de questões regionais. Dessa forma, a avaliação não cumpre verdadeiramente seu propósito, tendo em vista a constante deficiência na análise dos riscos e das incertezas.

<sup>13</sup> No artigo 2º da Resolução Conama 01/86, são listadas atividades e empreendimentos que devem ser sujeitados ao EIA/Rima; contudo, ao órgão ambiental competente cabe a identificação das atividades e empreendimentos que também devem passar por elaboração do referido estudo (LEITE, 2013).

<sup>14</sup> Previsto no artigo 9º, parágrafo único da Resolução Conama 01/86.

<sup>15</sup> Conforme exposto em seção anterior, o meio ambiente é uma temática ampla, interdisciplinar e complexa (PADILHA, 2020), de modo que fundamenta a necessidade da referida abordagem sistêmica.

Diante dessa realidade, em busca de ferramentas que possam, ao serem aplicadas, garantir a proteção ambiental de forma eficaz, identifica-se a modelagem matemática. Tal recurso já tem previsão no Decreto nº 3.463, de 16 de dezembro de 2013, que instituiu novos padrões de qualidade do ar e demais providências correlatas no Estado do Espírito Santo, tendo sido, à época, considerado uma inovação (ESPÍRITO SANTO, 2013). Anteriormente ao seu estudo, faz-se importante compreender melhor sobre os padrões de qualidade do ar.

O Conama é um órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), estabelecido através da PNMA, ficando responsável pelo estabelecimento de “normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente, com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, entre esses o recurso natural atmosférico.” (CAMPOS, 2016, p. 423). Assim, sua Resolução de nº 003, de 28 de junho de 1990, dispõe que “São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral”.<sup>16</sup>

Assim, a supracitada resolução aponta a existência de dois tipos de padrões de qualidade do ar. Os primários dizem respeito às concentrações de poluentes que, quando ultrapassadas, poderão causar danos à saúde da população. Os secundários se referem às concentrações de poluentes que se encontram abaixo do mínimo previsto em se tratando de “efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.”<sup>17</sup>, em conformidade com o artigo 1º, disposto anteriormente.

Ainda, entre as resoluções do Conama, encontra-se a de nº 382, de 26 de dezembro de 2006<sup>18</sup>, a qual estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas, determinando, em seu artigo 4º, que “A verificação do atendimento aos limites de emissão deverá ser efetuada conforme métodos de amostragem e análise especificados em normas técnicas cientificamente reconhecidas e aceitas pelo órgão ambiental licenciador.”. Ressalta-se que o monitoramento das emissões poderá se dar tanto por métodos contínuos quanto descontínuos, segundo a determinação do órgão ambiental.

Acerca dos limites de emissão, faz-se relevante, ainda, entender sobre o controle da poluição atmosférica. Esse controle é executado, normalmente, por meio de monitoramento da qualidade do ar, o qual é um mecanismo útil para a mensuração da concentração dos poluentes presentes na atmosfera, gerando dados em se tratando das condições da qualidade do ar no momento, bem como construindo um histórico dos dados, o que permite aos tomadores de decisão o planejamento de ações e políticas públicas (VORMITTAG *et al.*, 2021), resguardando, assim, a saúde dos seres humanos, bem como do ambiente, a partir da proteção do ar.

Moreira e Tirabassi (2004) explicam, também, que, por questões econômicas e administrativas, o monitoramento apresenta certas limitações, não sendo realizado como deveria. É diante disso que afirmam a necessidade da utilização de modelos matemáticos que permitam a realização de previsões ou simulações de campos de concentração de poluentes, a fim de que se identifiquem políticas de limitação das emissões. “Os processos que governam o transporte e a difusão de poluentes são numerosos e de uma complexidade tal que não é possível descrevê-los sem a utilização de modelos matemáticos”, de modo que se caracterizam como “um instrumento técnico indispensável para a gestão ambiental.”. Assim, apontam que são capazes de “descrever e interpretar os dados experimentais; controlar em tempo real e/ou analisar a qualidade do ar; administrar as liberações acidentais e avaliar as áreas de risco; identificar as fontes poluidoras; avaliar a contribuição de uma única fonte à carga poluidora e administrar e planejar o território.” (p. 159-160).

Em complementação, Campos (2016, p. 421) afirma que a modelagem matemática deve ser vista “como a aplicação de modelos matemáticos que utilizam os fenômenos da natureza através de equações, que

<sup>16</sup> Artigo 1º da Resolução Conama nº 003, de 28 de junho de 1990.

<sup>17</sup> Os Padrões Primários e Secundários de Qualidade do Ar podem ser consultados nos incisos I e II, respectivamente, do artigo 2º da Resolução Conama nº 003, de 28 de junho de 1990.

<sup>18</sup> A Resolução Conama de nº 382, de 26 de dezembro de 2006, portanto, determina os limites de emissão para fontes fixas, trazendo 13 anexos, os quais tratam especificamente os limites para cada tipo de empreendimento, conforme debate Campos (2016).

necessitam do uso de coeficientes obtidos por medições na natureza.”, tendo como resultados aguardados a avaliação da parcela de poluição, em que as emissões possam ser estimadas: a verificação da contribuição da fonte; a determinação das áreas que tenham maior impacto, ao se considerar o conjunto de fatores meteorológicos e os efeitos topográficos; a definição de quais poluentes valem ser monitorados; e a avaliação de impactos futuros das fontes, além de outros.

Não obstante os positivos aspectos expostos, não se afirma ser a modelagem matemática um instrumento completamente satisfatório. Trata-se de um processo sujeito a riscos, que poderão culminar em reduzida eficácia, distinta, por conseguinte, daquela idealizada. Dessa maneira, há riscos, no sentido de ocorrerem erros resultantes da própria formulação teórica do modelo; erros característicos dos dados e erros decorrentes do método de solução numérica adotada para resolver as equações diferenciais envolvidas. Ressalta-se, no entanto, que a existência de riscos não deve ser compreendida como óbice à sua adoção. Ora, se já há riscos com a inserção de um modelo matemático, mais riscos existem ao se valer detidamente do uso de um método descritivo, sem padronização, que resulta em insegurança (EIGER, 2003).

A partir da compreensão das peculiaridades dos modelos matemáticos, pode-se afirmar que a modelagem matemática proporcionaria uma grande melhoria e, conseqüentemente, um avanço na gestão da qualidade do ar. Trata-se de técnica mais precisa, de maneira a aumentar o nível de confiança no estudo de impacto ambiental (EIA) e colaborar para que o consecutivo licenciamento ocorra de forma mais cautelosa e ambientalmente justa. O meio ambiente, como um todo, seria positivamente atingido e, por sua vez, a própria sociedade. Deve-se lembrar que a saúde humana depende de um meio ambiente ecologicamente equilibrado e, na verdade, para além disso, um real desenvolvimento apresenta tal dependência.

Sugere-se, portanto, a proposição de projeto de lei que tenha como objetivo a inclusão de um novo inciso ao artigo 9º da Lei nº 6.938/81, tornando a utilização da modelagem matemática um recurso obrigatório, a ser aplicado conjuntamente ao EIA/RIMA. Conforme explicado no início desta seção, a PNMA apresenta uma série de instrumentos – 13, no total –, sem, contudo, demonstrar eficácia. Assim, considerando a urgência de melhorias no cenário ambiental e o grande avanço que a referida modelagem pode alcançar, não restam dúvidas acerca da importância de sua inserção na lei, a fim de exercer uma função preventiva e cautelosa no gerenciamento dos efeitos dos impactos ambientais. Por fim, ressalta-se que, além da inclusão, se faz igualmente necessária a realização de sua regulamentação, para que não permaneça apenas em um plano ideal, mas que possa ser, de fato, aplicada.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A degradação ambiental se difunde em grande velocidade e não é detida por fronteiras, sendo a razão da necessidade de grande preocupação e integração das mais diversas áreas, a fim de combatê-la. Trata-se de uma crise da racionalidade e da modernidade, na qual a complexidade dessa conjuntura, conforme desenvolvida por intermédio dos referenciais epistemológicos de Edgar Morin, Enrique Leff e seus adeptos, não deve ser ignorada, e todas as medidas possíveis devem ser adotadas de forma concomitante e interdisciplinar, em busca de garantir a proteção do meio ambiente e, por conseguinte, do bem-estar social.

Voltando-se para o Brasil, identifica-se uma visão do meio ambiente como um conjunto integrado. Essa perspectiva foi inaugurada com a PNMA, Lei de nº 6.938/81, que, embora anterior à Constituição Federal de 1988, foi objeto de recepção, apresentando fundamento de validade em tal diploma legal. Constatou-se, porém, que essa política, assim como outras leis, ainda que esteja relacionada à proteção ambiental, não apresenta eficácia quando analisada na prática. Isso demonstra a necessidade de, além da adoção de medidas como maior fiscalização, por exemplo, sejam aderidos mecanismos eficazes que, de fato, promovam a mitigação dos danos ao meio ambiente.

Com o intuito de demonstrar a situação de maneira prática, apresenta-se a avaliação de impactos ambientais, especificamente o EIA/RIMA, identificando-se os obstáculos que enfrenta para alcançar sua finalidade de assegurar a efetividade do direito ao meio ambiente equilibrado. Seu caráter predominantemente descritivo não garante uma adequada análise de riscos, algo tão necessário para a mencionada mitigação dos efeitos advindos das atividades antrópicas. Diante desse cenário, propõe-se a inclusão de um novo

inciso ao artigo 9º da Lei nº 6.938/81, assim como sua regulamentação, tornando a utilização da modelagem matemática um recurso obrigatório para a realização da avaliação de impactos ambientais.

Destaca-se que o estudo e o debate sobre a inserção desse tipo de modelagem no ordenamento jurídico brasileiro se dá devido à sua reconhecida adequação para tratar sobre quaisquer fenômenos, levando-se em conta a ideologia da certeza. Realizar uma tradução da avaliação dos impactos em valores mensuráveis culmina em compreensão mais evidente da conjuntura real, tanto para fins de licenciamento quanto para gerenciamento ambiental das empresas durante sua operação. Assim, as medidas relativas à mitigação, controle e/ou compensação poderão ser determinadas, conferindo a redução do valor agregado ao impacto.

Trata-se de mecanismo essencial para que, aplicado conjuntamente ao EIA/RIMA, resulte em padronização, confiabilidade e segurança. A sua possível atuação na promoção de um retrato aproximado da realidade permite uma visão ampliada da situação concreta e, por conseguinte, a adoção de ações e medidas condizentes com o contexto atual da crise ambiental, de maneira que o licenciamento se torne um processo mais cauteloso e efetivamente compatível com um desenvolvimento socioeconômico ambientalmente responsável e equilibrado.

Certamente, a modelagem matemática não será capaz de solucionar integralmente os atuais desafios relativos ao mapeamento e ao acompanhamento de riscos ambientais, haja vista o conhecimento acerca de potenciais erros e indispensabilidade de outras medidas como monitoramento efetivo; todavia, os riscos são ainda maiores caso se persista em manter o padrão vigente, sem a previsão de um modelo menos descritivo e mais preciso. A sua adoção, portanto, demonstra estar em consonância com a complexidade ambiental e possibilitar à PNMA o alcance de maior eficácia em termos concretos, a partir de uma priorização da prevenção, restando manifesta a imprescindibilidade da sua inserção na Lei nº 6.938/81, bem como sua regulamentação, para que o instrumento seja de observância obrigatória simultaneamente à avaliação de impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS

- ARRUDA, D. B.; CUNHA, B. P. da; MILIOLI, G. Crise ambiental e sociedade de risco: o paradigma das alterações climáticas diante do direito ambiental e da sustentabilidade. *Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza*, Campina Grande, n. 4, p. 1-18, 2020.
- ARTAXO, P. de A. Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno? *Revista USP*, São Paulo, n. 103, p. 13-24, 2014.
- BARBOSA, J. C. Modelagem e modelos matemáticos na educação científica. *Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 2, p. 69-85, jul. 2009. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6170695>. Acesso em: 28 ago. 2022.
- BECK, U. *Sociedade de risco: rumo a uma outra modernidade*. São Paulo: Editora 34, 2011.
- BELCHIOR, G. P. N. *Hermenêutica jurídica ambiental*. São Paulo: Saraiva, 2011.
- BELCHIOR, G. P. N.; VIANA, I. C. A responsabilidade civil ambiental: aspectos processuais. *Revista de Direito Econômico e Socioambiental*, Curitiba, v. 11, n. 3, p. 54-80, set./dez. 2020.
- BENJAMIN, A. H. de V. *Introdução ao direito ambiental brasileiro*. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1999.
- BORBA, M.; SKOVSMOSE, O. The ideology of certainty in mathematics education. *For the learning of mathematics*, v. 17, n. 3, p. 17-23, 1997.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). *Resolução Conama Nº 001, de 23 de janeiro de 1986*. 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0001-230186.PDF>. Acesso em: 17 ago. 2022.
- BRASIL. *Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm). Acesso em: 19 set. 2021.
- BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 11 jun. 2023.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA Nº 003, de 28 de junho de 1990*. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0003-280690.PDF>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000*. Regulamenta o artigo 225, § 1, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.

- Brasília/DF: Ministério do Meio Ambiente, 2000. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9985.htm). Acesso em: 19 set. 2021.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA Nº 237*, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre o licenciamento ambiental. Disponível em: [http://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=237](http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=237). Acesso em: 11 jun. 2023.
- BRASIL. *Emenda constitucional nº 42*, de 19 de dezembro de 2003. Altera o Sistema Tributário Nacional e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/emendas/emc/emc42.htm#:~:text=EMENDA%20CONSTITUCIONAL%20Nº%2042%2C%20DE,Art](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/emendas/emc/emc42.htm#:~:text=EMENDA%20CONSTITUCIONAL%20Nº%2042%2C%20DE,Art). Acesso em: 11 jun. 2023
- BRASIL. Lei n. 11.284, de 2 de março de 2006. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 3 mar. 2006. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/lei/l11284.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11284.htm) Acesso em: 19 set. 2021.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA Nº 382*, de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Disponível em: <http://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/Conama-382-Poluentes-atmosfericos.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- CAMPOS, I. A. Z. Direito ao meio ambiente e o necessário controle da poluição atmosférica: a inovação trazida pelo Estado do Espírito Santo. *Revista jurídica*, Curitiba, v. 2, n. 43, p. 534-558, 2016.
- CANOTILHO, J. J. G.; LEITE, J. R. M. (org.). *Direito constitucional ambiental brasileiro*. São Paulo: Saraiva, 2007.
- CARSON, R. *Primavera silenciosa*. São Paulo: Editora Gaia, 2010.
- CRUTZEN, P. J. Geology of mankind. *Nature*, London, v. 415, p. 23, 2002.
- CUNHA, B. P. da. Saberes ambientais: a importância do pensamento científico de Leff para a construção de novos paradigmas. In: POMPEU, G. V. M.; POMPEU, R. M. (org.). *A racionalidade ambiental, o diálogo de saberes e o papel da universidade*. Porto Alegre: Fundação Fenix, 2020.
- DENNINGER, E. Security, diversity, solidarity instead of freedom, equality, fraternity. *Constellations*, Oxford, v. 7, n. 4, 2000.
- EIGER, Sérgio. Transporte de poluentes em meios aquáticos: aspectos conceituais e de modelagem matemática. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (org.). *Reúso de água*. Barueri, SP: Manole, 2003. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=ATxDFRuxInUC&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 28. ago. 2022.
- ESPÍRITO SANTO. *Decreto n. 3.463, de 16 de dezembro de 2013*. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. Disponível em: <https://iema.es.gov.br/qualidadedoar/legislação>. Acesso em: 19 set. 2021.
- FARIAS, T. Q. Aspectos gerais da política nacional do meio ambiente: comentários sobre a Lei nº 6.938/1981. *Âmbito Jurídico*, Caderno de Direito Ambiental, 2006. Disponível em: <https://ambitojuridico.com.br/cadernos/direito-ambiental/aspectos-gerais-da-politica-nacional-do-meio-ambiente-comentarios-sobre-a-lei-n-6-938-81/>. Acesso em: 11 jun. 2021.
- FRANÇA, P. G. Objetivos fundamentais da república, escolhas públicas e políticas públicas: caminhos de concretização dos benefícios sociais constitucionais. *Direitos sociais e políticas públicas*. Curitiba: Clássica Editora, 2014. p. 230-244.
- HOLMES, S.; SUSTEIN, C. R. *O custo dos direitos*: por que a liberdade depende dos impostos. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2019.
- HRW. *Relatório Mundial 2020*. Disponível em: <https://www.hrw.org/pt/world-report/2020/country-chapters/336671>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- INPE. *Dados Abertos*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Junho, 2021. [http://www.inpe.br/dados\\_abertos/](http://www.inpe.br/dados_abertos/). Acesso em: 10 jun. 2021.
- IPAM. *Fogo em área recém-desmatada na Amazônia disparou em 2019*. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, agosto, 2020. Disponível em: <https://ipam.org.br/fogo-em-area-recem-desmatada-na-amazonia-disparou-em-2019/>. Acesso em: 10 jun. 2021.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2021 Synthesis Report Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2021. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf). Acesso em: 11 jun. 2023
- KELSEN, H. *Teoria geral do direito e do Estado*. 3. ed. Tradução de Luiz Carlos Borges. São Paulo: Martins Fontes, 1998.
- KOTZÉ, L. J.; KIM, R. E. Earth system law: the juridical dimensions of earth system Governance. *Earth system Governance*, Amsterdam, v. 1, p. 100003, 2019.
- KRÜGER, E. L. Uma abordagem sistêmica da atual crise ambiental. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, n. 4, p. 37-43, jul./dez. 2001.
- LEFF, E. *Saber ambiental*: sustentabilidade, racionalidade, complexidade e poder. Petrópolis: Vozes, 2001.
- LEITE, M. M. Análise comparativa dos sistemas de avaliação de impacto ambiental. In:

- LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A. (org.). *Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa [on-line]*. Campina Grande: EDUEPB, 2013. p. 273-293. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/bxj5n>.
- MALCOLM, C. Dividing the kingdom. In: GELLERT, U.; JABLONKA, E. (ed.) *Mathematisation and demathematisation: social, philosophical and educational ramifications*. Rotterdam: Sense Publishers, 2007. p. 107-122.
- MATIAS, J. L. N.; MATTEI, J. Aspectos comparativos da proteção ambiental no Brasil e na Alemanha. *NOMOS: Revista do Programa de Pós-Graduação em Direito da UFC*, Fortaleza, v. 34, n. 2, p. 227-244, 2014.
- MOREIRA, D.; TIRABASSI, T. Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: um instrumento técnico para a gestão ambiental. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 159-172, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2004000200010>.
- MORIN, E. *Introdução ao pensamento complexo*. Porto Alegre: Sulina, 2011.
- NOGUEIRA NETO, P. *Uma trajetória ambientalista: diário de Paulo Nogueira-Neto*. Empresa das Artes, 2010.
- ONU. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano. *Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente humano*. Estocolmo, 1972. Disponível em: <http://www.direitoshumanos.usp.br/index.php/Meio-Ambiente/declaracao-de-estocolmo-sobre-o-ambiente-humano.html>. Acesso em: 11 jun. 2021.
- PADILHA, N. S. O saber ambiental na sua transdisciplinaridade: contribuição para os desafios do direito ambiental. In: POMPEU, G. V. M.; POMPEU, R. M. (org.). *A racionalidade ambiental, o diálogo dos saberes e o papel da universidade*. Porto Alegre: Fundação Fênix, 2020.
- PÁDUA, E. M. M. de; MATALLO JR., H. (org.). *Ciências sociais, complexidade e meio ambiente: interfaces e desafios*. São Paulo: Papirus, 2008.
- RAMOS, E. da S. *A inconstitucionalidade das Leis: vício e sanção*. São Paulo: Saraiva, 1994.
- REALE, M. *Filosofia do direito*. 11. ed. São Paulo: Saraiva, 1986.
- SÁNCHEZ, L. H. *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. São Paulo: Oficina de textos, 2006.
- SARLET, I. W. *A eficácia dos direitos fundamentais: uma teoria geral dos direitos fundamentais na perspectiva constitucional*. 10. ed. rev. atual. Porto Alegre: Livraria do Advogado Editora, 2012.
- SEN, A. *Desenvolvimento como liberdade*. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.
- VORMITTAG, Evangelina da Motta P. A. de Araújo et al. Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. *Estudos Avançados*, v. 35, n. 102, p. 7-30, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.002>. Epub 23 Ago 2021. ISSN 1806-9592. Acesso em: 19 set. 2021.

Todo conteúdo da Revista Direito em Debate está  
sob Licença Creative Commons CC – By 4.0