

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
CURSO DE DIREITO**

CAROLINA MILANESE LAGO

**OS DESAFIOS PARA A APLICAÇÃO DA LEI 9.433/97 (POLÍTICA NACIONAL DE
RECURSOS HÍDRICOS) E O PAPEL DAS NOVAS TECNOLOGIAS PARA SUA
EFETIVIDADE DIANTE DAS PRÁTICAS AGROINDUSTRIAS POTENCIALMENTE
CAUSADORAS DE DEGRADAÇÃO E POLUIÇÃO AMBIENTAL**

CRICIÚMA

2025

CAROLINA MILANESE LAGO

**OS DESAFIOS PARA A APLICAÇÃO DA LEI 9.433/97 (POLÍTICA NACIONAL DE
RECURSOS HÍDRICOS) E O PAPEL DAS NOVAS TECNOLOGIAS PARA SUA
EFETIVIDADE DIANTE DAS PRÁTICAS AGROINDUSTRIAS POTENCIALMENTE
CAUSADORAS DE DEGRADAÇÃO E POLUIÇÃO AMBIENTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado para obtenção do grau de
Bacharel no curso de Direito da
Universidade do Extremo Sul Catarinense,
UNESC.

Orientador(a): Prof. Me. Diogo Lentz
Meller

CRICIÚMA

2025

CAROLINA MILANESE LAGO

OS DESAFIOS PARA A APLICAÇÃO DA LEI 9.433/97 (POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS) E O PAPEL DAS NOVAS TECNOLOGIAS PARA SUA EFETIVIDADE DIANTE DAS PRÁTICAS AGROINDUSTRIAIS POTENCIALMENTE CAUSADORAS DE DEGRADAÇÃO E POLUIÇÃO AMBIENTAL

Trabalho de Conclusão de Curso
aprovado pela Banca Examinadora para
obtenção do Grau de Bacharel no Curso
de Direito da Universidade do Extremo Sul
Catarinense, UNESC, com Linha de
Pesquisa em Direito Ambiental

Criciúma, 24 de Junho de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Diogo Lentz Meller - Mestre - (UNESC) - Orientador

Prof. Débora Ferrazzo - Doutora - (UNESC)

Prof. Mateus Di Palma Back - Doutor - (UNESC)

AGRADECIMENTOS

O seguinte trabalho de conclusão de curso representa para mim muito mais do que o encerramento de uma etapa acadêmica. É a concretização de uma caminhada que sempre sonhei, feita com tremenda dedicação e, por isso, carrega um significado pessoal que vai muito além das palavras. Foram anos de construção, de amadurecimento e aprendizado marcado entre cadernos cheios de anotações apressadas. Vivi dúvidas que pesavam mais que o cansaço, mas também momentos de alegria e vitórias que me lembravam a razão de continuar meu caminho e, por toda essa experiência, agradeço.

Nada disso aconteceria sem os meus pais, Marta e Evandro, que sempre acreditaram em mim com muita fé e me deram liberdade para trilhar minha própria vida. Sou profundamente grata pela presença e pelo amor que sempre me ofereceram. São deles as maiores contribuições à minha monografia, justamente aquelas que não se veem nas páginas, mas que sustentaram cada uma delas, pois sempre me incentivaram e fizeram o possível e o impossível para que eu tivesse o privilégio de estudar.

Deixo um agradecimento especial à toda minha família. Seja aos que fazem parte da minha rotina, convivendo quase que diariamente desde minha infância, seja àqueles com quem o contato é menos assíduo, todos vocês têm uma importância única e insubstituível na minha formação como pessoa. Todas as conversas e seus exemplos marcaram lembranças que carrego com carinho.

Agradeço imensamente a todos os meus amigos, em especial à minha estimada amiga Héllen, por caminharem ao meu lado espontaneamente, por gostarem genuinamente de quem eu sou sem jamais exigirem que eu fosse diferente. Agradeço por todo o companheirismo, por me acolherem com afeto e por sempre estarem ao meu lado sem ressalvas. Seguiremos assim, apoiando-nos mutuamente, especialmente nos momentos difíceis.

Ao meu orientador, professor Diogo, deixo os meus mais sinceros agradecimentos. Suas instruções foram fundamentais ao longo desse processo. Com clareza, objetividade e paciência invejável, o senhor conduziu cada parte desse trabalho e me proporcionou a segurança necessária que eu precisava para prosseguir.

À Universidade do Extremo Sul Catarinense, seus professores e funcionários, obrigada por terem me oferecido uma formação exemplar, contribuindo para que eu me torne uma excelente profissional. Levo comigo não apenas o conhecimento acadêmico, mas também as reflexões construídas durante esse período.

Por fim, presto meus agradecimentos à banca examinadora por aceitarem avaliar este trabalho. A presença de vocês representa o reconhecimento de todo um percurso de estudo, disciplina e esforço. Muito obrigada pela atenção, pelo tempo disposto e por permitirem que esta jornada seja encerrada com respeito, escuta e diálogo.

“O tempo exige que abandonemos a visão de mundo focada na espécie humana. Só assim passaremos a entender que o equilíbrio ecológico não é acessório, e sim um fundamento da nossa própria existência.”

LEITE, José Rubens Morato

RESUMO

A gestão sustentável dos recursos hídricos é fundamental para a preservação ambiental e a qualidade de vida das populações, sendo a Lei 9.433/97 o marco legal que estabelece princípios e instrumentos para assegurar um manejo adequado. Diante deste contexto, o presente trabalho possui como objetivo verificar a efetividade da norma, principalmente na atuação em casos de impacto ambiental proveniente de agroindústrias. Para tanto, a abordagem metodológica adotada é dedutiva, qualitativa e teórica, com base em ampla revisão bibliográfica e análise de documentos legais. A intensificação da produção agroindustrial, com práticas agressivas ao meio ambiente, tem gerado danos aos ecossistemas e afetado diretamente comunidades locais. Apesar das ações do poder público para combater o problema, a atuação dos órgãos responsáveis não consegue refletir plenamente o dispositivo legal, pois enfrentam problemas estruturais e limitações. Nesse sentido, o papel das tecnologias modernas como ferramentas para aprimorar a fiscalização e monitoramento dos recursos hídricos mostra-se relevante.

Palavras-chave: Política Nacional de Recursos Hídricos. Poluição. Degradação. Agroindústrias. Tecnologia ambiental. Direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado.

ABSTRACT

The sustainable management of water resources is crucial for environmental preservation and for safeguarding the quality of life, as established under Law No. 9.433/97. This provides the legal framework defining the principles and instruments required to ensure proper management. Therefore, the present study seeks to critically evaluate the efficacy of the legislation, with a particular focus on its implementation in addressing environmental impacts associated with agro-industrial activities. Accordingly, the study employs a deductive, qualitative, and theoretical methodological approach, grounded in an extensive literature review and a thorough analysis of pertinent legal documents. The intensification of agro-industrial production, frequently propelled by environmentally harmful practices, has led to ecosystem degradation and has directly affected local communities. Despite governmental efforts to address these issues, the actions of the responsible agencies do not fully reflect the provisions of the law, due to structural challenges and operational constraints. In this regard, the adoption of modern technologies as tools to enhance the inspection and monitoring of water resources demonstrates significant relevance.

Keywords: National Water Resources Policy. Pollution. Degradation. Agro-industries. Environmental technology. Right to an ecologically balanced environment

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Comparativo entre impactos ambientais	43
Quadro 2. Definição de nível de maturidade tecnológica (TRL)	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Nível de estresse hídrico físico mundial em 2018.....	25
Gráfico 2. Proporção de retirada de água por setor	28
Gráfico 3. Fiscalização de usos dos recursos hídricos realizados pela ANA em rios de domínio da União	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CF ou CF/88	Constituição Federal de 1988
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IoT	<i>Internet of Things</i> (A Internet das Coisas)
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> (Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço)
ONU	Organização das Nações Unidas
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PRODES	Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas
PSA	Pagamento por serviços ambientais
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
TAC	Termo de Ajustamento de Conduta
TRL	<i>Technology Readiness Level</i> (Níveis de Prontidão Tecnológica)
UNESCO	Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	PRINCÍPIOS CONSTITUCIONAIS APLICADOS AO GERENCIAMENTO HÍDRICO	15
2.1	O MEIO AMBIENTE ECOLOGICAMENTE EQUILIBRADO GARANTIDO PELO ACESSO EQUITATIVO À ÁGUA DE QUALIDADE COMO DIREITO FUNDAMENTAL	16
2.2	SUSTENTABILIDADE HÍDRICA E INSTRUMENTOS REGULATÓRIOS	22
2.3	A CONFIGURAÇÃO NORMATIVA DAS DIRETRIZES OPERACIONAIS DA POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (LEI 9.433/97)	30
3.	POLUIÇÃO E OS IMPACTOS DAS ATIVIDADES AGROINDUSTRIAIS .	37
3.1	IMPACTO AMBIENTAL, POLUIÇÃO E DEGRADAÇÃO: CONCEITOS E DEFINIÇÕES JURÍDICAS	38
3.2	OS IMPACTOS COMUMENTE CAUSADOS PELAS ATIVIDADES AGROINDUSTRIAIS	44
3.3	OS DESAFIOS ENFRENTADOS PELAS COMUNIDADES LOCAIS DEVIDO À CONTAMINAÇÃO HÍDRICA	49
4.	AS NOVAS TECNOLOGIAS NA APLICAÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (LEI 9.433/97).....	56
4.1	A ESTRUTURA DOS ÓRGÃOS FISCALIZADORES E SUA CAPACIDADE DE MONITORAR OS RECURSOS HÍDRICOS	56
4.2	SOLUÇÕES ADOTADAS PELO PODER PÚBLICO E SEU IMPACTO NA MITIGAÇÃO DA POLUIÇÃO HÍDRICA E NA PROTEÇÃO DAS COMUNIDADES AFETADAS/OS	64
4.3	NOVAS SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS PARA MONITORAMENTO DO USO SUSTENTÁVEL DA ÁGUA	69
5.	CONCLUSÃO	78
	REFERÊNCIAS	82

1. INTRODUÇÃO

A água, elemento insubstituível à manutenção da vida em todas as suas formas, reveste-se de inquestionável centralidade tanto na preservação dos ecossistemas quanto na promoção do desenvolvimento humano. Sua importância transcende a mera condição de recurso natural, configurando-se como insumo essencial para o equilíbrio ambiental, a estabilidade climática e o funcionamento duradouro e estável dos ciclos biogeoquímicos, ao mesmo tempo em que constitui um vetor estratégico para a saúde pública e o progresso socioeconômico das nações.

Entretanto, apesar de sua relevância intrínseca, verifica-se um cenário de crescente tensão sobre sua disponibilidade e qualidade, impulsionado pela intensificação do crescimento populacional e, sobretudo, da adoção de modelos produtivos caracterizados por elevado dano ambiental, marcados por altos índices de poluição e degradação. Dentro desse contexto, destaca-se o setor agroindustrial, cuja lógica operacional é fortemente orientada à maximização de produtividade, de forma que negligencia a capacidade e limites da regeneração ambiental.

Em detrimento da integridade dos ecossistemas, a modalidade produtiva desse setor manifesta-se de forma intensa por meio do uso excessivo de insumos químicos agressivos, da geração de efluentes não tratados e do manejo inadequado dos resíduos, configurando um cenário em que os impactos cumulativos sobre os corpos hídricos se tornam evidentes e preocupantes.

Tal realidade revela-se particularmente crítica em países cuja estrutura econômica apresenta proeminente dependência desse setor, como é o caso do Brasil. Esse tipo de condução pautada por uma lógica de exploração imediatista e descomprometida com os princípios ambientais evidencia uma dissonância entre os imperativos do desenvolvimento sustentável e as práticas adotadas nas áreas de maior atividade produtiva. Demonstrado descompasso impõe desafios significativos à governança das águas e à implementação eficaz de políticas públicas capazes de assegurar seu uso adequado.

Destarte, torna-se premente a instituição de arcabouços normativos sólidos e tecnicamente embasados, capazes de assegurar gestão em conformidade com os princípios do desenvolvimento sustentável, por meio da articulação entre fiscalização, monitoramento e controle, de modo a harmonizar as demandas

contemporâneas com a necessidade de conservação da água. Portanto, o desenvolvimento da Lei nº 9.433/97 e a instauração da Constituição Federal de 1988 representam um ponto relevante no ordenamento jurídico ambiental brasileiro, ao estabelecer fundamentos claros e rígidos para a governança hídrica. A partir disso, reafirmou-se o compromisso do Estado com uma nova lógica de planejamento.

Desse modo, emerge a problemática que orienta o presente estudo: compreender se a Política Nacional de Recursos Hídricos, materializada na referida legislação, tem se mostrado eficiente na regulamentação, fiscalização e controle dos impactos ambientais gerados pelas atividades agroindustriais, especialmente no que tange casos de poluição e degradação. Adicionalmente, busca-se compreender se os instrumentos nela previstos, bem como sua operacionalização pelos órgãos competentes, são suficientes para garantir a proteção dos corpos d'água, ou se permanecem limitações que comprometem seu pleno alcance.

Almeja-se, inicialmente, desenvolver uma análise sobre o arcabouço normativo em vigor, abordando seus princípios estruturantes, seus fundamentos e os instrumentos que o norteiam. Em seguida, pretende-se identificar e examinar os principais impactos ambientais ocasionados pelas atividades agroindustriais, especialmente às repercussões socioambientais decorrentes dessa dinâmica. Por fim, busca-se investigar de que forma os órgãos fiscalizadores vêm atuando na consagração da lei, analisando seu potencial regulatório e os desafios enfrentados na concretização de suas atribuições.

Para tal, o presente estudo adota uma abordagem qualitativa, de natureza exploratória e descritiva, sustentada no método dedutivo, cuja análise parte de premissas gerais como os princípios constitucionais ambientais basilares demonstrados durante a extensão da pesquisa, para a investigação específica dos desafios enfrentados na aplicação prática da Lei 9.433/97. A pesquisa apoia-se, ainda, na análise documental e bibliográfica, com a utilização de legislações, pareceres técnicos, estudos acadêmicos e relatórios de órgãos ambientais.

A escolha do presente tema justifica-se pela matéria estar enquadrada entre os direitos fundamentais de terceira dimensão, sendo assim norteadada pelo seu inegável destaque ambiental, econômico, social e jurídico, na medida em que a água, enquanto bem de uso comum, representa uma condição da existência e continuidade às sociedades atuais e futuras. Ademais, a pertinência temática evidencia-se diante das constantes discussões acerca da eficácia e aplicabilidade

das legislações ambientais no Brasil. A análise crítica da Política Nacional de Recursos Hídricos revela-se, portanto, essencial para compreender as lacunas existentes na estrutura jurídica vigente, enquanto fomentam-se debates sobre possíveis aperfeiçoamentos administrativos, institucionais e tecnológicos.

2. PRINCÍPIOS CONSTITUCIONAIS APLICADOS AO GERENCIAMENTO HÍDRICO

Desde os primórdios, a água destaca-se como elemento essencial para o progresso das civilizações e para a salvaguarda da vida em sua multiplicidade. Todavia, com o advento da modernidade e, por conseguinte, a intensificação exponencial dos processos produtivos, esse recurso resta fragilizado. Norteado por uma lógica imediatista voltada à maximização de resultados econômicos, a modalidade de uso intensivo revela-se cada vez mais insustentável. Tal paradigma compromete a disponibilidade quantitativa e a integridade qualitativa da água, afetando grandemente os ecossistemas e sua capacidade regenerativa.

Nesse contexto, a governança hídrica deve pautar-se numa concepção sistêmica e prospectiva, que assegure não apenas a acessibilidade do recurso para as gerações atuais, mas também visando sua disponibilidade futura. Sendo um recurso vital, impõe-se uma abordagem que considere sua finitude e crescente demanda, o que exige o desenvolvimento de estratégias capazes de conduzir à sustentabilidade dos ecossistemas frente às tensões induzidas pelas atividades humanas (Crutzen; Stoermer, 2020, p. 115).

Diante desse panorama, o presente capítulo propõe-se a examinar a centralidade do equilíbrio ecológico enquanto pressuposto necessário para a sustentabilidade hídrica. Para tal, são apresentados os fundamentos teóricos, como as definições, os mecanismos operacionais e a ordem normativa dos direitos fundamentais associados ao acesso ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, cuja efetivação demanda uma gestão ambientalmente responsável e juridicamente amparada. Tais prerrogativas desempenham função estruturante na consolidação do Estado Democrático de Direito, exigindo, portanto, a implementação de políticas públicas articuladas e eficazes.

Objetivando enfrentar esses desafios, instituiu-se, por intermédio da Lei nº 9.433/97, a Política Nacional de Recursos Hídricos, a qual constitui marco fulcral ao inaugurar um sistema voltado à regulação do uso e enfatizar a proteção das águas. Ao estabelecer princípios, instrumentos e diretrizes orientados à gestão descentralizada, participativa e integrada, reconhece a água como bem de domínio público, dotado de valor econômico e de função social.

Assim, os fundamentos teóricos a seguir delineados oferecem o suporte necessário para a análise crítica da gestão hídrica no ordenamento jurídico pátrio, especialmente diante das pressões ambientais resultantes das atividades antrópicas contemporâneas e pela lógica predatória que permeia diversos setores produtivos.

2.1 O MEIO AMBIENTE ECOLOGICAMENTE EQUILIBRADO GARANTIDO PELO ACESSO EQUITATIVO À ÁGUA DE QUALIDADE COMO DIREITO FUNDAMENTAL

Inicialmente, destaca-se a inegável dependência do ser humano em relação a um meio ambiente estável e funcional, uma vez que a sobrevivência sempre esteve condicionada à disponibilidade dos recursos naturais. Desde os primórdios da civilização, a natureza fornece elementos cruciais à vida, possibilitando a organização das sociedades e o seu desenvolvimento. Historicamente, as comunidades se formaram nas proximidades das nascentes dos rios, justamente para assegurar essa sobrevivência (Noschang; Scheleder, 2018, p. 120).

Evidencia-se que os recursos hídricos fazem parte de uma rede sistêmica amplamente interdependente, na qual atmosfera, fauna, flora e ciclos biogeoquímicos no geral operam em delicada interação. Assim, o meio ambiente, ao exercer funções essenciais, como o controle climático e a condução dos processos naturais de regeneração, assegura a estabilidade necessária à manutenção da vida. Nesse ínterim, revela-se a dependência humana ao ciclo natural, estabelecendo condição indispensável à sua existência e continuidade. Diante da constante necessidade dessa relação, o meio ambiente ecologicamente equilibrado configura-se como direito fundamental assegurado no artigo 225 da Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988).

Igualmente, em razão da eclosão da crise ambiental, que é exacerbada pela racionalidade moderna, predominantemente antropocêntrica, reducionista e fragmentadora, surgiram, de forma global, novas demandas sociais. Essas reivindicações refletem uma crescente preocupação com as questões ambientais, inclusive nacionalmente, o que resultou na inserção de uma nova dimensão de

direitos fundamentais no ordenamento jurídico, com destaque para o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado (Moraes, K., 2012, p. 155).

Nesse contexto, o Direito passou a desempenhar papel central na consolidação da consciência ambiental, incorporando garantias voltadas à preservação da vida em todas as suas formas. Portanto, o ordenamento jurídico interno fundamenta-se primordialmente em normas constitucionais, que, além de englobarem valores principiológicos, consagram direitos fundamentais que constituem o núcleo das relações jurídicas e sociais, garantindo as condições mínimas para seu exercício pleno, assegurando a proteção de interesses imprescindíveis à vida, como saúde, educação, segurança e o acesso ao meio ambiente ecologicamente equilibrado.

A fim de compreender a estrutura e a efetividade dos direitos fundamentais inseridos no ordenamento jurídico, é imprescindível considerar o que, de fato, lhes dá sustentação. Nesse sentido, Arruda (2014, p. 97-98) destaca que os princípios jurídicos estruturam o ordenamento de um país ao refletirem sua história, cultura e realidade social. Alguns são específicos de cada nação, enquanto outros possuem caráter universal, sendo adotados no direito internacional. Esses princípios universais consideram o ser humano como centro da organização social e são válidos independentemente de tempo e lugar.

Assim, os direitos fundamentais são amplamente baseados em condições universais e, ao refletirem princípios essenciais da comunidade político-estatal, devem ser exercidos em conformidade com esses referenciais, pois são pressupostos para a existência e o funcionamento do Estado e sua sociedade. Além disso, estabelecem condições e limites para sua própria fruição por todos os indivíduos no contexto coletivo (Sarlet; Fensterseifer, 2012, p. 14-15).

Nesse sentido, consagrado no artigo 225 da Constituição Federal, o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado está intrinsecamente relacionado à garantia das condições essenciais para a dignidade humana (Silva, S., 2006, p. 172). Sua fundamentação baseia-se na preservação de recursos naturais indispensáveis a fim de garantir que todos os cidadãos tenham direito ao seu acesso, planejado também para as futuras gerações (Cunha, 2019, p. 50). Funcionando dessa forma como condição para a qualidade de vida e para a justiça social, pois a sua ausência comprometeria de forma irreversível o desenvolvimento humano.

Dessa maneira, o meio ambiente ecologicamente equilibrado possui fundamento constitucional expresso como direito difuso de titularidade coletiva. O artigo o define como bem de uso comum e essencial à sadia qualidade de vida, impondo ao Poder Público e à coletividade o dever de protegê-lo. (Brasil, 1988). Assim, a responsabilidade pela proteção ambiental torna-se condição *sine qua non* ao assegurar o acesso dos indivíduos a todos os demais direitos fundamentais.

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. (Caput, 225 CF.)

Destaca-se que o conceito não se limita a um dever de respeito mútuo entre os indivíduos, mas exige responsabilidades positivas que transcendem o plano individual, vinculando também a coletividade. Nesse sentido, a Constituição tem avançado ao reconhecer deveres jurídicos fundamentais, que envolvem a proteção ambiental como um componente essencial para a dignidade da pessoa humana. Tais deveres demandam ações efetivas para assegurar condições de vida digna e equilibrada para as gerações presentes e futuras (Sarlet; Fensterseifer, 2012, p. 23).

Ao atribuir tanto ao Poder Público quanto à coletividade a obrigação de prevenir danos ambientais e assegurar o uso racional dos recursos naturais, o ordenamento jurídico estabelece instrumentos que incluem medidas para a conservação dos ecossistemas, visando à proteção da biodiversidade com a exigência de estudos prévios de impacto ambiental para atividades potencialmente prejudiciais e o controle da produção e comercialização de substâncias nocivas (Silva, S., 2006, p. 172).

Segundo Costa, P. (2012, p. 6) a educação ambiental está diretamente relacionada ao modo de vida do cidadão, tornando essencial que ele perceba o meio em que vive em sua totalidade, considerando suas problemáticas e características. Assim, a promoção da educação ambiental multi e transdisciplinar emerge como um instrumento essencial para a conscientização ao estimular o senso de responsabilidade coletiva, incentivando a adoção de práticas sustentáveis e comportamentos ecológicos desde a juventude (Moraes, K., 2012, p. 159-160). Nesse sentido, a implementação de projetos e iniciativas, ainda que em pequena

escala, revela-se como uma resposta relevante para a promoção da racionalidade ambiental.

Embora as transformações em larga escala sejam indiscutivelmente fundamentais, é necessário reconhecer a importância das intervenções de menor abrangência, que também contribuem de forma significativa para a conscientização e mudança de mentalidade. Nesse cenário, o ambiente educacional conceitua-se como um espaço estratégico, essencial para a formação da racionalidade ambiental, desempenhando papel crucial na internalização de valores ecológicos pelos indivíduos (Silva, L.; Sousa; Silva, A., 2020, p. 377).

Igualmente, a previsão de sanções administrativas e penais para condutas lesivas, bem como a obrigação de recuperação de áreas degradadas, reafirma o dever de reparação, por exemplo, com a Lei de Crimes Ambientais (Brasil, 1998) a qual estabelece sanções como multas, suspensão da atividade exploratória, interdição do local e mais, abrangendo tanto florestas nativas quanto plantadas que tenham sido alteradas sem a devida anuência do órgão competente.

Desse modo, reforça-se a centralidade da recuperação ambiental no contexto das penalidades impostas aos infratores, destacando a imprescindibilidade de ações concretas voltadas à reparação dos danos causados (Diniz; et al., 2024, p.13). A imposição da obrigação de recuperação reflete uma estratégia mais ampla de responsabilização, com ênfase na restauração do equilíbrio ambiental. Essa configuração é um componente essencial para garantir a preservação do meio ambiente ecologicamente equilibrado. De acordo com os autores Sarlet e Fensterseifer (2012, p. 26-27):

O exercício de direitos em face dos recursos naturais e da qualidade do ambiente deve ser limitado por restrições ecológicas, sendo necessária a configuração de um dever fundamental para prevenir o dano ambiental (Sarlet; Fensterseifer, 2012, p. 26-27).

A reparação do prejuízo baseia-se nos princípios da prevenção e da precaução, abordagem a qual o arcabouço jurídico nacional adota e traduz-se de forma que o princípio da prevenção aplica-se às situações nas quais existem evidências inequívocas sobre a totalidade dos impactos ambientais de determinada atividade, exigindo a adoção de medidas que impeçam sua concretização ou

mitiguem seus impactos, baseando-se em conhecimentos científicos consolidados (Alvares, 2013, p. 40).

Assim, demonstrado que o conhecimento dos impactos ambientais de uma atividade proporciona uma base sólida para avaliar sua real relevância, tanto do ponto de vista econômico quanto social, permite a consequente análise dos prejuízos inerentes à atividade (Canotilho; Leite, José, 2007, p. 43-44). Possibilitando, em casos em que se constate a existência de prejuízos para o meio ambiente ecologicamente equilibrado, a adoção de medidas para impedir seu avanço (Medeiros, L., 2013, p. 84).

Em contrapartida, o princípio da precaução, considerado atualmente um dos mais promissores princípios do Direito Ambiental, incide nos casos em que não há certeza absoluta sobre a totalidade dos riscos, na qual prevalece a adoção de medidas que evitem sua concretização, impossibilitando que a degradação ocorra. Em outras palavras, Medeiros, L. (2013, p. 83) exemplifica que esse princípio existe quando há incerteza científica quanto à extensão do dano. Ele denuncia todas as ações tendentes à proteção do meio ambiente em casos que reina a dúvida à real lesividade das condutas, funcionando de maneira *in dubio pro ambiente* (Canotilho; Leite, José, 2007, p. 41).

Portanto, ao buscar evitar a lesividade ambiental por meio de regulamentações e políticas públicas eficazes, garante-se que a exploração não comprometa sua renovação e disponibilidade para o acesso da mesma às gerações futuras, seguindo o objetivo do disposto constitucional (Guimarães, 2008, p. 33). No contexto jurídico, a tutela do meio ambiente está alicerçada em princípios que orientam a aplicação das normas ambientais e a interpretação dos dispositivos legais voltados ao equilíbrio ecológico como forma de promoção da sustentabilidade.

Ainda assim, é válido ressaltar que o conceito de meio ambiente ecologicamente equilibrado transcende meras conformidades constitucionais, traduzindo-se na abrangência da manutenção dos processos ecológicos essenciais, ao concretizar a coexistência entre o progresso econômico e a conservação ambiental. Esse delicado e dinâmico equilíbrio é apenas alcançado quando as atividades exploratórias respeitam a capacidade de regeneração dos ecossistemas, evitando impactos irreversíveis (Canotilho; Leite, José, 2007, p. 107-108).

Ademais, a complexidade do meio ambiente ecologicamente equilibrado reside na interconexão entre diversos fatores que influenciam diretamente a qualidade de vida humana. Dessa forma, a análise integrada dos seus elementos é imprescindível para a compreensão das dinâmicas ambientais e para a formulação de estratégias que viabilizem uma gestão eficiente e sustentável dos recursos naturais, assegurando o equilíbrio entre desenvolvimento e conservação ambiental (Silva, S., 2006, p. 171).

Diante desse panorama, torna-se evidente que a manutenção de um meio ambiente ecologicamente equilibrado não se trata apenas de uma prerrogativa ambientalista, mas de uma necessidade para a continuidade da vida e da organização social. A interdependência entre os ecossistemas e as atividades humanas exige uma atuação sinérgica entre Estado e a sociedade civil, de modo a viabilizar que o desenvolvimento econômico não ocorra em detrimento da estabilidade ambiental. À vista disso, a efetividade das Políticas Públicas reflete-se na efetivação do dever constitucional de assegurar um meio ambiente sadio às futuras gerações, reafirmando a centralidade da sustentabilidade no ordenamento jurídico e na construção de um futuro equitativo e viável para toda a coletividade (Casa; Zanini; Vasconcellos, 2013, p. 297).

Dessa forma, a eficácia das normas ambientais exige mais do que sua simples existência no ordenamento jurídico, demandando a adoção de mecanismos que assegurem sua implementação e fiscalização de forma que não permaneça no plano abstrato, mas produza efeitos concretos. A criação de incentivos econômicos para práticas sustentáveis, como políticas de crédito verde e compensações ambientais, podem estimular a transição para um modelo produtivo mais equilibrado. Paralelamente, a inovação tecnológica desempenha um papel relevante na mitigação de impactos ambientais.

Além disso, a cooperação internacional se torna imprescindível, uma vez que problemas como as mudanças climáticas e a perda da biodiversidade ultrapassam fronteiras e exigem respostas coordenadas. A responsabilidade ambiental, portanto, não se restringe ao Estado, estendendo-se às empresas e à sociedade civil, cuja conscientização e engajamento são fundamentais para garantir a preservação dos recursos naturais e a construção de um futuro ambientalmente viável. Segundo Silva, S. (2006, p. 173) o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado possui uma natureza complexa, abrangendo tanto direitos individuais

quanto coletivos de forma que sua concretização não se limita à previsão normativa, mas se manifesta principalmente no âmbito social.

Assim, o princípio do desenvolvimento sustentável solidifica-se como eixo normativo que submete o uso dos recursos naturais à necessidade de preservação ambiental, criando uma praticabilidade responsável. Nesse formato, impõe-se que o crescimento econômico seja orientado pelos limites da capacidade regenerativa dos ecossistemas, equilibrando lucro e conservação. Isso leva à formulação e execução de políticas públicas sobre a fiscalização das práticas do setor privado. Destarte, a consagração do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, previsto no art. 225 da Constituição, extrapola a esfera ambiental e irradia seus efeitos sobre diversos outros dispositivos constitucionais, visto que a sustentabilidade se torna um elemento estruturante que impõe a adoção de parâmetros rigorosos.

2.2 SUSTENTABILIDADE HÍDRICA E INSTRUMENTOS REGULATÓRIOS

Indubitavelmente, a promoção de um meio ambiente ecologicamente equilibrado é essencial à sadia qualidade de vida e exige uma gestão eficiente e adequadamente sustentável, diante da intensificação humana das atividades modernas. Atualmente, observa-se um aumento na adoção de práticas que conciliam a preservação ambiental com a exploração econômica, de maneira que políticas públicas, inovações tecnológicas e a conscientização social desempenham papel central na criação e aplicação de estratégias necessárias para alcançar tal equilíbrio. Logo, buscando se aproximar dessa temática enfatiza-se especificamente a questão da finitude da água e sua capacidade de ser economicamente explorável.

Inicialmente, partindo para uma esfera específica, o uso sustentável da água pertence a uma pequena parte do leque que o mecanismo do meio ambiente ecologicamente equilibrado engloba, representando dessa maneira, em especial, todos os cuidados e atenções necessárias para que o bem hídrico seja administrado corretamente, nos moldes expostos. Nesse sentido, uma gestão integrada dos recursos hídricos torna-se fundamental para garantir sua disponibilidade, assegurando, assim, a preservação ambiental e, conjuntamente, a manutenção da vida humana (Noschang; Scheleder, 2018, p. 120).

Segundo Caraciolo (2008, p. 78) ao adotar estratégias sustentáveis para a gestão dos recursos hídricos, assegura-se sua disponibilidade em quantidade e qualidade adequadas para as gerações atuais e futuras, em conformidade com a legislação e princípios básicos. Os autores Sarlet e Fensterseifer (2012, p. 45) explicam a mecânica intergeracional na forma de que como as gerações futuras nada podem fazer hoje para preservar o ambiente, toda a responsabilidade e os deveres correspondentes de preservação da vida e da qualidade ambiental para o futuro recaem sobre as gerações presentes.

Considerando o exposto, a manutenção da disponibilidade e qualidade hídrica deve se basear em soluções que conciliam o desenvolvimento e a preservação ambiental, definindo seu uso sustentável. Ao obrigar as gerações presentes a incluir medidas de ação e ponderação aos interesses das futuras, conclui-se que se garante, dessa forma, a longevidade de acesso ao bem limitado (Canotilho; Leite, José, 2007, p. 8).

Destarte, o uso sustentável da água insere-se em uma dimensão fundamental do equilíbrio ecológico, assim, a imprescindibilidade do recurso para a sobrevivência humana evidencia sua natureza como direito fundamental, exigindo que seu acesso seja garantido de forma equitativa à população mundial. Nesse contexto, torna-se responsabilidade dos Estados assegurarem a disponibilidade e o seu gerenciamento adequado dentro dos limites de sua soberania, promovendo uma utilização racional e sustentável, em consonância com as diretrizes de preservação e justiça ambiental. (Noschang; Scheleder, 2018, p. 121)

Os Estados devem traçar a governança dos recursos hídricos em formato de estratégias que promovam o uso sustentável com a aplicação de princípios fundamentais para a proteção ambiental e a responsabilização dos agentes envolvidos, pois de nada adiantaria a adoção de ações preventivas e precaucionais se os eventuais responsáveis não fossem compelidos a responder por suas condutas (Canotilho; Leite, José, 2007, p. 180).

Para além dos princípios da prevenção e da precaução anteriormente citados, existem outros princípios igualmente importantes que merecem atenção no contexto da proteção ambiental. Entre eles, destacam-se o princípio do poluidor-pagador e o princípio do protetor-recebedor, os quais desempenham um papel central na equidade da distribuição de responsabilidades, tendo sua aplicação de diversas formas.

O princípio do poluidor-pagador define que o dano ambiental deve ser compensado por quem o causou, criando uma conexão direta com o conceito de responsabilização. Dessa maneira, ao impor o poluidor a obrigação de arcar com os custos de suas ações, fixa sua autoria ao pagamento. Segundo Gutierrez, Fernandes, e Rauen (2017, p. 904) essa responsabilização é exercida de forma punitiva como aplicação de multas, enquanto o princípio do protetor-recebedor traduza-se em descontos ou isenção de taxas e subsídios, para a compra de dispositivos economizadores de água ou de equipamentos coletores de água pluvial por exemplo.

Destaca-se que o princípio do poluidor-pagador não deve ser interpretado como uma autorização para poluir mediante pagamento. Ao contrário, impõe àquele que utiliza recursos naturais a responsabilidade arcar com os custos decorrentes da sua atividade, assegurando que os impactos negativos sobre os recursos naturais sejam compensados (Casa, Zanini, Vasconcellos, 2013, p. 290). Essa abordagem busca inibir práticas que possam comprometer a qualidade e disponibilidade da água, prevenindo impactos ambientais negativos e incentivando a adoção de tecnologias e práticas menos agressivas.

Observa-se a incorporação de incentivos fiscais, tributários e creditícios como estratégia fulcral sob a égide do princípio do protetor-recebedor. Esse postulado embasa o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), mecanismo que objetiva retribuir aqueles que desempenham papel ativo na preservação dos recursos naturais. Nesse viés, ao viabilizar as compensações supramencionadas propicia a internalização dos custos ambientais e fomenta práticas sustentáveis, consolidando-se como vetor de um modelo capaz de articular desenvolvimento econômico e preservação ecológica sob uma perspectiva sistêmica e eficiente. (Hupffer; Weyermüller; Waclawovsky, 2011, p. 102-103).

Todas as atividades antropocêntricas são susceptíveis a impactar o meio ambiente, de forma direta ou indireta, não tendo exagero tal colocação (Canotilho; Leite, José, 2007, p. 26). Por isso torna-se tão relevante a aplicação concomitante dos princípios acima estabelece um mecanismo regulatório dinâmico que equilibra incentivos e penalidades no contexto da gestão ambiental. Esse duplo enquadramento normativo não apenas internaliza os custos ambientais gerados por agentes econômicos de alto impacto, esmorecendo práticas predatórias, mas também fomenta comportamentos sustentáveis ao recompensar aqueles cuja

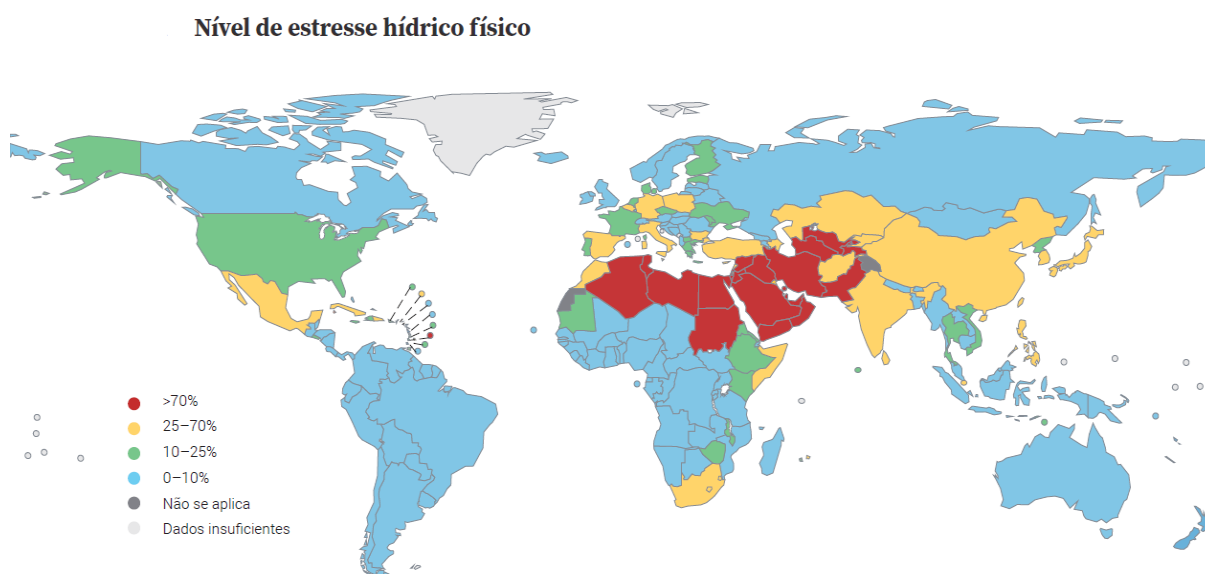
conduta está alinhada com os padrões esperados (Gutierrez; Fernandes; Rauen, 2017, p. 907).

Ademais, destaca-se que a gestão sustentável da água firma-se também sobre a racionalização desse bem único, considerando a crescente escassez de água doce no mundo, um problema já reconhecido como crise hídrica. Tal fenômeno afeta as mais diversas regiões globalmente, onde a falta de água para abastecimento da população tem se tornado uma questão cada vez mais grave (Noschang; Scheleder, 2018, p. 121)

Segundo a Organização das Nações Unidas (2018), mais de 2 bilhões de pessoas vivem em países que enfrentam estresse hídrico, definido pela relação onde a retirada de água potável em uma determinada região ultrapassa a sua disponibilidade natural renovável disponível. Esse quadro compromete a sustentabilidade do recurso e eleva os riscos de conflitos pelo uso da água.

Essa condição se dá quando a quantidade de água disponível *per capita* é reduzida a níveis insustentáveis, geralmente abaixo de 1.000 m³ por habitante por ano, conforme estipulado pela ONU. Já quando a disponibilidade de água por habitante cai para níveis inferiores a 500 m³ por ano considera-se situação crítica, implicando em graves consequências para a atividade humanas e a manutenção dos ecossistemas, em demonstrativo conforme gráfico abaixo disponibilizado pela organização (ONU; UNESCO, 2019, p.3)

Gráfico 1. Nível de estresse hídrico físico mundial em 2018



A preservação ambiental com a gestão sustentável assume papel na garantia da disponibilidade de água potável, imprescindível não apenas ao consumo humano direto, mas também ao funcionamento de setores essenciais, tais como a irrigação de cultivos agrícolas, a obtenção de energia via hidrelétrica, a manutenção da biodiversidade, a estabilidade dos regimes pluviais a fim de evitar desastres naturais, a navegação fluvial e a própria perenidade dos ecossistemas que dependem da regularidade dos ciclos hidrológicos. Assim, a proteção dos recursos naturais não se limita a um imperativo ecológico.

Entretanto, o cenário contemporâneo impõe desafios inadiáveis à governança hídrica. É inconcebível a ideia de que este recurso consiga, de alguma forma, acompanhar naturalmente o crescimento exponencial e desenfreado da população mundial com a ampliação da urbanização desordenada, fatores estes que resultam em déficit hídrico, visto que o crescimento da demanda por água doce tem se intensificado ao longo dos anos, e, caso não haja um restabelecimento do equilíbrio entre oferta e demanda, a problemática continuará se intensificando (Noschang; Scheleder, 2018, p. 133).

Esse conjunto de elementos tem exercido pressão contínua sobre a água, ensejando a necessidade de adoção de medidas que garantam sua conservação. Diante desse cenário, a racionalização da água revela-se essencial para garantir sua disponibilidade no futuro, evitando o esgotamento. A gestão adequada reflete um compromisso de justiça intergeracional ao adotar estratégias que asseguram fruição contínua, reforçando as bases da utilização sustentável.

De acordo com Pozza (2019, p. 27) a adoção de práticas sustentáveis, como o reaproveitamento da água da chuva para uso doméstico ou comercial, é favorável para a preservação dos recursos hídricos de forma que o investimento em políticas de prevenção, juntamente com a implementação de medidas rigorosas contra o desperdício, a poluição e o assoreamento das fontes de água potável causados pela agroindústria, são estratégias essenciais para garantir a disponibilidade contínua de água para todos.

Consequentemente torna-se imprescindível incorporar essa diversidade de abordagens práticas que conciliam o uso consciente e responsável da água com estratégias eficazes de preservação ambiental. Essa mitigação de impactos, como a escassez hídrica, propicia a perenidade dos sistemas aquáticos frente às demandas

cada vez mais intensas e complexas da sociedade contemporânea (Pozza, 2019, p. 23).

Visto que o crescimento populacional global tem gerado uma maior demanda por água nos setores de alimentos e energia, o que intensifica a pressão sobre os recursos naturais e cria desafios para o abastecimento. As cidades, como catalisadores dessas demandas, concentram a necessidade de alimentos, energia e água, ao mesmo tempo em que produzem águas residuais, uma importante fonte de poluição da água, especialmente nos países em desenvolvimento (Pastore, 2019, p. 15. tradução nossa).

Assim, a reutilização da água se mostra como uma estratégia viável para reduzir a pressão sobre as reservas naturais. Em diversas partes do mundo, o reúso planejado da água já é adotado para fins industriais, agrícolas e até mesmo para abastecimento urbano, desde que respeitados os padrões de qualidade e segurança. Esse processo vem sendo cada vez mais adotado por empresas que buscam operações sustentáveis.

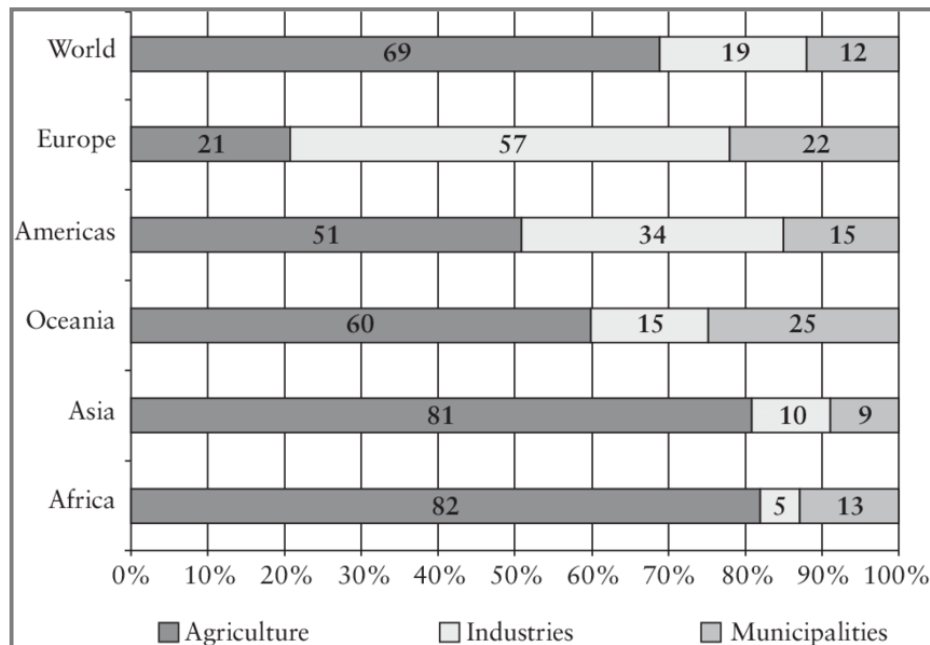
No setor industrial, empresas como a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) investem na gestão eficiente da água, aplicando estratégias de reúso. Além disso, cresce a demanda por profissionais que atuam em consultorias ambientais e empresas de engenharia voltadas à racionalização do uso da água e modernização de infraestruturas hídricas (Costa, Andre; et al., 2012, p. 72).

Na agricultura, uma das atividades que mais demandam água, conforme anexo, deve ter um dos focos centrais das políticas de uso sustentável. Técnicas como irrigação por gotejamento e a utilização de biofertilizantes são ideias para minimizar o desperdício. Nesse contexto, o reúso da água e a implementação de práticas agrícolas mais eficientes são fundamentais para atender às crescentes necessidades dos diversos setores, garantindo o uso sustentável da água.

Abaixo consta gráfico retirado da obra de Pastore (2019, p. 16) para fins de melhor compreensão da distribuição global do uso da água, cuja análise permite expor a dialética da dependência. Destaca-se que o subdesenvolvimento não é uma etapa anterior ao desenvolvimento, mas sim uma condição produzida pela inserção subordinada dos países periféricamente localizados na economia mundial. No caso da gestão dos recursos hídricos, essa lógica está presente na priorização de modelos produtivos voltados à exportação de *commodities* agrícolas,

frequentemente às custas da sustentabilidade, impossibilitando a verificação do meio ambiente ecologicamente equilibrado devido à exaustão dos bens naturais.

Gráfico 2. Proporção de retirada de água por setor



Water withdrawal ratios by continent. Source: FAO-FOOD and Agriculture Organization of the United Nations. AQUASTAT main database. 2016.

Já no âmbito do setor industrial, a implementação de tecnologias modernas pode propiciar uma redução substancial na pegada hídrica associada às atividades econômicas. As práticas demonstradas, ao promoverem uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos, não apenas mitigam os impactos ambientais, mas também favorecem a sustentabilidade a longo prazo, alinhando-se com os princípios da economia circular e da racionalização dos insumos naturais.

Segundo Costa, P. (2012, p. 12) a trajetória humana é caracterizada por um avanço significativo nas áreas científicas, com novas descobertas gerando expectativas de soluções para os grandes desafios ambientais que colocam em risco a continuidade da vida no planeta. Diversas tecnologias são desenvolvidas e aplicadas com o objetivo de melhorar as condições de vida da população, sendo possível, portanto, utilizar essas inovações para a preservação e o manejo sustentável dos recursos naturais.

Portanto, prova-se ligação entre a água e a inovação tecnológica nesse contexto. Sensores inteligentes com monitoramento em tempo real podem detectar desperdícios antes que causem impactos significativos. Modelos de economia circular aplicados à água, como a recuperação de nutrientes e a conversão de efluentes em fontes energéticas, representam um avanço em direção a sistemas sustentáveis e economicamente viáveis.

Envolvendo-se em uma reestruturação do modo como a sociedade interage com esse elemento, em vez de tratar a água como um recurso a ser usado de qualquer maneira, é fundamental reconhecer sua natureza como um componente ativo dos processos ecológicos e socioeconômicos. Isso significa repensar as cadeias produtivas, incentivar modelos regenerativos e adotar tecnologias que promovam um ciclo saudável de uso.

Outro aspecto fundamental para garantir o uso sustentável da água é a cooperação internacional. Dada a natureza transfronteiriça dos recursos hídricos, localidades que compartilham bacias hidrográficas precisam estabelecer acordos de gestão conjunta, assegurando que o uso da água ocorra de maneira equilibrada e sustentável (Tundisi, 2008, p. 11-12). Organismos internacionais desempenham um papel crucial nesse sentido, promovendo a troca de informações, o desenvolvimento de tecnologias acessíveis e a mediação de conflitos relacionados à gestão da água.

Mais um fator relevante na gestão sustentável da água é a recuperação e proteção de áreas de nascentes e mananciais, uma vez que a degradação desses espaços compromete a qualidade e a disponibilidade hídrica. Programas de reflorestamento e conservação de matas ciliares, por exemplo, contribuem para a retenção da umidade do solo e para a filtragem de poluentes antes que alcancem os cursos d'água.

Não obstante, é imperativo fomentar estudos estratégicos aprofundados acerca das inter-relações entre recursos hídricos e energia, bem como sua correlação com a economia, a saúde pública e as dinâmicas globais, os quais devem visar a construção de cenários prospectivos (Tundisi, 2008, p. 14). Portanto, a governança da água deve ser pautada em princípios de equidade, sustentabilidade e eficiência. A implementação de marcos regulatórios sólidos, aliados a mecanismos de fiscalização rigorosos, é precípua. Assim, a gestão eficiente da água desempenha um papel substancial na manutenção dos ecossistemas, na segurança hídrica e na redução de conflitos socioambientais.

Diante da problemática, é indispensável a implementação de medidas eficazes que vão além da simples racionalização, abrangendo também práticas diversas acima demonstradas. Dessa forma, a integralização das políticas públicas e iniciativas sustentáveis garantem a conservação dos recursos hídricos e viabilizam seu uso sustentável à longo prazo como forma de assegurar a continuidade dos serviços ecossistêmicos indispensáveis à vida e ao bem-estar humano.

2.3 A CONFIGURAÇÃO NORMATIVA DAS DIRETRIZES OPERACIONAIS DA POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (LEI 9.433/97)

Atualmente, diante dos estudos acerca da governança adequada das águas, busca-se a manutenção do equilíbrio entre sua exploração antrópica e a longevidade e acessibilidade do recurso em longo prazo. Considerando essa complexidade, o modelo nacional passou a incorporar as nuances apresentadas e, em oito de janeiro de 1997 sanciona a Lei n 9.433, com o objetivo de estabelecer diretrizes voltadas à gestão sustentável desse bem natural (Caraciolo, 2008, p. 17).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) advinda da referida Lei enraíza-se em um contexto que encara a crescente pressão sobre a necessidade de conciliar desenvolvimento econômico com preservação ambiental. Consequentemente, o surgimento de políticas públicas e sua devida eficácia tornaram-se indispensáveis. Logo, evidencia-se que a busca em garantir o uso sustentável da água se ampara nos princípios norteadores fundamentais da governança hídrica adequada, presentes na legislação supracitada. Assim, existem na atual PNRH certos princípios basilares que norteiam toda sua atuação, os quais serão expostos a seguir.

Primeiramente, reconhece que “a água é um bem de domínio público” (Lei nº 9.433/97, art. 1º, inciso I). Isso significa que a água, como recurso essencial à vida, não pode ser considerada propriedade individual ou privada. Enquanto recurso essencial, ela não pode ser objeto de apropriação exclusiva, pois a PNRH a reconhece precisamente como um bem limitado e pertencente ao domínio público, cuja utilização e administração devem ocorrer de forma equilibrada, assegurando sua conservação e uma distribuição justa ao reforçar a noção de que o acesso à água constitui um direito para todos, submetido a um regime normativo voltado,

sobretudo, à promoção da sustentabilidade e da equidade social (Patrício; Pompêo; Siervi, 2012, p. 480).

Nesse sentido, cabe ao Estado a responsabilidade de regulamentar e fiscalizar seu uso, instituindo mecanismos de governança eficazes que garantam sua disponibilidade a toda a população, como por exemplo, o Marco Legal do Saneamento Básico (Brasil, 2020) que busca ampliar o atendimento de serviços de abastecimento e tratamento de esgoto, promovendo melhora da estrutura hídrica.

Destaca-se também para fins exemplificativos de gestão sustentável o Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (PRODES), coordenado pela Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) e participação do governo federal brasileiro, com objetivo de financiar construção e operação de estações de tratamento de esgoto, incentivando a melhoria da qualidade da água nos corpos hídricos. O programa adota um sistema de pagamento por desempenho, onde os prestadores de serviços de saneamento recebem recursos com base na redução da carga poluente lançada nas bacias. Caso os padrões de qualidade não sejam cumpridos, os pagamentos podem ser suspensos, o que estimula a eficiência das operações (Libanio, 2016, p. 733).

A definição desse regime jurídico reflete a necessidade de uma gestão integrada e participativa, que previna a exploração predatória e favoreça a preservação dos recursos hídricos. Dessa forma, o reconhecimento da água como um bem de uso comum exige a compreensão da interdependência entre os aspectos jurídicos, sociais e ambientais.

É importante aludir ao seguinte princípio “a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico” (Lei nº 9.433/97, art. 1º, inciso II), já superficialmente abordado ao sublinhar as esferas de sustentabilidade e equilíbrio ecológico, pois esse enfoque visa harmonizar a oferta e a demanda por meio da precificação da água, estimulando consumo controlado e limitado por valores monetários.

Dessa forma, ao atribuir valor econômico à água, busca-se internalizar os custos ambientais relacionados à sua exploração, refletindo não apenas a despesa de sua distribuição, mas também seu resguardo e o tratamento de efluentes. Esse princípio visa financiar a infraestrutura hídrica e a recuperação de bacias, ao mesmo tempo que incentiva a adoção de práticas sustentáveis no uso da água. Nesse sentido, a precificação configura-se como uma ferramenta de regulação de mercado,

promovendo o uso racional e orientando os comportamentos dos agentes econômicos, como os setores industriais, agrícolas e urbanos, considerados grandes consumidores. Esse tipo de intervenção estatal visa garantir que o uso da água esteja em consonância com os princípios dispostos na PNRH.

A cobrança não se limita apenas na preocupação da preservação ou na geração de investimentos e retorno financeiro, mas também atua como um incentivo para a redução do desperdício e a promoção de práticas mais eficientes nos setores produtivos. Considerando a água como um bem natural finito, seu uso não pode ser tratado como irrestrito, sendo necessária uma avaliação cuidadosa dos impactos ambientais de escassez, dessa maneira a PNRH reforça que sua utilização deve ocorrer de forma equilibrada, especialmente nesses contextos de escassez ou disputa (Patrício; Pompêo; Siervi, 2012, p. 480).

Refletindo uma postura de respeito aos direitos fundamentais, especialmente nessas condições extremas de crise hídrica, destaca-se que “em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais” (Lei 9.433/97, art. 1º, inciso III).

A dessedentação de animais se refere ao fornecimento de água para a manutenção da fauna, como sua hidratação, sendo uma necessidade básica tanto para a saúde animal quanto para a segurança alimentar da população, já que animais saudáveis são essenciais para a produção de alimentos como carne, leite e ovos. Por esse motivo, em situações críticas, como prioridade, o consumo do recurso deve ser destinada dessa maneira, em conformidade com a PNRH. Ressalta-se que a formulação, execução e avaliação do princípio devem ocorrer por meio de uma gestão democrática, com ampla participação social (Aith; Rothbarth, 2015, p. 171).

Entretanto, sua aplicação encontra desafios na prática, especialmente quando entra em conflito com a demanda de setores econômicos, como a agroindústria que consome grandes volumes. As práticas de irrigação intensiva e processos industriais que exigem quantidades substanciais de água tem tornado o ramo um dos maiores consumidores de recursos hídricos. Consequentemente, o uso desenfreado e desregulado da água, sem uma gestão responsável, coloca em risco a sustentabilidade da água, agravando a situação em regiões que já enfrentam crises hídricas.

A expansão da fronteira agrícola, a intensificação das monoculturas e a aplicação indiscriminada de tecnologias agrícolas intensivas são alguns exemplos da contribuição direta do exaurimento hídrico. Portanto, a crítica ao uso desenfreado da água, particularmente na agroindústria, deve ser entendida como um clamor à justiça ambiental. Seus princípios são pilares que devem ser respeitados a fim de que o acesso à água, como um bem comum essencial à vida, seja mantido e que as necessidades básicas de todos os seres vivos, sejam devidamente atendidas.

A notabilidade em tratar a água como um bem estratégico estende-se na gestão contemplativa de sua disponibilidade para usos múltiplos e simultâneos, tais como abastecimento humano, irrigação agrícola, geração de energia, conservação ambiental e atividades industriais (Costa, Andre; et al., 2012, p. 70). Portanto, encontra-se na PNRH o seguinte princípio “a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas” (Lei 9.433/97, art. 1º, inciso IV), refletindo a necessidade de uma abordagem integrada e sustentável na administração das águas, visando à conciliação entre demandas diversas e à preservação ambiental.

Já fora exemplificado por Costa, Andre, et al. (2012, p. 70) que o uso múltiplo das águas exprimem as diversas formas que o recurso pode ser empregado, como para abastecimento das cidades; a irrigação na agricultura; para implementar a navegação fluvial normalmente mais barata do que o transporte rodoviário; para o desenvolvimento do eco-turismo ante ao grande número de rios e lagos em locais de grande beleza cênica; para a pesca esportiva já que muitos rios e lagos são ricos em diversidade da fauna; para o lazer etc.

Portanto, a gestão hídrica deve considerar a interdependência entre os diversos setores que necessitam dela, reconhecendo que todas as áreas de uso são fundamentais para a sobrevivência humana e o desenvolvimento social e econômico. O recurso não é apenas para a subsistência direta da população, mas também causa impactos na segurança alimentar e na manutenção dos ecossistemas, que, por sua vez, desempenham um papel crucial na regulação do ciclo hidrológico e na qualidade da água disponível.

Dessa forma, o princípio do uso múltiplo das águas busca harmonizar essas diferentes demandas, assegurando que nenhum setor seja priorizado ou excluído em detrimento dos demais de forma arbitrária. Ao permitir um planejamento eficiente, no qual os usos são conciliados com base na disponibilidade hídrica e nas

necessidades coletivas, promove-se a alocação racional da água e a prevenção de conflitos pelo seu acesso.

Para alcançar a equidade no uso, é essencial que a administração do recurso seja realizada por meio de uma abordagem descentralizada contando com a participação do poder público, das comunidades e demais usuários que compõem a coletividade. Considerando que a bacia hidrográfica é a unidade territorial delimitada para a implementação da PNRH e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), a criação dos Comitês de Bacias Hidrográficas, é um exemplo claro dessa abordagem descentralizada (Tundisi, 2008, p. 13). Esses comitês, formados por representantes de diferentes seções (governos federal, estadual e municipal, além de usuários de água e sociedade civil), têm como objetivo principal a gestão integrada dos recursos hídricos em bacias específicas.

Art. 1º A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. (Lei nº 9.433/97)

Segundo Setti, et al. (2001, p. 81), a gestão dos recursos hídricos não pode ser limitada à implementação de programas setoriais isolados, conduzidos exclusivamente pelo poder executivo. Para que o gerenciamento seja realmente eficaz, é necessário um modelo que englobe diferentes setores e garanta eficiência social e sustentabilidade ambiental. Isso significa que a formulação de gestão hídrica deve ir além de ações pontuais e transitórias, promovendo articulação e coordenação que consigam atender tanto às necessidades imediatas quanto às demandas e oportunidades de longo prazo. Dessa forma, a gestão hídrica deve ser planejada de maneira estratégica por meio de um modelo de governança participativa e integrada.

Um exemplo significativo de atuação de comitês pode ser observado no Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Esse comitê tem promovido ações voltadas à recuperação de áreas degradadas, controle da poluição e traça

planejamento para mitigar os impactos ambientais e sociais causados pelo uso excessivo e das demais atividades que predam esse recurso. A revitalização do Rio São Francisco envolve a recuperação de mananciais e a adoção de práticas de gestão sustentável, e é uma das ações que ilustra a atuação desses comitês (Machado, 2008, p. 196-197).

Assim, evidencia-se a necessidade de uma governança hídrica estruturada, pautada na integração entre planejamento ambiental, participação social e sustentabilidade. A abordagem participativa adotada pelos comitês não apenas fortalece a efetividade das ações implementadas, mas também assegura a transparência e a corresponsabilidade na formulação e execução das políticas de revitalização hídrica de forma descentralizada (Aith; Rothbarth, 2015, p. 171).

A situação fática mencionada supra demonstra como a descentralização é fundamental para promover uma gestão mais eficaz, democrática e sustentável da água. Ao envolver os diversos *stakeholders* (partes interessadas), esses comitês garantem que a distribuição da água atenda aos requisitos básicos de sua manutenção equitativa.

A escolha da bacia hidrográfica como unidade de gestão conforme PNRH retrata a necessidade de uma abordagem que compreenda a interconexão entre os diferentes corpos d'água. Deve-se considerar que os rios, afluentes e mananciais não existem de forma isolada, mas fazem parte de um sistema dinâmico que requer uma visão holística. O reconhecimento que a água não respeita fronteiras administrativas implica logicamente que sua gestão deve ultrapassar limites territoriais traçados entre estados e municípios. Isso significa que é necessário considerar a totalidade aquática, incluindo as interações entre a qualidade da água, sua disposição para uso múltiplo e os impactos das atividades humanas. Assim, os comitês exercem um papel estratégico na coordenação dos recursos hídricos (Trindade, 2016, p. 38).

Em vista disso, a delimitação de bacias hidrográficas possibilita a formulação de planos de gestão que atendam às necessidades específicas de cada região, ao mesmo tempo em que propicia um planejamento eficiente e adaptável. Tal fato inclui não apenas a alocação adequada da água para diferentes fins, mas também a aplicação de ações de conservação e recuperação de áreas degradadas e/ou poluídas. Essas medidas somente serão eficazmente planejadas e executadas com base em uma análise da bacia como um todo.

Portanto, a gestão deve ser conduzida por uma abordagem estratégica e integrada, assegurando uma administração eficiente e orientada para a sustentabilidade, viabilizando o respeito aos princípios estabelecidos pela PNRH a fim de uma governança hídrica efetiva, permitindo a implementação de diretrizes que atendam às especificidades de cada contexto e garantam a gestão adequada desse recurso vital.

O reconhecimento da água como bem de domínio público, a adoção de um modelo de gestão descentralizado e a valorização de seu uso múltiplo são alguns dos princípios que reforçam a necessidade de políticas que equilibrem conservação e desenvolvimento. Dessa forma, ao estabelecer diretrizes que promovam a adequada utilização desse recurso assegura-se não apenas a disponibilidade desse bem essencial, mas também a manutenção do equilíbrio ambiental e a garantia do bem-estar coletivo intergeracional (Tundisi, 2008, p. 14).

Diante das distintas realidades enfrentadas em diferentes regiões, como a escassez hídrica em determinados territórios ou a contaminação de aquíferos em outros, faz-se necessário adotar soluções adaptadas a cada situação, sempre fundamentadas nos princípios normativos da PNRH. A consideração dessas particularidades possibilita a formulação de estratégias que conciliem a recuperação de áreas degradadas com o uso racional e sustentável da água.

3. POLUIÇÃO E OS IMPACTOS DAS ATIVIDADES AGROINDUSTRIAIS

Embora os impactos ambientais possam ter origem natural ou antrópica, apenas os decorrentes de ações humanas são passíveis de serem regulados juridicamente. Dessa maneira, existe uma legislação e uma série de processos que visam o controle do comportamento e das atividades humanas, bem como previsão de punições. Acerca da regulação dos impactos ambientais de origem antrópica, estes são divididos entre degradação ambiental e poluição ambiental. A degradação é um fenômeno complexo que envolve múltiplas dimensões interdependentes, dentre as quais se destaca a poluição, que contém obrigatoriamente agentes poluentes que modificam a estrutura dos locais que alcança.

Nesse cenário, a expansão das agroindústrias assume papel de protagonismo. Baseadas na adoção de técnicas voltadas prioritariamente ao aumento da produtividade, essas atividades operam com o uso massivo de agrotóxicos e outros insumos químicos, cujos resíduos frequentemente alcançam os corpos d'água sem o devido tratamento. Trata-se de uma lógica de exploração que, ao privilegiar os ganhos econômicos, desconsidera os limites ecológicos e relega a regulação ambiental a um plano secundário.

Seus efeitos, contudo, não se limitam ao meio natural, irradiando-se para o plano social com particular severidade. Comunidades locais, muitas vezes situadas à jusante das áreas de exploração agroindustrial, convivem com a escassez de água limpa, com surtos de doenças hídricas, insegurança alimentar e precarização das condições sanitárias. Em muitos casos, observa-se o deslocamento forçado, pela inviabilidade de permanecer em áreas contaminadas.

Diante do exposto, conclui-se que os impactos ambientais, especialmente sobre os recursos hídricos, evidenciam os desafios cruciais para a preservação do meio ambiente ecologicamente equilibrado, para a garantia do uso sustentável da água e para a efetiva aplicação dos instrumentos legais de gestão ambiental. Esses impactos não apenas comprometem a integridade dos ecossistemas, mas também colocam em risco a saúde pública e a qualidade de vida humana, ressaltando a urgência de fortalecer políticas públicas e práticas que assegurem direitos fundamentais.

3.1 IMPACTO AMBIENTAL, POLUIÇÃO E DEGRADAÇÃO: CONCEITOS E DEFINIÇÕES JURÍDICAS

A priori, é indispensável o entendimento dos conceitos de impacto ambiental, poluição e degradação a fim de promover uma compreensão plena acerca do presente conteúdo. Seus estudos exigem, preliminarmente, uma análise do percurso histórico e epistemológico que moldou a relação entre o ser humano e o meio ambiente, pois durante uma extensa parte da trajetória humana a natureza fora cultuada como força superior, sagrada e incontrolável.

No entanto, com o avanço das civilizações, consolidou-se uma visão antropocêntrica do mundo, marcada pela falibilidade da exploração insustentável dos recursos naturais. O advento da Revolução Científica e, posteriormente, da Revolução Industrial, catalisaram esse processo ao conferir ao ser humano a capacidade de modificar o meio ambiente em uma escala inédita, resultando em grave crise ecológica (Silva, Ranielly; Oliveira, A.; Santos, J., 2023, p. 894). Atualmente, a sociedade se vê compelida a lidar com estas consequências e buscar soluções urgentes para conter os impactos causados (Bertoncini; Pavelski, 2024, p. 4).

Assim, em razão dessas mudanças, houve fomentação de hipóteses sugerindo que o Holoceno, época geológica atual, teria chegado ao fim, dando lugar a uma nova era: o Antropoceno. Essa nova unidade cronoestratigráfica se caracteriza pela influência humana como o principal fator de alteração dos sistemas naturais da Terra, com os impactos ambientais intensificados (Crutzen; Stoermer, 2020, p. 114). Consequentemente tornou-se recorrente a associação imediata entre impactos ambientais e intervenções humanas.

No entanto, o conceito de impacto ambiental transcende a esfera antrópica, visto que qualquer alteração relevante nos sistemas naturais, mesmo quando sem intervenção humana direta, será considerado um impacto ambiental. Isso se dá, pois, impactos de origem natural, como erupções vulcânicas, terremotos, tsunamis e furacões causam transformações no meio, assim como as de origem humana. Seus resultados podem provocar mudanças abruptas na paisagem, deslocamento de comunidades locais, perda de biodiversidade e rompimento de ciclos ecológicos (Mata-Lima; et al. 2013, p. 46). Logo, evidencia-se que a

classificação de impacto ambiental se mede pelos efeitos causados ao meio, e não necessariamente em sua origem.

Destarte, reconhece-se que os fenômenos naturais se situam fora da esfera de controle jurídico. A natureza opera mediante dinâmicas próprias, insuscetíveis de regulação normativa ou imputação de responsabilidade, por não decorrerem da conduta de sujeitos passíveis de sanção. Trata-se, portanto, de manifestações intrínsecas ao funcionamento sistêmico do planeta. Contudo, ainda que não sejam objeto de controle normativo em sua origem, suas consequências podem ser mitigadas por meio do aparato moderno e de planejamento, especialmente quando oferecem risco à integridade humana. Nesse cenário, torna-se indispensável a adoção de medidas de gestão preventiva, capazes de reduzir os efeitos adversos desses eventos (Mata-Lima; et al. 2013, p. 54)

Ao revés, considera-se que a predominância e intensificação dos impactos ambientais contemporâneos decorrem, inequivocamente, da intervenção humana. Essa, sim, sendo passível de previsão e controle (Bitencourt; Pase, 2015, p. 296-297). Nesse contexto, mostra-se indispensável a existência de um arcabouço jurídico robusto que delimite, tipifique e contenha os impactos ambientais oriundos da ação antrópica, por meio de aplicação efetiva que leva a resultados concretos.

Compreende-se por impacto ambiental regulável qualquer alteração significativa no meio ambiente, em um ou mais de seus componentes, provocada por ações humanas. Destaca-se, que esses danos estão intimamente ligados à interferência do ser humano no meio em que vive e nas condições de sua vida, em vista disso o Direito Ambiental corrobora esse entendimento ao incorporar a regulamentação dos impactos ambientais controláveis na Resolução nº 001/86, elaborada no âmbito do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a qual introduziu um marco importante na sistematização da tutela ambiental no Brasil:

Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais (Art. 1º, CONAMA, 1986).

A Resolução supracitada define de forma detalhada a classificação de impacto ambiental e sua abrangência permite uma compreensão sistemática dos seus efeitos, resultantes de ações humanas passíveis de coibição, partindo da observação da extensão do dano ambiental causado. Percebe-se que sua definição coincide com a classificação de poluição dada pela Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), que será devidamente exposta adiante, levando a conclusão que a resolução do CONAMA apresenta foco específico ao aludir formato de impactos negativos.

Adicionalmente, os impactos ambientais podem ser classificados como diretos ou indiretos, imediatos ou mediatos, passageiros ou permanentes, reversíveis ou irreversíveis, além de apresentarem dimensões locais, regionais, nacionais ou globais. Os impactos diretos, também denominados primários, correspondem à alteração imediata de um componente ambiental em decorrência da ação direta do ser humano ou de eventos naturais. Em contrapartida, os impactos indiretos, ou secundários, configuram-se como consequências mediatas de um impacto direto, geralmente mais sutis e de difícil mensuração (Brilhante; Caldas, 1999, p. 33).

Destaca-se que a distinção entre as diferentes formas de impacto ambiental não é meramente teórica: ela repercute diretamente na tipificação jurídica das condutas, na forma de controle administrativo e na responsabilização dos agentes responsáveis pelo dano. Reforça-se a importância de demarcar com precisão os impactos ambientais decorrentes da ação antrópica, sobretudo no que se refere a degradação e poluição ambiental. Ambas as categorias são expressamente reconhecidas no ordenamento jurídico brasileiro e, embora frequentemente confundidas no senso comum, apresentam contornos próprios e implicações práticas distintas.

Nesse contexto, a degradação ambiental pode ser percebida como a interferência nas funções naturais de um ecossistema, frequentemente resultante da redução ou extinção da vegetação nativa, o que ocasiona desequilíbrios ecológicos e propicia fenômenos como, por exemplo, a erosão do solo (Silva, Ranielly; Oliveira,

A.; Santos, J., 2023, p. 895). Preliminarmente, a degradação ambiental configura-se como qualquer forma de deterioração das condições do meio ambiente, ainda que não envolva, necessariamente, a presença de agentes poluentes. Em conformidade, a legislação entende por “degradação da qualidade ambiental, a alteração adversa das características do meio ambiente” (Lei nº 6.938/81, art. 3º, inciso II).

O exposto define degradação como qualquer alteração que cause prejuízo às características naturais do meio ambiente. Portanto, por ser uma formulação ampla, abrange diferentes formas de comprometimento ambiental, desde mudanças visíveis e imediatas até processos mais discretos e acumulativos, que, ao longo do tempo, geram desequilíbrios nos ecossistemas. Classifica-se como um processo que abrange desde a redução da biodiversidade e a fragmentação de habitats até a alteração de ciclos hidrológicos e a limitação da regeneração natural, efeitos que, em conjunto, comprometem gravemente a sustentabilidade ambiental, sem que a presença de agentes poluidores esteja verificada (Silva, Ranielly; Oliveira, A.; Santos, J., 2023, p. 895)

É crucial destacar que a responsabilidade pelo impacto ao meio ambiente, sendo a degradação um de seus formatos, não prescreve. Em outras palavras, uma vez que o dano ambiental está intrinsecamente ligado à saúde coletiva, a preservação do meio ambiente, essencial para a qualidade de vida e a saúde, está diretamente conectada aos direitos fundamentais da pessoa humana que, por sua vez, são imprescritíveis (Ayala; José Leite, 2022, p. 8). Essa imprescritibilidade decorre justamente da possibilidade de que seus efeitos se estendam no tempo e se agravem progressivamente, já que, uma vez causado, o dano tende a se perpetuar. Além disso, há situações em que os prejuízos são irreversíveis, como ocorre em casos que envolvem a extinção de espécies da fauna e da flora (Sarlet; Fensterseifer, 2021, p. 564).

Ademais, a poluição representa uma forma específica de degradação, exigindo atenção tanto na definição legal quanto na aplicação de instrumentos de prevenção, controle e responsabilização. Assim, o dispositivo que institui a PNMA apresenta uma definição do conceito:

Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por:

III - poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos; (Art. 3º, Brasil, 1981)

Embora frequentemente ligada à sujeira ou contaminação visível, a poluição, em termos jurídicos, é um fenômeno complexo e grandemente regulado. Sua definição adota uma abordagem funcional, focada nos efeitos da inserção ou emissão de agentes poluentes que comprometem a estabilidade e a funcionalidade do meio ambiente, saúde humana e atividades econômicas. Resumidamente a poluição envolve a introdução de elementos físicos, químicos, biológicos ou energéticos no ambiente, comprometendo sua qualidade e capacidade de regeneração.

O conceito de poluição configura-se como qualquer alteração na composição ambiental que cause perturbações nos ecossistemas, associada à introdução de poluentes. Além disso, é relevante observar que, diferentemente deste, a degradação ambiental ao englobar uma ampla gama de impactos nem sempre envolve poluentes. Essa distinção é crucial para um adequado enquadramento jurídico, pois permite a adoção de medidas de controle, licenciamento e responsabilização ambiental proporcionais à natureza e à gravidade de cada tipo de impacto (Brilhante; Caldas, 1999, p. 20).

Independentemente de sua forma, a poluição representa sempre uma violação ao princípio do desenvolvimento sustentável, pois compromete a capacidade dos ecossistemas de se manterem funcionais e aptos a atender às necessidades das gerações presentes e futuras. Em demonstrativo, a poluição hídrica afeta diretamente o abastecimento e a biodiversidade aquática, ocorrendo quando se encontra poluentes acima dos níveis toleráveis, prejudicando a potabilidade do recurso e seu uso múltiplo. No contexto agroindustrial, essa problemática exacerba-se devido ao uso intensivo de insumos químicos, como os fertilizantes nitrogenados e fosfatados, que podem causar eutrofização e, como seqüela, o desequilíbrio aquático (Figueirêdo; et al, 2007, p. 400)

Sob essa perspectiva, compreende-se que a poluição configura uma modalidade específica dentro do espectro mais amplo da degradação ambiental, estando os dois conceitos dentro da gama de impacto ambiental. Ou seja, afirma-se que toda poluição é uma degradação, mas nem toda degradação é uma poluição.

Em concluso, a distinção entre os conceitos apresentados desempenha papel fundamental na formulação de políticas públicas voltadas à proteção ecológica, bem como na adequada interpretação normativa que facilita a escolha dos mecanismos jurídicos direcionados para cada contexto. Entretanto, a efetividade dos parâmetros apresentados ainda enfrenta entraves no plano prático. A falta de estrutura dos órgãos ambientais e a flexibilização de alguns critérios compromete a aplicação dos instrumentos regulatórios, fragilizando sua função. Contudo, apesar das limitações, as delimitações apresentadas cumprem sua função básica na diferenciação conceitual.

Destarte, dá-se a oportuna representação esquemática, que permite consolidar de forma visualmente clara a particularização do que fora abordado, com o propósito de favorecer a compreensão didática ao reforçar a correta identificação de cada categoria:

Quadro 1. Comparativo entre impactos ambientais

Aspecto	Impacto	Degradação	Poluição
Conceitos e definições jurídicas	Alteração nas propriedades do meio ambiente que comprometem o equilíbrio ecológico, podendo ser natural ou antrópica.	Alteração adversa das características ambientais, mesmo que não afete diretamente a população. Classificada juridicamente como exclusivamente antrópica	Além de conter poluentes que acarretam na alteração adversa das características ambientais, ela se configura quando prejudica diretamente a população. Classificada juridicamente como exclusivamente antrópica
Âmbito	Amplo, termo que engloba tanto degradação quanto poluição ambiental	Forma de impacto ambiental	Forma de impacto ambiental e uma forma específica da degradação

3.2 OS IMPACTOS COMUMENTE CAUSADOS PELAS ATIVIDADES AGROINDUSTRIAIS

De acordo com o que fora exposto, a interferência humana tem causado um grande fluxo de transformações ecológicas, como fora demonstrada em alguns aspectos como a destruição progressiva de florestas, a poluição hídrica, a poluição atmosférica, inclusive nos grandes centros urbanos e diversas outras formas. Tais ações antrópicas, entre tantas formas de desequilíbrio ecológico, comprometem sobremaneira o bem estar individual e coletivo, gerando sérios impactos para a qualidade de vida das populações, tanto de maneira individual quanto coletiva, além de prejudicar de forma irreversível os ecossistemas e a biodiversidade (Sarlet; Fensterseifer, 2021, p. 43).

No sentido da agroindústria, esta assume papel central na geração de impactos ambientais significativos. Inicialmente, as atividades agroindustriais são o conjunto complexo de processos voltados à transformação de matérias primas em bens de consumo final ou produtos intermediários destinados a outros segmentos industriais. Essa cadeia produtiva integra de forma sinérgica os setores agrícola, pecuário e industrial, envolvendo a produção de alimentos, bebidas, fibras, biocombustíveis e diversos outros derivados utilizando intensivamente os recursos naturais, adicionando insumos industriais (Batalha, 1995, p. 322).

Assim, essa categoria produtiva gera bens com valor agregado por meio de técnicas de transformação física, química ou biotecnológica. Apesar de seu caráter multifuncional e do papel que desempenha no desenvolvimento econômico nacional, a agroindústria frequentemente demonstra inaptidão para harmonizar o crescimento econômico com os imperativos da sustentabilidade socioambiental. Nesse sentido, observa-se que o avanço econômico, em muitos casos, desconsidera os limites ambientais, operando de forma pouco criteriosa quanto à preservação dos recursos naturais (Arraes; Mariano; Simonassi, 2012, p. 123). Por óbice, somente mediante uma perspectiva crítica e integrada é possível elucidar as assimetrias estruturais e as contradições inerentes ao modelo agroindustrial contemporâneo.

Nesse contexto, a análise dos impactos provocados pelas atividades agroindustriais exige abordagens que articulem os domínios da economia, ecologia, governança ambiental e da gestão racional dos recursos naturais. Somente dessa

forma elucidam-se as assimetrias estruturais, os desequilíbrios ecológicos e as contradições inerentes ao modelo agroindustrial contemporâneo. Justifica-se diante do fato de que o objetivo do desenvolvimento econômico, embora legítimo e amplamente perseguido por todos os países, pode implicar custos elevados para as gerações presentes e futuras, especialmente no que diz respeito às esferas social e ambiental (Arraes; Mariano; Simonassi, 2012, p. 123).

Inicialmente, o país é reconhecidamente competitivo na sua produção agropecuária, sendo o setor abordado um dos mais expressivos com seu papel estratégico na economia nacional, impulsionando o PIB, gerando empregos e abastecendo amplos circuitos mercadológicos (Costa, C.; Guilhoto; Imori, 2014, p. 798). Apesar disso, a agroindústria consolida-se também como uma das principais fontes de pressão antrópica sobre os recursos naturais. Sua dinâmica produtiva focada na maximização, lucro e expansão tende a operar em descompasso com os limites ecológicos e as exigências da sustentabilidade socioambiental, gerando uma série de impactos ambientais que afetam não apenas os ecossistemas, mas também as condições de vida.

Dentre os impactos ambientais causados pelo setor em análise, destaca-se a conversão de sistemas ecológicos em territórios destinados exclusivamente à monocultura extensiva e à criação intensiva de gado. Essa transformação tem promovido o desmatamento de biomas como a Amazônia e o Cerrado. Destaca-se que desde o início da década de 1970, altas taxas de desmatamento vêm sendo observadas na Amazônia, impulsionadas, principalmente, pela expansão agropecuária (Arraes; Mariano; Simonassi, 2012, p. 120).

É justamente nas regiões de transição da Amazônia com o Cerrado que se concentram atualmente as atividades mais intensas, indicando um vetor de pressão crescente. A Amazônia, que ocupa aproximadamente 23,3% do território brasileiro e é reconhecido como o berço das águas, por abrigar nascentes de importantes bacias hidrográficas, enfrenta intensa pressão de agroindústrias. Em 2021, sofreu com o desmatamento de 18 árvores por segundo (MAPBIOMAS, 2022) e, embora 62,7% do bioma estejam ocupados por estabelecimentos desse setor, apenas 4% destes adotam práticas voltadas à proteção ambiental (IBGE, 2019, p. 209).

O aumento das atividades agroindustriais constitui um processo agressivo de conversão de áreas naturais em espaços produtivos. Por conta disso, segundo os

dados do MapBiomas (2022), nos anos de 2021, 2020 e 2019 o desmatamento exercido pela atividade fora responsável por 97% dos casos nacionais, comprovando a magnitude dessa problemática e a predominância constante exercida pelo setor sobre o meio ambiente.

Tais práticas representam nítidas transgressões aos preceitos fundamentais do Direito Ambiental, pois não consideram necessário o equilíbrio entre produção econômica e conservação ambiental. Como resultado, a supressão da vegetação nativa fragmenta *habitats* e contribui diretamente para a extinção de espécies endêmicas, reduzindo drasticamente a resiliência dos ecossistemas (Sarlet; Fensterseifer, 2021, p. 42-43)

Continuamente, a redução dos tamanhos das florestas naturais em todo o mundo tem ocorrido como resultado, principalmente, de incêndios, frequentemente provocados com propósitos comerciais para utilização da terra. As queimadas agravam esse cenário ao liberar grandes quantidades de carbono na atmosfera, intensificando o efeito estufa e empobrecendo o solo, comprometendo sua estrutura e fertilidade. Nesse contexto, essa forma de degradação contribui para a perda de biodiversidade e o aquecimento global. (Arraes; Mariano; Simonassi, 2012, p. 120).

A aplicação intensiva de fertilizantes químicos compõe outro eixo de preocupação ambiental. Agrotóxicos, classificado como poluição química, altamente persistentes e bioacumulativos, como os organoclorados e neonicotinóides, contaminam o solo, as águas e a biota (Sarlet; Fensterseifer, 2021, p. 302).

O uso indiscriminado de agrotóxicos configura-se como a segunda maior causa da poluição hídrica no Brasil, que, atualmente, ocupa a posição de maior consumidor desses produtos no mundo. Além de gerar severos impactos ambientais, esses agentes químicos são responsáveis por uma significativa parcela dos problemas de saúde pública, especialmente em decorrência do consumo de água contaminada (Pereira, B.; et al., 2022, 867-868).

Apesar dos impactos serem plenamente conhecidos, o Brasil ainda mantém políticas públicas que fomentam o uso e o comércio desses produtos, visto que a regulamentação atual se mantém flexível sobre essa questão (Pereira, B.; et al., 2022, 871). Nesse sentido, o país ignora completamente o princípio da prevenção, impulsionado pela influência da bancada ruralista no Congresso Nacional. (Lopes; Albuquerque, 2018, p. 519).

Correlativamente, observa-se acentuada degradação dos solos, resultado de práticas agrícolas carentes de manejo sustentável. O aumento significativo dos riscos de erosão, por exemplo, tem sido observado em determinadas regiões por conta do uso de métodos de preparo do solo que envolvem mobilização intensa (Cogo; Levien; Schwarz, 2003, p. 745). Esse fenômeno, causado pela retirada da cobertura vegetal e pelo revolvimento contínuo do solo, favorece o carreamento de partículas para os corpos d'água, fenômeno que culmina no assoreamento de rios e lagos.

Esse processo reduz a profundidade dos cursos d'água, altera seu regime de vazão, aumenta o risco de enchentes e compromete a fauna aquática, afetando assim o uso múltiplo das águas e sua disponibilidade. Essa série de impactos não se expandem de forma isolada, estando recorrentemente correlacionados à medida que as atividades antrópicas se expandem sobre os espaços naturais. Nota-se uma crescente pressão sobre os ambientes aquáticos, resultando na significativa diminuição da biodiversidade ao comprometer a estabilidade ecológica (Martine; Alves, 2015, p. 447)

Em vista disso, a ocorrência de assoreamento desencadeia uma série de efeitos que também comprometem a funcionalidade e a qualidade dos ecossistemas aquáticos. A deposição de sedimentos reduz drasticamente a capacidade de armazenamento hídrico, prejudicando não apenas o equilíbrio do regime de cheias e secas, mas também a regulação térmica e biológica dos corpos d'água. Um dos efeitos mais preocupantes é a diminuição da capacidade de autodepuração natural, isto é, da habilidade dos rios e lagos de absorver, diluir e transformar resíduos orgânicos e contaminantes, o que favorece a concentração de poluentes (IBGE, 2019, p. 208).

Os impactos gerados pelas atividades agroindustriais, especialmente em razão do uso de compostos químicos, exercem significativa influência na lixiviação de substâncias para os cursos d'água, processo que é frequentemente intensificado por alterações no solo decorrentes de fenômenos como o assoreamento. Ao transportar partículas e substâncias presentes no solo, a lixiviação pode levar insumos, como agrotóxicos e fertilizantes, para camadas de águas superficiais e lençóis freáticos, cuja descontaminação é complexa e de difícil execução (Pereira, B.; et al., 2022, 865).

Continuamente, a lixiviação é capaz de propiciar então o processo de eutrofização, o qual é caracterizado pela concentração excessiva de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo (Amorim, 2024, p. 5), que estimulam o crescimento descontrolado de algas e plantas aquáticas, levando à depleção do oxigênio dissolvido. Tal processo implica severas repercussões ecológicas, entre as quais se destacam a mortandade da biodiversidade, o comprometimento da qualidade e da disponibilidade hídrica, bem como a potencialização de riscos à saúde humana, comprometendo a manutenção de ecossistemas (Santos, E.; P. Medeiros, 2023, p. 2)

As atividades agroindustriais, ao viabilizarem o processamento de matérias primas, geram volumosas quantidades de resíduos sólidos e efluentes líquidos, que, quando não são tratados adequadamente se compromete severamente o meio ali exposto, visto o iminente perigo à qualidade ambiental. Entre os principais resíduos destacam-se pesticidas, fertilizantes, herbicidas e resíduos orgânicos. Ademais, práticas como armazenamento inadequado de insumos, vazamentos e manipulação de substâncias químicas próximas a poços constituem fontes pontuais de poluição, ampliando os riscos à segurança hídrica e à saúde pública (Amorim, 2024, p. 5).

A problemática agrava-se especialmente em regiões com fiscalização ambiental precária ao possibilitar adicionalmente a ampliação do surgimento de vetores de doenças e sua exposição, o que tornam essas unidades industriais responsáveis, sobretudo por danos às comunidades locais. Todo esse escopo dificulta a gestão integrada dos recursos hídricos, em descompasso com os princípios da PNRH.

Ademais, a expansão da agroindústria intensifica processos de concentração fundiária e a marginalização de comunidades tradicionais na violação de direitos territoriais, pois são frequentemente deslocados de seus territórios em nome do avanço do agronegócio. Segundo Oliveira, P.; et al. (2024, p.2) essa dinâmica aprofunda desigualdades sociais, inviabiliza práticas produtivas sustentáveis e contribui para a homogeneização cultural e ecológica do campo brasileiro.

Constata-se multiplicidade de pressões, visto que o setor agroindustrial responde pela maior fatia do consumo de água doce no Brasil, notadamente através da irrigação em larga escala e da operação de indústrias de processamento, por

exemplo. Essa demanda acentuada, exercida sem a devida mensuração ou racionalização, compromete a disponibilidade hídrica para as populações vulneráveis, agravando conflitos pelo uso da água e aprofundando desigualdades, além de dificultar a demanda destinada para outros setores que também precisam de seu acesso.

Tal conjunto de externalidades revela que o modelo agroindustrial vigente permanece ancorado em paradigmas produtivistas, tecnocráticos e extrativistas, com ênfase na eficiência econômica imediata em detrimento da integridade ecológica e da justiça socioambiental. A ausência de planejamento integrado, fiscalização rigorosa e incentivos a modelos sustentáveis inviabiliza a internalização dos custos socioambientais, perpetuando um ciclo de degradação que compromete não apenas o meio ambiente, mas também a viabilidade futura da própria atividade agroindustrial.

Diante o exposto, é claro que a violação dos direitos ecológicos implica o comprometimento de bens jurídicos indisponíveis, intrinsecamente ligados à dignidade humana e à proteção das futuras gerações (Sarlet; Fensterseifer, 2021, p. 563) e por essa razão, torna-se evidente que a superação desse quadro exige não apenas a reorientação das práticas produtivas, mas também uma profunda revisão dos modelos de desenvolvimento agrícola e das políticas públicas que os sustentam (Arraes; Mariano; Simonassi, 2012, p. 121). Avançar rumo à sustentabilidade implica em reconhecer os limites ecológicos do planeta, garantir a justiça socioambiental e democratizar o seu acesso e a gestão dos recursos naturais.

3.3 OS DESAFIOS ENFRENTADOS PELAS COMUNIDADES LOCAIS DEVIDO À CONTAMINAÇÃO HÍDRICA

A princípio, com o crescimento populacional, o consumo de recursos naturais passou a ocorrer em ritmo exponencial, superando a limitada capacidade regenerativa do planeta (Martine; Alves, 2015, p. 444). Fica clara, assim, a relação de causalidade entre o atual modelo produtivo e o esgotamento dos recursos naturais. Observado que a degradação e a poluição ambiental, intensificadas pela ação antrópica desenfreada, produzem reflexos multidimensionais que extrapolam a

esfera meramente ecológica torna-se pontual debater sobre esses impactos, que também tem influência no plano das implicações sociais, econômicas e jurídicas.

Os fatores que mais comprometem a qualidade hídrica, embora variem conforme o contexto regional, estão relacionados, sobretudo, à deficiência nos mecanismos de controle sobre os dejetos. Além disso, a degradação e supressão das bacias contribuem significativamente para a redução da capacidade natural de filtragem e armazenamento da água. Soma-se a isso a implantação indevida de unidades industriais em áreas ambientalmente sensíveis. Tais fatores configuram um quadro de pressão antrópica constante, resultando em processos contínuos de contaminação (Moraes, D.; Jordão, 2002, p. 372)

Dentre as consequências da contaminação hídrica, existem repercussões sociais relevantes, principalmente quando atingem as comunidades locais, grupos profundamente enraizados em seus territórios, cuja organização e identidade estão intrinsecamente ligadas ao meio em que vivem. Assim, sofrem impactos que atingem sua estrutura social, valores coletivos e, principalmente, sua sobrevivência (Silva, J.; Hespanhol, 2016, p. 362), mostrando-se particularmente sensíveis, sendo os primeiros e mais severamente atingidos. Em decorrência disso, essas comunidades são facilmente expostas a riscos sanitários, migração forçada, insegurança alimentar, vulnerabilidade econômica, deterioração das condições de vida e doenças.

A contaminação hídrica configura-se como um processo de poluição ambiental que compromete a qualidade das águas superficiais e subterrâneas em virtude da introdução de substâncias física, química, biológica ou energéticas que alteram totalmente a composição e funcionamento dos corpos d'água. Esse processo torna o recurso inadequado para o consumo humano, para a manutenção da biodiversidade e para o exercício do uso múltiplo das águas, representando uma ameaça à saúde pública, à segurança hídrica e à continuidade das formas de vida.

Sua dinâmica revela-se como um fenômeno condicionado tanto pela constituição geológica do terreno quanto pelos padrões de fluxo hídrico subterrâneo e por interações com os poluentes. Certos contaminantes ao se encontrarem dissolvidos na água possuem elevado potencial de mobilidade, podendo atingir extensões consideráveis, nos quais o escoamento favorece sua propagação (Amorim, 2024, p. 3).

Dentre os episódios que ilustram os desdobramentos desses impactos sofridos pelas comunidades locais, destaca-se o rompimento da barragem de Fundão, ocorrido em 5 de novembro de 2015, no município de Mariana/MG. O colapso da estrutura liberou ao longo de 17 dias, cerca de 50 milhões de metros cúbicos de rejeitos no rio Doce e em seus afluentes, devastando comunidades ribeirinhas e configurando-se como uma das maiores tragédias ambientais do país (Jaborandy; Silva, Raquel; Moreira Júnior, 2023, p. 11-13).

Destaca-se que a lama proveniente dos rejeitos percorreu centenas de quilômetros, destruindo ecossistemas e prejudicando abruptamente a relação entre as comunidades locais e os recursos hídricos da região, antes disponíveis e adequados para consumo. Essa contaminação, provocada pela elevada carga de poluentes, comprometeu drasticamente a potabilidade, além de inviabilizar práticas essenciais para o coletivo, como o uso doméstico cotidiano. Diante desse contexto, esse grupo fora obrigado a adaptar-se, de forma emergencial, a um novo cenário marcado principalmente pela escassez, insegurança sanitária e alimentar e desestruturação de seus modos de vida.

Diante o exposto, a tragédia expõe de maneira exemplificativa um modelo errôneo, pautado na lógica da permissividade e da tolerância aos riscos ambientais, visando à ganância do lucro imediato. Nesse contexto, observa-se que o crescimento econômico, quando desacompanhado de políticas públicas eficientes, pode aprofundar ainda mais as desigualdades sociais e desencadear danos ambientais de proporções catastróficas e, em muitos casos, irreversíveis (Romeiro, 2012, p. 70-71).

Embora diversos alertas técnicos e diagnósticos prévios já indicassem as fragilidades da estrutura da barragem, tais evidências foram negligenciadas, demonstrando violação explícita do *in dubio pro ambiente*. Ou seja, quando os danos ou riscos ambientais superam a capacidade de o meio ambiente retornar ao seu *status quo*, a intervenção pretendida não deve ser realizada. (Jaborandy; Silva, Raquel; Moreira Júnior, 2023, p. 7). Portanto, este evento evidencia a interconexão entre a degradação ambiental, a falta da justiça ambiental e a falência estrutural dos mecanismos jurídicos e institucionais, pois princípios basilares como o da precaução, da prevenção, do poluidor-pagador e da reparação integral, que deveriam ter sido articuladamente aplicados, foram esvaziados em sua função.

Revela-se então, uma contradição estrutural: embora o Brasil detenha boas reservas hídricas, a distribuição desse recurso é extremamente desigual e a gestão precária intensifica um quadro em que a população local permanece refém de um sistema excludente (Moraes, D.; Jordão, 2002, p. 371). Trata-se de um paradoxo no qual a disponibilidade da água não se converte em garantia de direitos fundamentais, mas, ao contrário, aprofunda as desigualdades e nega acesso a serviços essenciais. Normalmente ela é desviada, direcionada a setores econômicos privilegiados, enquanto parcelas expressivas da população continuam a consumi-la com qualidade inadequada.

As populações locais, que nada contribuíram para a eclosão destes desequilíbrios, figuram entre aquelas que mais intensamente padecem sob seus efeitos. Tal realidade evidencia uma injustiça estrutural e persistente, na qual comunidades historicamente precarizadas suportam os ônus da apropriação intensiva e desregulada dos recursos hídricos (Martine; Alves, 2015, p. 450).

Diante dessa problemática, existe uma clara afronta aos princípios estruturantes da PNRH. Com o agravante da exclusão ou sub-representação dos segmentos sociais mais vulneráveis nesses espaços evidencia-se a ineficácia na concretização desse comando. Ao negligenciar a pluralidade de vozes na governança hídrica, perpetua-se uma lógica verticalizada que enfraquece a legitimidade das decisões tomadas.

Entre os impactos sobre as comunidades locais está a perda dos meios tradicionais de subsistência. A pesca, por exemplo, torna-se inviável diante da mortandade de peixes ou da contaminação dos espécimes sobreviventes, os quais passam a apresentar concentrações de substâncias que os tornam impróprios para o consumo. Da mesma forma, a agricultura familiar sofre impactos severos quando irrigada com águas poluídas, comprometendo a qualidade, quantidade e a segurança dos produtos cultivados, expondo agricultores a uma diversidade de riscos sanitários. Além disso, destaca-se que em muitos casos, a poluição hídrica inviabiliza completamente a atividade, uma vez que propicia a inutilização do solo.

Segundo Leite, M. e Leite, Jäder (2002, p. 530) a consequência imediata dessa ruptura nos sistemas produtivos é o agravamento da insegurança alimentar, fenômeno estruturalmente vinculado às desigualdades socioeconômicas, refletindo a precarização do acesso aos recursos básicos e à autonomia produtiva das comunidades locais. Um grupo que historicamente garantia sua subsistência passam

a depender da aquisição de alimentos industrializados, frequentemente com baixo valor nutricional e altos custos, incompatíveis com a renda disponível.

A perda dessa capacidade compromete o direito humano à alimentação adequada, conceito que deve ser tratado como direito humano fundamental, envolto pelas particularidades da sociedade complexa, tangenciado pelos mais diversos aspectos políticos, econômicos e sociais existentes em dada realidade (Bruzaca; Nogueira, 2023, p. 3). Por essa razão, está previsto constitucionalmente no artigo 6º da Constituição e reconhecido em diversos tratados internacionais dos quais o Brasil é signatário.

Art. 6º São direitos sociais a educação, a saúde, a alimentação, o trabalho, a moradia, o transporte, o lazer, a segurança, a previdência social, a proteção à maternidade e à infância, a assistência aos desamparados, na forma desta Constituição.

Parágrafo único. Todo brasileiro em situação de vulnerabilidade social terá direito a uma renda básica familiar, garantida pelo poder público em programa permanente de transferência de renda, cujas normas e requisitos de acesso serão determinados em lei, observada a legislação fiscal e orçamentária (CF/88).

Infelizmente, com a não observância da legislação, em vez de garantir direitos, converte a insegurança alimentar em um mecanismo adicional de exclusão. Como consequência, as comunidades afetadas tornam-se mais dependentes de medidas emergenciais. A assistência governamental, que deveria funcionar como transição para a reconstrução da autonomia produtiva, transforma-se em medida paliativa permanente, perpetuando a dependência. Adicionalmente, a instabilidade dessas políticas, sujeitas a cortes orçamentários, não oferecem segurança ou material suficiente aos beneficiários. Sem perspectiva de médio ou longo prazo, as comunidades locais permanecem estagnadas, sem alternativas concretas de modificar suas condições.

Paralelamente, outra questão urgente destaca-se a ocorrência de doenças provocadas pela água não tratada, o que gera um ciclo de causa efeito de difícil solução. A exposição à água contaminada propicia a transmissão de agentes patogênicos em velocidade e intensidade alarmantes pois as doenças de veiculação hídrica, como a cólera vibrio e a as gastroenterite infecciosas, proliferam com facilidade em contextos onde o acesso à água potável é interrompido, e os sistemas

públicos de saúde não têm mecanismos necessários para atender a alta demanda súbita. (Porto, Marcelo; Pacheco; Leroy, 2013, p. 67).

Adicionalmente, a precariedade sanitária acentua-se ainda mais quando se considera a ausência de água tratada para a realização de atividades diárias. Práticas de higiene básica como o preparo de alimentos, a limpeza doméstica e o asseio pessoal tornam-se potenciais formas de contágio.

Em contextos mais críticos, a contaminação dos corpos hídricos força o deslocamento das comunidades locais. Isso ocorre quando há uma confluência de múltiplos fatores, como, por exemplo, distintos níveis de exposição a ameaças e riscos, o esgotamento do recurso e o colapso das atividades produtivas (Moreira, 2024, p. 3). Essa interação complexa compromete a permanência nos territórios afetados, desencadeando processos de migração compulsória em busca de condições mínimas de sobrevivência. Essa movimentação, sem garantias de reassentamento digno para centros urbanos, frequentemente incapazes de absorver essa nova população, alimenta novos ciclos de vulnerabilidade, como o desemprego e a potencialização de marginalização e invisibilidade social.

Assim, os efeitos da contaminação hídrica, portanto, revelam uma cadeia interligada de impactos. A proteção ambiental não pode se fundar em uma noção abstrata e formal de igualdade, que trate de maneira uniforme grupos com pontos de partida desiguais. Tal como ocorre na essência do Direito Trabalhista, onde normas protetivas buscam compensar a assimetria entre as partes, como empregador e empregado, o Direito Ambiental também deve operar com instrumentos capazes de assegurar proteção diferenciada e efetiva àqueles que mais precisam.

Os impactos expostos demonstram uma violação sistêmica de direitos fundamentais, cujos efeitos se estendem às gerações futuras. A falência do mecanismo de proteção ambiental não pode ser entendida como episódio isolado, mas sim como reflexo de um modelo de desenvolvimento estruturalmente vicioso, que subordina os direitos difusos da coletividade aos interesses econômicos privilegiados (Jaborandy; Silva, Raquel; Moreira Júnior, 2023, p. 7). A conjugação desses fatores delinea com clareza o cenário de desarmonia socioambiental que atravessa as crises contemporâneas. Ou seja, em vez de servir como barreira contra as injustiças ambientais, o aparato atual muitas vezes atua como instrumento de reprodução das desigualdades,

Dessa maneira, as propostas de políticas ambientais têm se estruturado a partir de uma combinação entre instrumentos de comando e controle, com o objetivo de enfrentar os desafios crescentes da crise ecológica. No entanto, essa necessidade se torna ainda mais complexa em países como o Brasil, onde é imprescindível considerar as especificidades históricas, sociais e econômicas de cada território, que de forma alguma devem ser abordados por soluções genéricas (Romeiro, 2012, p. 73).

Nesse contexto, o Direito Ambiental deve assumir um papel transformador, comprometido não apenas com a contenção de danos já consumados. O meio ambiente deve ser reconhecido como núcleo estruturante da dignidade humana, e a construção de uma sociedade sustentável depende da centralidade que se confere à integridade ecológica e à justiça socioambiental.

4. AS NOVAS TECNOLOGIAS NA APLICAÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (LEI 9.433/97)

Diante dos impactos ambientais gerados pelas atividades agroindustriais, especialmente no que tange à contaminação dos recursos hídricos, torna-se inegável que a simples identificação dos danos não se mostra suficiente para enfrentar a complexidade do problema. Lidar com a problemática, de maneira a preveni-los, mitigá-los ou, quando necessário, responsabilizar efetivamente os agentes causadores, pressupõe a existência de políticas públicas robustas e mecanismos institucionais capazes de intervir diretamente na realidade.

Nesse contexto, é precisamente a Lei nº 9.433/97 que se apresenta como o instrumento central para estruturar a proteção das águas no Brasil. Sua efetividade, contudo, não pode ser dissociada da atuação concreta dos órgãos que integram o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), cuja função primordial consiste em operacionalizar o disposto na legislação.

Soma-se a isso a necessidade de aprimoramento das ferramentas de fiscalização, por meio da adoção de tecnologias ambientais que ampliam significativamente a capacidade dos órgãos competentes, permitindo maior precisão na detecção de irregularidades e uma resposta mais rápida frente à identificação de degradação e poluição.

Portanto, a análise a seguir concentra-se justamente na estruturação desses órgãos fiscalizadores, em suas estratégias adotadas, em seus equipamentos atualmente utilizados e nos desafios que permeiam sua atuação. Examinar como esses entes têm atuado frente à complexidade dos danos ambientais permite avaliar os avanços institucionais alcançados e identificar as limitações persistentes que, muitas vezes, comprometem a plena efetividade da governança hídrica.

4.1 A ESTRUTURA DOS ÓRGÃOS FISCALIZADORES E SUA CAPACIDADE DE MONITORAR OS RECURSOS HÍDRICOS

Tendo em vista a natureza basilar atribuída à PNRH na segurança hídrica, torna-se incontestável a necessidade de analisar a dinâmica operacional dos órgãos responsáveis pela sua fiscalização e monitoramento. A modalidade de administração

sustentável exige uma estrutura institucional capaz de articular competências e garantir a efetividade das diretrizes normativas. Nessa perspectiva, a Lei nº 9.433/97, conhecida como Lei das Águas, oferece instâncias específicas voltadas à concretização de seus princípios e objetivos (Braga; et al., 2008, p. 24).

Dessa maneira, a legislação institui o SINGREH, um passo decisivo para a implementação plena da PNRH, que, ao atribuir à água valor estratégico institucionaliza os principais instrumentos da gestão hídrica no país (Santin, Goellner, 2013, p. 205). Esse sistema de gerenciamento não se limita à criação de diretrizes formais, mas funciona como um mecanismo articulador entre os entes federativos e a sociedade civil, promovendo a governança das águas com base em critérios técnicos e participativos. Logo, o SINGREH adota um modelo de gestão que reflete a lógica sustentável, tendo como seus objetivos:

Art. 32. Fica criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, com os seguintes objetivos:

I - coordenar a gestão integrada das águas;

II - arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos;

III - implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos;

IV - planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos;

V - promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos. (Lei nº 9.433/97)

Conforme o dispositivo, seus objetivos incluem a coordenação da gestão integrada das águas cuja administração deve considerar simultaneamente aspectos quantitativos e qualitativos da mesma, bem como os usos múltiplos a qual ela se destina. Na arbitragem administrativa, objetiva-se solucionar disputas entre usuários de forma técnica e imparcial, fortalecendo a governança hídrica e promovendo o uso adequado do recurso (Porto, Monica; Porto, R., 2008, p. 48)

Por sua vez, a cobrança pelo uso da água, ao atribuir valor econômico ao recurso finito, impõe formas de consumo mais sustentáveis, refletindo diretamente na redução de desperdícios e no reforço à preservação ambiental, visto que ao tornar seu uso mais oneroso, busca-se desencorajar práticas nocivas. Nesse contexto, o princípio do usuário-pagador e a responsabilidade ambiental, conforme exposto anteriormente, se articulam de forma complementar, pois implicam conjuntamente na internalização dos custos decorrentes dos impactos ambientais causados (Braga; et al., 2008, p. 24). A partir dessa premissa permite-se que os

valores arrecadados sejam investidos em medidas de monitoramento e recuperação da área degradada.

Para que a seguridade dos objetivos demonstrados se traduzam em realidade concreta, torna-se imprescindível a fiscalização adequada, acompanhada da aplicação de instrumentos legais previamente definidos, aptos a assegurar as diretrizes estabelecidas. Assim, a efetividade depende diretamente da atuação estruturada e articulada dos órgãos integrantes do SINGREH e, por conseguinte, em consonância com os preceitos da PNRH, os quais estão definidos:

Art. 33. Integram o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos:

I - o Conselho Nacional de Recursos Hídricos;

I-A - a Agência Nacional de Águas;

II - os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal;

III - os Comitês de Bacia Hidrográfica;

IV - os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos;

V - as Agências de Água. (Lei nº 9.433/97)

Os diversos entes que integram o SINGREH exercem competências distintas, mas convergem no compromisso de garantir o cumprimento da legislação por meio de mecanismos eficazes de fiscalização e monitoramento (Trindade, 2016, p. 209). A concretização dos objetivos previstos na Lei das Águas depende da articulação entre essas instâncias, cujo funcionamento conjunto consolida o modelo de gestão preconizado. Nesse contexto, a efetividade legal resulta diretamente da cooperação entre os órgãos que compõem seu sistema. Ressalte-se, assim, que a gestão hídrica no Brasil configura um processo intrinsecamente complexo e dinâmico, exigindo a participação articulada de múltiplos setores institucionais em diferentes esferas de governança.

Conforme visto anteriormente, a bacia hidrográfica configura-se como a unidade territorial básica para o planejamento e administração dos recursos hídricos, assumindo papel central nas estratégias de preservação e uso sustentável. Nesse contexto, Santin e Goellner (2013, p. 207) apontam que decisões sobre o uso dos recursos hídricos devem ser tomadas levando em consideração as deliberações dos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs) em esferas articuladas entre os diversos níveis de gestão. Tal estrutura reforça a importância de uma abordagem voltada à

harmonização dos interesses locais com as diretrizes estabelecidas em nível nacional.

Esse órgão tem como finalidade promover a gestão sustentável no âmbito da respectiva bacia que regula, funcionando como instâncias colegiadas (Pereira, M.; Barbieiro; Quevedo, 2020, p. 310). Nesse cenário, os CBHs reúnem, conforme estabelecido legalmente, os representantes de cada setor.

Art. 39. Os Comitês de Bacia Hidrográfica são compostos por representantes:

I - da União;

II - dos Estados e do Distrito Federal cujos territórios se situem, ainda que parcialmente, em suas respectivas áreas de atuação;

III - dos Municípios situados, no todo ou em parte, em sua área de atuação;

IV - dos usuários das águas de sua área de atuação;

V - das entidades civis de recursos hídricos com atuação comprovada na bacia.

§ 1º O número de representantes de cada setor mencionado neste artigo, bem como os critérios para sua indicação, serão estabelecidos nos regimentos dos comitês, limitada a representação dos poderes executivos da União, Estados, Distrito Federal e Municípios à metade do total de membros.

[...] (Lei nº 9.433/97)

Investidos da responsabilidade de julgar sobre questões essenciais à gestão integrada das águas, os colegiados assumem atribuições consultivas e deliberativas, estabelecendo diretrizes para o uso racional da água, a mediação de conflitos relacionados ao seu uso, bem como o acompanhamento e a avaliação contínua da qualidade e da disponibilidade hídrica por meio de equipamentos de monitoramento (Santin; Goellner, 2013, p. 208). O que permite ao comitê acompanhar a execução do plano de bacia hidrográfica, identificar áreas que apresentam risco de degradação, avaliar os resultados das ações executadas e propor medidas corretivas.

Apesar da importância do monitoramento contínuo por meio da implementação de equipamentos capazes de mensurar, com precisão e em intervalos regulares, os fenômenos hidrometeorológicos, essa atividade em campo configura-se como uma tarefa onerosa. Isso porque exige não apenas a instalação de dispositivos de medição atualizados, mas também o investimento em equipes técnicas aptas a realizar o monitoramento de forma adequada (Pereira, M.; Barbieiro; Quevedo, 2020, p. 311)

Adicionalmente, os CBHs enfrentam fragilidades no que tange à participação plena das diversas partes que o compõe. Um dos problemas reside na criação desses comitês por meio de mandatos políticos, os quais impõem um ritmo de trabalho incompatível com o das organizações da sociedade civil. Ademais, a tomada de decisões, quando negociada dentro de uma estrutura governamental, frequentemente sofre a influência de grupos específicos, que, por vezes, resistem veementemente à criação de espaços genuinamente participativos (Santin, Goellner, 2013, p. 210).

Apesar dos desafios enfrentados, os CBHs encontram reforço na colaboração entre as Agências de Águas, cuja atuação é complementar e se mostra essencial para a concretização das políticas públicas de gestão dos recursos hídricos. As agências, entre outros fatores, assumem função de secretaria executiva dos respectivos CBHs, conforme o disposto:

Art. 41. As Agências de Água exercerão a função de secretaria executiva do respectivo ou respectivos Comitês de Bacia Hidrográfica. (Lei nº 9.433/97)

Art. 42. As Agências de Água terão a mesma área de atuação de um ou mais Comitês de Bacia Hidrográfica.
Parágrafo único. A criação das Agências de Água será autorizada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos ou pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos mediante solicitação de um ou mais Comitês de Bacia Hidrográfica. (Lei nº 9.433/97)

A cooperação entre essas instâncias transcende o monitoramento de dados e a análise das condições hidrológicas. Enquanto os CBHs exercem funções deliberativas e participativas, as Agências de Águas desempenham um papel técnico-operacional, incumbindo-se de atividades como fiscalização, regulação e planejamento, com direcionamento mais executivo (Trindade, 2016, p. 81).

As agências atuam nas esferas federais e estaduais, conforme a estrutura do SINGREH. No plano federal, a ANA coordena a PNRH nos corpos d'água de domínio da União, como os de fronteiras interestaduais ou internacionais. Já no âmbito estadual, órgãos próprios exercem funções semelhantes em relação aos recursos hídricos situados integralmente dentro do território do estado.

Nesses casos, segundo a doutrina constitucional, trata-se de matéria de interesse regional, uma vez que pode abranger mais de um município. Isso justifica a competência estadual, com base no princípio da predominância do interesse. Independentemente de sua configuração, a fiscalização deve seguir os mesmos

princípios e objetivos, consolidando um modelo coerente de governança que alia diretrizes nacionais a adaptações locais.

Ressalta-se que a ANA é uma autarquia especial vinculada ao Ministério do Meio Ambiente que possui respaldo legal para atuar de forma articulada com os diversos entes públicos e privados relacionados ao SINGREH (Morais; Fadul; Cerqueira, 2018, p. 245). Sua atuação segue a descentralização, a participação social e a integração intersetorial, elementos essenciais para a consolidação da PNRH. Nesse contexto, a ANA desempenha um papel estratégico na fiscalização do recurso.

Primeiramente, cabe à ANA conceder a outorga do direito de uso dos recursos hídricos em corpos d'água sob domínio da União (Gomes, J., Barbieri, 2004, p. 10). Sua autorização administrativa é essencial para assegurar que o uso da água seja realizado de maneira equilibrada e dentro dos parâmetros estabelecidos pela legislação (Santos, R., 2013, p. 12). Este procedimento visa regular a quantidade de água retirada e o destino a ser dado a ela, evitando sobrecargas nos ecossistemas e assegurando que os usos múltiplos sejam compatíveis com a capacidade de renovação dos corpos hídricos

A agência também desempenha papel técnico e consultivo ao elaborar estudos que subsidiem a definição, pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), dos valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos nos domínios da União. Este processo envolve a análise detalhada das características dos corpos d'água, a demanda de água nas diferentes bacias e a verificação das contribuições dos CBHs, os quais desempenham um papel na definição de critérios de cobrança (Gomes, J., Barbieri, 2004, p. 10-11).

A articulação do CNRH, além de conferir os valores econômicos, abrange outro conjunto de atribuições do SINGREH. Esse órgão possui natureza colegiada, exercendo funções deliberativas e consultivas, ao estabelecer diretrizes gerais para a gestão das águas e ao exercer papel central na harmonização das políticas públicas e atuação das demais instituições que impactam os recursos hídricos. Também lhe incumbe a análise de propostas relativas aos planos de bacia, fortalecendo a integração entre os entes e o planejamento e execução da PNRH (Costa, D.; et al., 2019, p. 47).

Suas reuniões são periódicas e têm como objetivo discutir as principais questões relacionadas ao uso e à gestão da água, aprovar planos e estratégias e

discutir possíveis soluções. A representatividade e a diversidade de interesses no conselho asseguram que as decisões sejam tomadas de forma balanceada, levando em consideração os diversos aspectos econômicos, sociais e ambientais locais, possibilitando uma gestão mais contextualizada conforme as diferentes realidades. Dessa maneira, o órgão é responsável por promover a integração entre os entes e assegurar coerência das suas ações, verificando que sigam o estabelecido em lei. Sua composição reúne:

Art. 34. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos é composto por:
I - representantes dos Ministérios e Secretarias da Presidência da República com atuação no gerenciamento ou no uso de recursos hídricos;
II - representantes indicados pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos;
III - representantes dos usuários dos recursos hídricos;
IV - representantes das organizações civis de recursos hídricos.

Parágrafo único. O número de representantes do Poder Executivo Federal não poderá exceder à metade mais um do total dos membros do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. (Lei nº 9.433/97)

Art. 36. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos será gerido por:
I - 1 (um) Presidente, que será o Ministro de Estado da Integração e do Desenvolvimento Regional;
II - 1 (um) Secretário-Executivo, que será o titular do órgão integrante da estrutura do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional responsável pela gestão dos recursos hídricos. (Lei nº 9.433/97)

Segundo Costa, Adriana e Mertens (2015, p. 154) o plenário do CNRH é um bom exemplo para analisar como funcionam os processos de governança e o impacto do capital social, pois envolve uma variedade de participantes para debater questões que, devido à sua complexidade, demandam soluções colaborativas. Conforme os artigos apresentados, o CNRH exemplifica uma estrutura que reúne diferentes esferas e setores para enfrentar os desafios da gestão dos recursos hídricos, refletindo os princípios de descentralização, democracia e participação previstos na PNRH. Ou seja, o órgão deve assegurar a integração de múltiplos interesses e visões no processo decisório, o que contribui para a formulação de diretrizes mais inclusivas e sensíveis às diferentes realidades.

O órgão conta, ainda, com a atuação de um Secretário-Executivo, incumbido de garantir a coordenação técnica e administrativa entre os participantes, zelando pelas bases de seu funcionamento. Ademais, a presidência é exercida pelo

Ministro de Estado da Integração e do Desenvolvimento Regional para que exista legitimidade e autoridade política às decisões.

A fim de evitar a centralização de poder, a legislação determina que o número de representantes do Poder Executivo Federal não exceda a metade mais um do total de membros que compõem o colegiado. Embora essa condição vise assegurar a autonomia dos demais segmentos, ela não garante caráter plenamente participativo e democrático, uma vez que permite ao Executivo manter maioria simples e, em função disso, prevalecer sobre os demais segmentos.

Embora o Plenário do CNRH constitua uma rede densa de colegiados, o órgão não consegue contribuir da forma esperada para o alcance dos objetivos da PNRH. Apesar de seu papel crucial, enfrenta diversos entraves que comprometem sua efetividade. Suas deliberações, embora formalmente válidas, muitas vezes não se traduzem em ações concretas devido à ausência de mecanismos eficazes de cumprimento dessas decisões. Isso se dá pela fragilidade dos órgãos responsáveis por executar e fiscalizar, o que constitui um dos principais obstáculos na gestão dos recursos hídricos (Costa, Adriana; Mertens, 2015, p. 166).

Nesse viés, é impossível deixar de notar os desafios estruturais para a plena implementação legal, mesmo que o SINGREH tenha sido concebido com dispositivos robustos, sua execução está distante do potencial previsto. A falta de recursos financeiros disponibilizados, a escassez de profissionais qualificados e a infraestrutura de monitoramento desatualizada contribuem para que o plano de gestão esperada permaneça, em muitos aspectos, apenas no papel. Diante desse cenário, resta fragilizada a capacidade dos entes.

Desse modo, torna-se imprescindível o investimento na capacitação técnica de servidores, a ampliação dos quadros de fiscalização e o comprometimento com a estabilidade administrativa. Além disso, é necessário incorporar soluções tecnológicas capazes de modernizar a gestão. O uso de sistemas de monitoramento em tempo real, plataformas digitais integradas e sensoriamento remoto, por exemplo, são opções para aperfeiçoar as funções dos órgãos capacitados. Portanto, embora o Brasil disponha uma estrutura normativa avançada no campo ambiental, principalmente em comparativo com outros países, sua efetividade depende de uma reorientação prática que priorize melhores formas de controle e a modernização dos instrumentos previstos para tal.

4.2 SOLUÇÕES ADOTADAS PELO PODER PÚBLICO E SEU IMPACTO NA MITIGAÇÃO DA POLUIÇÃO HÍDRICA E NA PROTEÇÃO DAS COMUNIDADES AFETADAS/OS

Após o reconhecimento da crise ambiental, revelaram-se os limites da racionalidade tradicional em lidar com temas marcados por alta complexidade. Por conseguinte, intensificaram-se buscas por novas formas de enfrentar tais desafios, impulsionando resoluções alternativas. Esse processo desencadeou transformações perceptíveis em diferentes áreas, com destaque para o campo jurídico-normativo, que passou a se remodelar frente à urgência dessa crise (Moraes, K., 2012, p. 161).

Nesse cenário de reestruturação, revela-se absolutamente imprescindível que o poder público desempenhe um papel proativo e decisivo na formulação de respostas efetivas frente aos expressivos impactos ambientais. Tal atuação deve se materializar por intermédio da adoção de soluções satisfatórias e tecnicamente fundamentadas, capazes de lidar com a problemática de maneira adequada e, ao mesmo tempo, mitigar os efeitos adversos decorrentes.

Destaca-se que a expansão desenfreada da atividade agroindustrial tem se consolidado como uma das principais responsáveis pela poluição hídrica, contribuindo significativamente para a entrada de poluentes de origem difusa tanto a montante quanto a jusante dos cursos d'água (Sobral; et al., 2017, p. 845). Esse cenário é agravado pelo uso de insumos químicos altamente tóxicos, muitos dos quais não possuem regulamentação adequada, comprometendo severamente a qualidade da água.

Diante dos impactos provocados, torna-se indispensável a adoção de medidas adaptadas que permitam lidar com essas transformações de forma estratégica e sustentável (Tundisi, 2008, p. 11). Neste cenário, o Estado precisa atuar de forma integrada em ações governamentais de reforço à políticas públicas que controlem tanto o uso da água quanto a responsabilização efetiva dos agentes poluidores.

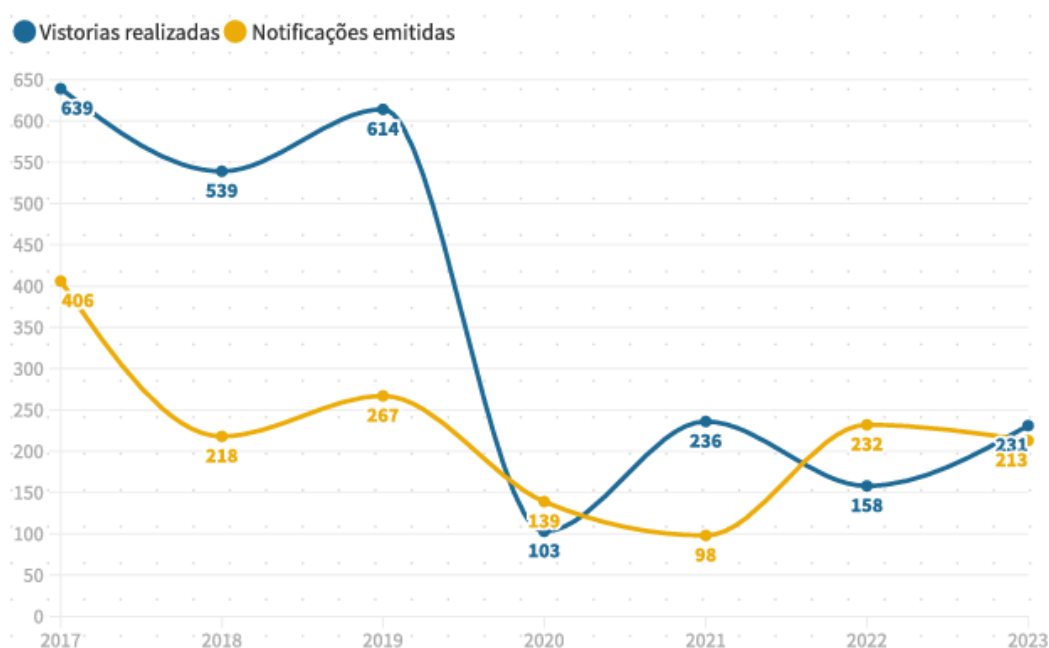
Nesse viés, destaca-se o papel estratégico da ANA, ao garantir que grandes usuários, como empreendimentos agroindustriais, atuem dentro dos limites legais e operacionais estabelecidos, seu papel contribui diretamente para a disponibilidade sustentável da água para múltiplos usos, entre eles o abastecimento humano que se desdobra em agricultura em pequena escala, a pesca artesanal e

outras práticas tradicionais de comunidades locais. Dessa forma, funciona como uma maneira de evitar a concretização dos efeitos da poluição hídrica, ao prevenir que a diminuição da qualidade da água por setores econômicos privilegiados acirre a vulnerabilidade de populações já fragilizadas.

Como resultado, em 2023 a Agência realizou 17 campanhas de fiscalização em rios interestaduais, com a vistoria de 231 usuários e a emissão de 213 autos de infração, sendo 170 advertências, 40 multas, um embargo provisório e dois embargos definitivos. Foram priorizados sistemas hídricos historicamente tensionados, como regiões semiáridas onde a escassez hídrica agrava as desigualdades sociais (Brasil, 2024b, p. 100-101).

Por meio da fiscalização, ainda que passível de aprimoramento torna-se possível assegurar, em certa medida, o cumprimento das normas. Esse mecanismo estatal possui caráter preventivo, ou seja, funciona como estratégia de neutralização de danos ao inibir práticas irregulares que poderiam intensificar os impactos da poluição, especialmente sobre comunidades vulneráveis. O gráfico a seguir apresenta a evolução das fiscalizações realizadas pela ANA entre 2017 e 2023, demonstrando o alcance e os efeitos práticos ao longo dos anos.

Gráfico 3. Fiscalização de usos dos recursos hídricos realizados pela ANA em rios de domínio da União



Fonte: Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe anual 2024b
Gráfico interativo disponível em: tiny.cc/nb8jzz

Apesar de o gráfico evidenciar uma queda acentuada nas ações de fiscalização e notificações no ano de 2020, segundo Guerra, Salinas e Gomes, L., isso se dá como reflexo das restrições operacionais impostas pela pandemia de COVID-19, causada pelo redirecionamento das prioridades do ente em resposta à emergência sanitária que comprometeram a presença física em campo e a execução de vistorias. Ainda assim, nota-se uma retomada gradual dessas atividades nos anos seguintes, com destaque para o crescimento em 2023, conforme o gráfico.

A correlação entre o aumento de fiscalizações e a quantidade de autos de infração emitidos reforça, por contraste, a importância estratégica da presença do poder público na contenção de danos. Ao afastar práticas ilegais, a fiscalização contribui diretamente para a minimização da poluição hídrica.

Outra solução adotada pelo poder público, é o Termo de Ajustamento de Conduta (TAC), mecanismo previsto no §6º do art. 5º da Lei nº 7.347/1985, a Lei da Ação Civil Pública (Brasil, 1985).

Art. 5º Têm legitimidade para propor a ação principal e a ação cautelar:
[...]
§ 6º Os órgãos públicos legitimados poderão tomar dos interessados compromisso de ajustamento de sua conduta às exigências legais, mediante cominações, que terá eficácia de título executivo extrajudicial.
(Lei nº 7.347/85)

O TAC permite ao Ministério Público e a outros órgãos legitimados firmar compromissos com os respectivos agentes infratores, com o objetivo de adequar suas condutas às exigências legais (Gomes, A.; et al., 2024, p. 13). Trata-se, portanto, de uma ferramenta que busca promover a reparação dos danos ambientais decorrentes de atividades irregulares enquanto faz supressão da prática de novos ilícitos.

Nesse contexto, o TAC apresenta-se como um dos possíveis formatos de resposta institucional, por meio da qual o poder público pode buscar a restauração de direitos fundamentais violados, como o acesso à água limpa e segura, a preservação da saúde coletiva, a garantia da segurança alimentar e a proteção dos territórios tradicionalmente ocupados. Desse modo, consolida-se como uma

alternativa capaz de promover maior segurança às comunidades locais (Gomes, A.; et al., 2024, p. 13).

Diante do cenário da crise hídrica intensificada pela expansão da atividade agroindustrial, o TAC emerge como um bom tipo de solução, por permitir respostas rápidas a situações de risco iminente à qualidade da água. Isso se dá por sua natureza extrajudicial, o que possibilita a formalização de compromissos com pronta exigibilidade, ou seja, sem a necessidade de judicialização (Gomes, A.; et al., 2024, p. 13-14). Nesse sentido, assegura maior agilidade na reparação de danos ambientais e na mitigação da poluição hídrica. Essa celeridade é especialmente crucial frente à urgência que caracteriza os episódios de contaminação dos recursos hídricos, cujos efeitos, quando não enfrentados prontamente, tendem a se agravar de forma prolongada.

Destarte reconhece-se que sua celebração não exclui vias legais de responsabilização. Caso a tentativa de composição extrajudicial reste infrutífera, o poder público pode e deve recorrer à Ação Civil Pública como instrumento de tutela dos direitos difusos e coletivos, inclusive com pedidos liminares para cessação imediata do dano.

Além disso, podem ser adotadas medidas no âmbito penal contra os responsáveis, conforme a gravidade dos fatos e a legislação aplicável. Essa articulação entre as esferas extrajudicial, judicial e sancionatória garante maior densidade à proteção ambiental, funcionando como uma rede integrada e sólida. A partir disso, permite ao poder público suprir eventuais deficiências dos mecanismos de negociação, reforçando o compromisso constitucional com a efetivação do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e ampliando as chances de reparação plena dos danos causados (Dantas, 2023, p. 18).

Ademais, seu valor como solução pública reside na capacidade de vincular a reparação do dano à preservação da dignidade humana, conforme demonstrado. De acordo, entre as cláusulas mais comuns em casos de poluição hídrica estão: fornecimento emergencial de água potável, tratamento e reabilitação de corpos d'água contaminados, indenização direta às famílias prejudicadas, recuperação de atividades econômicas locais, reassentamento de populações deslocadas e reconstrução de infraestrutura básica. Nesse viés, Simões e Amoras (2017, p. 176) afirmam:

“[...] o ajustamento deve corresponder à satisfatória prevenção ou à integral reparação do dano ambiental, restringindo-se assim suas cláusulas às condições de forma, tempo e lugar de seu cumprimento. O órgão tomador deve abster-se de renunciar a deveres legais contemplados no ordenamento jurídico em detrimento dos interesses da coletividade, comportando cláusulas de fazer, de não fazer, de dar ou de indenizar, necessárias para prevenir ou reparar o dano.” (Ferreira; Simões; Amoras, 2017, p.176).

Diante do exposto, constata-se que o TAC induz uma mudança no *modus operandi* dos agentes punidos, como em especial as agroindústrias, cujas práticas consagram significativa pressão, auxiliando na sua responsabilização proporcional. Ao impor obrigações claras e prazos definidos para a adequação de processos produtivos, os TACs mitigam os danos ambientais causados, assim como conjuntamente promovem uma maior proteção às comunidades locais afetadas pelas externalidades negativas dessas atividades. Isso demonstra uma crescente preocupação em enfrentar os impactos de forma articulada, sendo a conjugação de instrumentos, portanto, a via mais promissora para consolidar uma gestão hídrica verdadeiramente sustentável.

Nesse viés, o poder público tem capacidade de oferecer um leque diverso de respostas, sendo a partir desses mecanismos que reafirma seu compromisso com a tutela do meio ambiente ecologicamente equilibrado, ao mesmo tempo em que assegura os direitos fundamentais associados, como à saúde pública, à segurança hídrica e à justiça socioambiental. As medidas expostas revelam a necessidade do fortalecimento contínuo da capacidade fiscalizatória, o aprimoramento dos instrumentos já existentes e a incorporação de mecanismos modernos objetivando melhor e contínua resolução de conflitos.

Portanto, o enfrentamento da poluição hídrica exige medidas governamentais com elevada sensibilidade às suas múltiplas dimensões. A eficácia das ações estatais, como os TACs e a fiscalização realizada pela ANA, reside justamente na capacidade de articular mecanismos normativos com intervenções práticas. Diante disso, consolidar uma atuação pública pautada pela equidade, cobrança e transparência torna-se crucial, considerando a natureza multifacetada da problemática profundamente desigual desde sua origem e efeitos.

4.3 NOVAS SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS PARA MONITORAMENTO DO USO SUSTENTÁVEL DA ÁGUA

Conforme demonstrado no capítulo inicial, a evolução do maquinário moderno ampliou exponencialmente a capacidade humana de intervir nos ecossistemas. Essa expansão, guiada por lógicas de imediatismo econômico, combinada com a insuficiência de regulamentação para conter condutas lesivas e o desconhecimento acerca dos impactos tecnológicos, decorrente do avanço acelerado dos equipamentos que superava a capacidade de estruturação, estudo e controle dos mesmos, agravou significativamente a situação, culminando em profundos danos ambientais, sentidos até os dias hoje (Hupffer; Weyermüller; Waclawovsky, 2011, p. 99).

Observa-se um lento processo de reconhecimento dos impactos decorrentes dessa problemática, o que tem contribuído para uma percepção ampla e consciente acerca da gravidade da questão. Ressalte-se, contudo, que essa percepção é relativamente recente, refletido em legislações ambientais ainda embrionárias e que demandam constante atualização e aprimoramento, como por exemplo reforma do Código Florestal (Brasil, 2012) e da Lei dos Agrotóxicos (Brasil, 2023).

Ironicamente, são justamente as novas tecnologias, agora concebidas sob a perspectiva ecológica e respaldadas por conhecimento técnico amadurecido, que despontam como instrumentos promissores para a mitigação dos danos outrora provocados por sua má administração. Nesse novo paradigma, o desafio consiste em promover o seu uso conciliando-o com a preservação dos recursos naturais.

Dessa maneira, destaca-se no atual cenário de transição ecológica a relevância crescente das tecnologias verdes, concebidas a partir de três eixos estruturantes que as qualificam como soluções triplamente vantajosas: a mitigação dos impactos ambientais, a promoção de benefícios sociais amplos e equitativos, e a manutenção da viabilidade econômica com resultados sustentáveis (Romeiro, 2012, p. 73). Entre as mais relevantes à aplicação à gestão hídrica na esfera de monitoramento estão os sistemas que utilizam sensores e plataformas de software livre.

No que tange às tecnologias de sensores, destaca-se aquelas que operam com base na denominada *Internet of Things* (IoT), sua tradução significa Internet das Coisas. Essa tecnologia consiste na interconexão de elementos variados por meio de sensores, *softwares* e conectividade sem fio, permitindo a comunicação autônoma entre o dispositivo e o ecossistema monitorado. Os sensores com IoT apresentam um ambiente de computação hiperconectado, que vem transformando de maneira contínua os modos de compartilhamento de dados. Nesse sistema, não apenas seres humanos e outros organismos vivos estão integrados à rede de informações, mas praticamente qualquer elemento do mundo físico pode ser monitorado em tempo real e operado em um estado permanente (Barros; et al., 2025, p. 4).

Assim, a IoT revela-se como um mecanismo singular ao viabilizar a captura dinâmica e em tempo real de dados. A incorporação de sensores altamente sensíveis e interligados permite a obtenção de dados precisos, refletindo fielmente as condições presentes, o que supera as limitações dos métodos tradicionais de coleta, as quais são usadas atualmente pelos órgãos do SINGREH (Barros; et al., 2025, p. 2). A capacidade dos sensores com IoT transcende o mero registro de informações, estabelecendo-se como mecanismo indispensável para análises aprofundadas e para o embasamento científico e técnico que orienta decisões estratégicas dos Comitês.

Nesse contexto, destaca-se que, entre variáveis monitoradas encontram-se dados acerca da temperatura da água, seu pH, a intensidade luminosa direcionada e a concentração de compostos como nitrogênio e fósforo (Balasubramaniam; et al., 2024, p. 4). Esses parâmetros são fundamentais para avaliar a qualidade da água. A temperatura interfere no metabolismo dos organismos aquáticos, afetando a fauna local. Paralelamente, o pH condiciona a biodisponibilidade de nutrientes, o que impacta também a flora local. Por sua vez a intensidade da luz está relacionada ao processo de fotossíntese de algas e macrófitas, presentes no local. Além disso, o monitoramento dos níveis de nitrogênio e fósforo permite detectar indícios da possibilidade de eutrofização, a fim de evitá-la.

Em relação à tecnologia exposta, observa-se que os mecanismos de fiscalização e monitoramento ambiental atualmente empregados pelos órgãos competentes apresentam limitações diante das crescentes exigências da realidade contemporânea, que demanda maior agilidade, precisão e economicidade no uso de

recursos públicos. Tais limitações não se apresentam nas tecnologias vinculadas à IoT, as quais, por sua natureza, inauguram soluções com uma nova perspectiva de atuação.

Diferentemente dos métodos convencionais, que frequentemente exigem a presença física de agentes para a coleta manual de dados em campo, os sensores integrados são capazes de transmitir informações em tempo real, automatizando o monitoramento e permitindo respostas mais rápidas e precisas diante de irregularidades, otimizando os processos de fiscalização. Para que se evidenciem, de forma clara e fundamentada, os benefícios concretos que essa inovação pode proporcionar, impõe-se a realização de uma análise comparativa entre os métodos convencionais as sugestões propostas.

Os sensores comumente empregados ainda operam com forte dependência de intervenções humanas periódicas, especialmente no que tange à transmissão dos dados gerados. Nesse sentido, revelam-se limitações de baixa conectividade e elevada exigência de atuação manual. Em decorrência disso, os custos operacionais tendem a se elevar pelas exigências logísticas associadas à locomoção, a manutenção e extração das informações. Em síntese, trata-se de um modelo que depende ainda da demanda recursos humanos especializados em quantidade muitas vezes incompatível com a realidade dos órgãos ambientais.

A principal diferença entre um sensor convencional e um sensor com IoT reside na capacidade de comunicação em tempo real, autonomia e integração com sistemas inteligentes. Destacam-se pela conectividade contínua e automática, utilizando redes *Wi-Fi*, *Bluetooth*, 4G/5G, ou LoRaWAN (*Long Range Wide Area Network*; traduzido como Rede de Longo Alcance e Ampla Área) para enviar informações em tempo real (Almeida, 2022, p. 11-12). Esses dispositivos possibilitam o monitoramento remoto e constante, integrando-se a softwares inteligentes que processam os dados, geram alertas e relatórios automáticos, além de se conectarem a sistemas em nuvem e em Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Nesse sentido, sensores integrados com tecnologia IoT disponibilizam respostas mais rápidas e custos operacionais reduzidos ao oferecerem a capacidade de comunicação a longas distâncias de forma mais eficiente sendo viáveis para aplicações de sensoriamento e controle remotos em diferentes contextos (Almeida, 2022, p. 26). Ademais, os próprios indicam a necessidade de sua calibração ou

reparos, reduzindo ainda mais a intervenção humana. Desse modo, a inovação tecnológica contribui diretamente para enfrentar os entraves da fiscalização ambientais expostos e se enquadra como tecnologia triplamente ganhadora ao garantir respostas ambientais, econômicas e sociais mais eficientes, aumentando a capacidade de monitoramento dos órgãos.

Paralelamente, conforme fora mencionado, a relação entre SIG e IoT se dá no fato que os sensores equipados com IoT realizam a coleta, em tempo real, de dados ambientais e os transmitem diretamente para plataformas analíticas, nesse caso, como o SIG, que integram esses dados, processam e as espacializam para fins de ampliação de monitoramento. Dessa forma, técnicas de sensoriamento com IoT e SIG têm ganhado destaque por permitirem a coleta rápida, frequente e de ampla cobertura, oferecendo boas condições para monitoramento do espaço desejado (Paz; et al, 2021, p. 3).

Sobre o conceito de tecnologia ambiental, evidencia-se que este está intrinsecamente ligado ao desenvolvimento contínuo de ferramentas e sistemas, especialmente *softwares*, que visam otimizar o desempenho na mensuração e no monitoramento de variáveis ambientais. Trata-se, de um processo dinâmico de aprimoramento, progressivamente aperfeiçoados com o intuito de garantir maior precisão, eficiência e eficácia na coleta e análise de dados ambientais, contribuindo de forma significativa para práticas sustentáveis e de gestão responsável dos recursos naturais (Jabbour, 2010, p. 608).

Assim, em constante processo de aprimoramento desde a década de 1970, o SIG consolida-se como plataforma computacional robusta, com capacidade de integrar e representar de forma georreferenciada os dados que lhe são fornecidos, proporcionando uma compreensão sistêmica facilidade em ambientes territorialmente delimitados. Segundo Lima (2024, p. 629) em decorrência desse processo de modernização, os registros cartográficos passaram a ser majoritariamente elaborados em ambiente digital, impulsionados, sobretudo pela consolidação do SIG.

Esse sistema fundamenta-se na sobreposição de múltiplas camadas informacionais, o que lhes confere a capacidade de correlacionar variáveis hidrológicas. A incorporação dos dados oriundos de sensores IoT, sobretudo aqueles voltados ao monitoramento da qualidade da água, potencializa a geração de

mapas temáticos e modelos preditivos precisos, imprescindíveis para ajudar na fundamentação técnica de decisões estratégicas no âmbito da PNRH.

Um SIG, por sua natureza, tem estrutura desenvolvida em cima de *softwares* selecionados. Isso permite que essa tecnologia ganhe destaque ao ser capaz de integrar dados oriundos de múltiplas fontes, incluindo, mas não limitando, àqueles gerados por dispositivos conectados por meio de IoT. Ressalta-se, portanto que o sistema levanta possibilidades de transformação desses dados fornecidos em informações qualificadas, acessíveis e compreensíveis ao usuário. Essa capacidade confere ao SIG um papel estratégico quanto à manipulação de dados em vista que proporciona suporte a atividades de planejamento, análise, gerenciamento e monitoramento (Strauch; Souza, 1998, p.110).

Dessa maneira, segundo Magalhães e Brito (2022, p. 123) o SIG deve ser compreendido como um instrumento estratégico de apoio à gestão e à tomada de decisões, sobretudo no contexto da implementação de políticas públicas ambientais. Com a crescente demanda por acesso facilitado e visualização dinâmica de dados geográficos, impulsionada, em grande medida, pela popularização da internet e pelos avanços tecnológicos digitais, observa-se o fortalecimento e a expansão do sistema apresentado

Em razão disso, dispõe-se que o SINGREH já incorpora, em certa medida, o uso de SIG como ferramenta de suporte técnico e analítico, como o proveito da Base Hidrográfica Ottocodificada pela ANA (Brasil, 2024a). Sua função é de representar topologicamente redes hidrográfica brasileiras, ao organizar os cursos d'água em trechos entre confluências permite gerar dados precisos para a gestão dos recursos hídricos.

Todavia, em algumas instâncias permanece a limitação em plataformas proprietárias, ou seja, estruturas que não são abertas e seu desenvolvido é controlado pela empresa criadora. Embora os *softwares* oferecidos pelas plataformas proprietárias sejam eficientes, demandam custos elevados de licenciamento, manutenção e atualização.

Nesse cenário, destaca-se a relevância da ampliação do uso de *softwares* livres, como exemplo a adoção do QGIS, como alternativa estratégica à gradual substituição de soluções proprietárias. O QGIS é gratuito e de código aberto, no qual o SIG pode se desenvolver, e reúne amplo conjunto de funcionalidades voltadas ao geoprocessamento, à análise espacial e à visualização cartográfica, operando por

meio de uma interface acessível. Com seu código aberto, o *software* possibilita a personalização e o aprimoramento de suas ferramentas, adaptando-se às demandas específicas de cada órgão público e de cada território monitorado.

Em razão da ausência de custos com licenciamento, o QGIS, bem como outras soluções baseadas em *softwares* livres, revela-se como uma alternativa vantajosa em comparação aos sistemas proprietários, sobretudo no âmbito das instituições públicas que operam sob restrições orçamentárias. A utilização desses programas propicia a otimização dos recursos financeiros e amplia a autonomia técnica dos órgãos responsáveis. Nesse cenário, ele já é usado em certas instâncias e, recomenda-se fortemente uma incorporação ainda mais plena desses instrumentos ao escopo funcional do SINGREH, sendo necessário ampliar e institucionalizar seu uso, visto a oportunidade estratégica singular demonstrada para o aperfeiçoamento da governança das águas no Brasil.

Nesse viés, as melhorias tecnológicas apresentadas demandam uma análise criteriosa quanto ao seu grau de maturidade, assegurando dessa maneira que estejam adequadamente preparadas para responder aos desafios operacionais enfrentados pelos órgãos diante da gestão hídrica contemporânea. Dessa maneira, destaca-se a relevância da aplicação dos *Technology Readiness Levels* (TRL; traduzido como níveis de prontidão tecnológica) como ferramenta capaz de aferir o estágio evolutivo e sua viabilidade de integração ao aparato público. Como observa Bergamini (2020, p. 10):

Trata-se de uma escala criada pela NASA com a finalidade de estabelecer níveis de prontidão tecnológica na área aeroespacial. Entretanto, com o passar do tempo, essa metodologia foi adotada por outras áreas que trabalham com pesquisa e desenvolvimento de produtos tecnológicos para a inovação (Bergamini, 2020, p. 10).

Desenvolvida na década de 1970 por Stan Sadin, engenheiro da NASA (traduzido como Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço) a TRL ultrapassou os limites do setor aeroespacial e consolidou-se como referência para avaliar evoluções tecnológicas, inclusive na esfera pública (Veras; Pereira, F., 2022). Sua aplicação no campo da gestão hídrica tem função de orientar decisões técnicas e administrativas, assegurando que tecnologias emergentes sejam incorporadas ao aparato institucional de forma segura e eficiente. Assim, a utilização dos níveis de

prontidão tecnológica reforça o compromisso com uma modernização responsável e alinhada às diretrizes da PNRH.

Nesse sentido, a escala TRL constitui-se como uma ferramenta metodológica para a aferição do estágio de desenvolvimento tecnológico, permitindo avaliar a maturidade de uma inovação desde sua concepção inicial até sua plena aplicação em contextos operacionais. Mais do que um requisito procedimental essa verificação tem como finalidade assegurar uma relação equilibrada entre os custos envolvidos, os riscos assumidos e a eficácia da tecnologia avaliada. Trata-se de uma medida orientada à racionalização de investimentos, à prevenção de iniciativas tecnológicas prematuras ou inadequadas e à promoção de soluções que apresentem potencial real (Bergamini, 2020, p. 13-14).

A consolidação da TRL permitiu o estabelecimento de uma escala padronizada composta por nove níveis progressivos, os quais representam etapas distintas do desenvolvimento tecnológico, conforme parâmetros definidos pela norma ISO 16290:2013 (FINEP, 2022). Cada nível reflete o grau de maturidade alcançado por uma determinada tecnologia em um dado momento, sendo o TRL 1 o mais elementar e o TRL 9 o mais elevado, caracterizando-se pela aplicação comprovada da tecnologia em ambiente operacional real (NASA, 2023. tradução nossa). Entre esses extremos, os demais níveis (de TRL 2 a TRL 8) abarcam fases como formulação do conceito, validação experimental em laboratório, demonstração em ambiente relevante e integração ao sistema final.

Quadro 2. Definição de nível de maturidade tecnológica (TRL)

Nível	Aplicabilidade
TRL9	Sistema totalmente apto. Operando com sucesso no ambiente real.
TRL8	Sistema concluído, testado com sucesso no ambiente pretendido. Em fase final de configuração final.
TRL7	Sistema em fase de teste no ambiente pretendido. Últimas correções.
TRL6	Sistema com desempenho validado conforme previsões analíticas.
TRL5	Sistema em fase de testes em ambiente simulado. Resultados documentados.
TRL4	Sistema em fase de testes em laboratório. Verificação dos resultados esperados.
TRL3	Sistema em fase de testes iniciais de suas

	funções básicas.
TRL2	Sistema em fase teórica. Identificação das tecnologias usadas.
TRL1	Sistema em conceito inicial. Relatório de riscos.

Destaca-se o SIG e o próprio *software* livre sugerido, o QGIS, se encontram consolidados no nível TRL 9, indicando plena operacionalidade. Sua aplicação voltada à gestão de recursos hídricos é particularmente relevante, pois esses sistemas proporcionam facilidades na execução de atividades como o planejamento, a análise, o gerenciamento e a monitoramento (Strauch; Souza, 1998 p.110). Ao permitir a integração e espacialização de variáveis ambientais, facilitam a manipulação de dados e contribuem para a identificação de áreas críticas pelo mapeamento hidrográfico. Sua elevada confiabilidade, aliada à interoperabilidade com outras tecnologias emergentes, como sensores IoT, reforça seu papel no monitoramento do uso da água.

Desse modo, a ligação com os sensores IoT têm se destacado devido a sua capacidade de coleta de informações automática com maior exatidão e regularidade do que os sensores mais básicos, tendo formas de transmissão dos dados obtidos em tempo real (Barros; et al., 2025, p. 4). O que permite uma resposta rápida a eventuais impactos ambientais, facilitando a atuação dos órgãos.

Ressalta-se que os sensores de IoT, principalmente os voltados à aferição da qualidade da água, também atingem o nível TRL 9, como por exemplo os dispositivo desenvolvido pela empresa Libelium (Libelium, 2020). O nível demonstrando expõe maturidade suficiente para operação contínua em ambientes reais, garantindo a estabilidade e a fidedignidade dos dados coletados, minimizando intervenções técnicas e assegurando o monitoramento ambiental de forma ininterrupta.

Portanto, a incorporação das soluções tecnológicas demonstradas no monitoramento dos recursos hídricos representa um avanço incontestável para a plena efetivação dos preceitos delineados pela PNRH. Ao mitigar as dificuldades enfrentadas pelos órgãos fiscalizadores, especialmente no que tange à insuficiência crônica de dados constantemente atualizados e à limitada capacidade de fiscalização em tempo real, assim como falta de recursos financeiros, tais ferramentas promovem um incremento na celeridade, precisão e abrangência da

atuação governamental. A implementação dessas tecnologias novas permite a obtenção de informações que ultrapassam os limites das inspeções tradicionais.

Assim, a modernização dos instrumentos potencializa significativamente a capacidade estatal de resposta diante dos impactos provocados pelas atividades agroindustriais, que exercem pressão constante e crescente sobre a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos. Dessa forma, instaura-se um patamar superior de eficácia e efetividade na salvaguarda dos recursos hídricos, bem como no combate às múltiplas formas de degradação ambiental, promovendo um ambiente mais resiliente frente aos desafios atuais.

Por conseguinte, reafirma-se o papel decisivo das soluções tecnológicas como vetor transformador e propulsor do aprimoramento das políticas públicas ambientais, sinalizando um novo paradigma na administração dos recursos hídricos nacionais, que alia tecnologia e inovação a fim de garantir a perpetuidade e a qualidade dos corpos d'água, essenciais à vida, ao desenvolvimento sustentável e ao meio ambiente ecologicamente equilibrado.

5. CONCLUSÃO

A presente pesquisa destacou a imprescindibilidade do desenvolvimento sustentável como instrumento para garantir o meio ambiente ecologicamente equilibrado. Essa relação se dá como fundamento estrutural, já que não há possibilidade de se pensar em um modelo de seguridade ambiental desvinculado dos limites ecológicos que garantem a continuidade da vida.

A fim de resguardar esse modelo, emergem princípios que orientam o Direito Ambiental. Desse modo, os princípios da prevenção e precaução assumem papel estratégico na contenção de danos, tratando, portanto, de uma mecânica que impõe que a ausência ou insuficiência de dados não pode ser utilizada como justificativa para a omissão salvaguarda da qualidade ambiental. Sua classificação depende do grau de certeza quanto à extensão do dano e ambos consolidam uma diretriz que desloca o paradigma da reparação para a adoção de medidas protetivas.

Por conseguinte, o princípio do poluidor pagador, manifesta-se como elemento indispensável. Sua aplicação se projeta sobre toda a cadeia de decisões que envolvem o uso dos recursos naturais e o gerenciamento dos riscos ambientais, na medida em que impõe que o agente causador do dano suporte os encargos decorrentes de suas atividades.

Tal compreensão adquire especial relevância ao considerar que os impactos ambientais não se restringem ao dano ecológico, mas repercutem diretamente sobre as populações social e economicamente vulneráveis, intensificando desigualdades e ameaçando direitos fundamentais. Assim, a correlação direta entre a proteção ambiental e a promoção da dignidade humana torna-se ainda mais evidente quando se considera os impactos deletérios da poluição hídrica sobre essas populações.

Soma-se a esse cenário uma lógica predominante, na sociedade em geral, como um todo de priorizar problemas constantes, ou seja, crises visíveis e imediatas, em detrimento da atenção a problemas difusos e de evolução lenta, como por exemplo, os impactos ambientais, em casos em que este problema não resulta em desastres de prontidão, necessariamente. Por serem menos perceptíveis ao curto prazo da vida humana, tendem a ser negligenciados, o que contribui para sua invisibilização e para o agravamento silencioso de riscos ecológicos cumulativos.

A partir dessa realidade, conforme já demonstrado, a origem e os tipos de impactos ambientais devem ser distinguidos. Tal diferenciação é crucial para a correta formulação de políticas públicas e suas respectivas atuações adequadas, assim como para elaborar respostas eficazes que considerem as particularidades inerentes a cada contexto, possibilitando intervenções mais direcionadas e satisfatórias na mitigação dos danos ambientais.

Nesse cenário, emerge a centralidade da governança hídrica, pautada na Lei nº 9.433/97, enquanto marco normativo ao incorporar, com seus princípios norteadores, noções que orientam uma gestão mais equitativa e completa, que reflita a enorme responsabilidade e cuidado que incide sobre a gestão desse recurso essencial. Sua trajetória cronológica confirma seu caráter dinâmico, refletido nas sucessivas atualizações pelas quais tem passado desde sua vigência. Esse dinamismo indica que o ordenamento jurídico deve ser compreendido como organismo vivo, adaptável às transformações contemporâneas, capaz de responder aos desafios de cada atualidade de forma contextualizada.

No entanto, a pesquisa permitiu constatar que, embora a Lei das Águas disponha de uma estrutura normativa robusta e sofisticada, sua efetividade na aplicação concreta encontra-se, muitas vezes, limitada. A carência de recursos humanos e financeiros, a sobreposição de competências, os entraves burocráticos e a influência advinda das pressões de setores de grande impacto, como a agroindústria, configuram obstáculos significativos para a plenitude dos dispositivos previstos.

Diante desse panorama, percebe-se que a mera existência de marcos normativos não resta suficiente para assegurar a proteção plena dos recursos hídricos e, conseqüentemente, do próprio gozo de direito ao meio ambiente equilibrado. É necessário que tais normas se traduzam em práticas reais consistentes, garantidas por mecanismos eficazes de fiscalização e controle.

É nesse contexto que a incorporação de soluções tecnológicas modernas se revela como uma possível alternativa. O uso de aparato atualizado potencializa a capacidade estatal de resposta, funcionando como apoio à capacidade atual dos órgãos responsáveis. Sendo uma forma de mitigação dos entraves enfrentados, não substitui a necessidade de constante inovação e fortalecimento institucional.

Diante do exposto, conclui-se que a proteção dos recursos hídricos e, por extensão, dos direitos fundamentais, não se esgota na existência de garantias

legais, por mais indispensáveis que sejam, a presença de um sistema integrado e a adoção dos melhores meios possíveis para controlar, fiscalizar e prevenir, se tornam o verdadeiro ponto. Em outras palavras, para que o sistema normativo não permaneça como simples disposições, faz-se necessária a articulação harmônica entre legislação, fiscalização, atuação governamental e mecanismos de controle efetivos que concretizem sua efetividade

Assim, o poder público, por sua vez, deve assumir uma postura proativa, pautada pela centralidade da sustentabilidade como princípio estruturante. Não se trata apenas de lidar com a extensão ou com as consequências dos impactos consumados, mas de transformar estruturalmente os modos de uso, apropriação e gestão da água, assim como na elaboração de normativas que permitam a exigência, por parte dos particulares, da adoção de tecnologias como forma de possibilitar processos de monitoramento e fiscalização práticos e melhorados, em consonância com os limites de regeneração do planeta e com os imperativos éticos da justiça socioambiental.

Isso impõe, portanto, o fortalecimento dos sistemas institucionais responsáveis pela gestão dos recursos hídricos, em especial o SINGREH, cuja atuação ainda se depara com entraves. Entre os principais desafios, destacam-se a escassez crônica de recursos financeiros, a carência de pessoal técnico qualificado, a fragilidade na articulação entre os diferentes entes federativos e, com a pesquisa, nota-se adicionalmente a ausência de sistemas integrados capazes de promover uma gestão de dados eficiente, célere e padronizada.

Essa desarticulação compromete a fluidez dos processos decisórios, resultando na morosidade de ações preventivas e corretivas. Como consequência, a eficácia da PNRH torna-se limitada frente aos desafios contemporâneos, especialmente no contexto dos impactos gerados pela atividade agroindustrial. Nesse cenário, mostra-se indispensável a incorporação plena de tecnologias emergentes, capazes de conferir maior agilidade e precisão às atividades de monitoramento e fiscalização.

Nesse contexto, os sensores inteligentes integrados aos SIGs, com destaque aos gratuitos e de acesso público, despontam como instrumentos estratégicos para ampliar a coleta e o cruzamento de dados. Esses recursos possibilitam o monitoramento da qualidade da água, conferindo maior robustez e precisão às ações dos órgãos. Trata-se, portanto, de uma via que, se incorporada de

forma adequada às práticas institucionais, pode suprir fragilidades observadas na gestão dos recursos hídricos.

Diante disso, conclui-se que, somente quando a sustentabilidade deixar de ser um ideal periférico e passar a ocupar verdadeiramente o núcleo basilar nacional, será possível garantir, de forma concreta, o direito intergeracional a um meio ambiente equilibrado. A proteção da água, nesse sentido, é um imperativo civilizatório que condiciona a continuidade da vida em todas as suas formas e a preservação da dignidade humana como valor supremo do Estado Democrático de Direito.

REFERÊNCIAS

- ALTH, Fernando Mussa Abujamra; ROTHBARTH, Renata. O estatuto jurídico das águas no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 29, n. 84, p. 163-177, ago. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-40142015000200011>>. Acesso em: 31 mar. 2025.
- ALMEIDA, Nelson Camilo de. **Rede híbrida LoRa em malha - LoRaWAN para aplicações de Internet das Coisas**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2022. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/238527>>. Acesso em: 17 maio 2025.
- ALVARES, Mariell Antonini Dias. Princípio da precaução como instrumento adequado para resolução dos problemas ambientais de segunda geração. **Revista de Direito Ambiental**, São Paulo, v. 18, n. 71, p. 35-54, jul./set. 2013.
- AMORIM, Amanda Trindade. Poluição dos recursos hídricos e políticas para proteção dos recursos hídricos. **Revista Geopauta**, Vitória da Conquista, v. 8, p. 01-13, nov. 2024. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/geop/a/5hMLDbgKq9Vpjwx9sQbBJ7H/abstract/?lang=pt>> Acesso em: 1 maio 2025.
- ARRAES, Ronaldo de Albuquerque e; MARIANO, Francisca Zilania; SIMONASSI, Andrei Gomes. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 50, n. 1, p. 119-140, jan./mar. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-20032012000100007>>. Acesso em: 23 abr. 2025.
- ARRUDA, Carmen Silvia Lima de. Princípios do direito ambiental. **Revista CEJ**, Brasília, v. 18, n. 62, p. 96-107, jan./abr. 2014. Disponível em: <<https://bdjur.stj.jus.br/handle/2011/115630>>. Acesso em: 23 mar. 2025.
- AYALA, Patryck de Araújo; LEITE, José Rubens Morato. A transformação ecológica do Direito de danos e a imprescritibilidade do dano ambiental na jurisprudência brasileira. **Seqüência: Estudos Jurídicos e Políticos**, Florianópolis, v. 43, n. 91, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.5007/2177-7055.2022.e85363>>. Acesso em: 22 abr. 2025.
- BALASUBRAMANIAM, Prasad; JAYAPRAHASAM, Senthil Kumar; YUVARAJ, Suresh; VIJAYAKUMAR, Mohanraj. Smart IoT sensors revolutionize water quality: predicting algae growth with advanced neural networks for making concrete. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 3, jul. 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2024-0344>>. Acesso em: 16 maio 2025.
- BARROS, Natália Nakamura; MONTALVÃO, Aran; RUSCHEL, Regina Coeli; XIMENES, Talia Simões dos Santos. Monitoramento por IoT para avaliação de consumo de energia e água de ambiente laboratorial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 25, n. edição especial, jan./ dez. 2025. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1590/s1678-86212025000100843>>. Acesso em: 16 maio 2025.

BATALHA, Mário Otávio. Gestão do sistema agroindustrial: a formação de recursos humanos para o agribusiness brasileiro. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 2, n. 3, p. 321-330, dez. 1995. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-530X1995000300006>>. Acesso em: 23 abr. 2025.

BERGAMINI, Ricardo Luiz. Avaliação do Nível de Maturidade de Tecnologia (TRL) nas Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) com o modelo adaptado da AFRL - Air Force Research Laboratory. **Revista de Administração de Roraima**, [S. l.], v. 10, p. 01-28, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.18227/2237-8057rarr.v10i0.5738>>. Acesso em: 18 maio 2025.

BERTONCINI, Carla; PAVELSKI, Bruna Guesso Scarmagnan. Direito ambiental: interconectividade e reflexão a partir de Lévinas. **Veredas do Direito**, [S. l.], v. 21, fev. 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.18623/rvd.v21.2583-pt-br>>. Acesso em: 22 abr. 2025.

BITENCOURT, Caroline Müller; PASE, Eduarda Simonetti. A necessária relação entre democracia e controle social: discutindo os possíveis reflexos de uma democracia “não amadurecida” na efetivação do controle social da administração pública. **Revista de Investigações Constitucionais**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 293-311, jan./abr. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.5380/rinc.v2i1.43663>>. Acesso em: 3 maio 2025.

BRAGA, Benedito P. F.; FLECHA, Rodrigo; PENA, Dilma S.; KELMAN, Jerson. Pacto federativo e gestão de águas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 17-42, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200003>>. Acesso em 10 maio 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Base de dados geoespaciais da ANA permite gestão mais eficiente das bacias hidrográficas**. 2024a. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/base-de-dados-geoespaciais-da-ana-permite-gestao-mais-eficiente-das-bacias-hidrograficas>>. Acesso em: 16 maio 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe anual 2024**. Brasília, p. 1-166, 2024b. Disponível em: <https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/106160>. Acesso em: 20 maio 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF:Presidência da República, 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 31 maio 2025.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Brasília, DF:Presidência da República, 2020. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm>. Acesso em: 10 mar. 2025.

BRASIL. **Lei nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023.** Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem, a rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e das embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, de produtos de controle ambiental, de seus produtos técnicos e afins; revoga as Leis nºs 7.802, de 11 de julho de 1989, e 9.974, de 6 de junho de 2000, e partes de anexos das Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 9.782, de 26 de janeiro de 1999. Brasília, DF:Presidência da República, 2023. Disponível em:<https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/l14785.htm>. Acesso em: 30 maio 2025.

BRASIL. **Lei nº 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. Brasília, DF:Presidência da República, 1981.Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 14 abr. 2025.

BRASIL. **Lei nº 7.347, de 24 de julho de 1985.** Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico, e dá outras providências. Brasília, DF:Presidência da República, 1985. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7347orig.htm>. Acesso em: 18 maio 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF:Presidência da República, 1997. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 7 mar. 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.** Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá

outras providências. Brasília, DF:Presidência da República, 1998. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm>. Acesso em: 5 mar. 2025.

BRILHANTE, Ogenis Magno; CALDAS, Luiz Querino de Araujo. **Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.7476/9788575412411>>. Acesso em: 21 abr. 2025.

BRUZACA, Ruan Didier; NOGUEIRA, Danielle Christine Barros. O fim do direito humano à alimentação e à nutrição adequadas. **Veredas do Direito**, [S. l.], v. 20, jul. 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.18623/rvd.v20.2554>>. Acesso em: 2 maio 2025.

CANOTILHO, José Joaquim Gomes; LEITE, José Rubens Morato. **Direito Constitucional Ambiental Brasileiro**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

CARACIOLO, Patrícia Maria de Magalhães. **A prática do reúso de águas: possibilidade de estímulo pela política nacional de recursos hídricos e de instrumento adicional de gestão**. 2008. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/3193>>. Acesso em: 3 mar. 2025.

CASA, Gabriela Mesa; ZANINI, Cristiane; VASCONCELLOS, Rodrigo da Costa. Os princípios do poluidor pagador e do usuário pagador aplicados à inovação tecnológica. **Revista eletrônica do Curso de Direito da UFSM**. Santa Maria, v. 8, p. 286-302, abr. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/198136948273>>. Acesso em: 11 abr. 2025.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 743-753, ago. 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400019>>. Acesso em: 3 maio 2025.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=745>. Acesso em: 14 abr. 2025.

COSTA, Adriana Lustosa da; MERTENS, Frédéric. Governança, redes e capital social no plenário do Conselho Nacional de Recursos Hídricos do Brasil. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 153-170, jul./set. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC865V1832015>>. Acesso em: 12 maio 2025.

COSTA, Andre Felipe Sosnierz; TEIXEIRA, Caio Mendes; SILVA, Crislaine Santos; NASCIMENTO, Jéssica Alves do; OLIVEIRA, Mariana Menezes; QUEIROZ, Yasmin de Oliveira; SILVA, Michelle de Jesus. Recursos hídricos. **Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas**, Sergipe, v. 01, n. 15, p. 67-73, out. 2012. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/201>>. Acesso em: 10 fev. 2025.

COSTA, Cinthia Cabral da; GUILHOTO, Joaquim José Martins; IMORI, Denise. Importância dos setores agroindustriais na geração de renda e emprego para a economia brasileira. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 51, n. 4, p. 797-814, out./dez. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-20032013000400010>>. Acesso em: 23 abr. 2025.

COSTA, David de Andrade; ASSUMPÇÃO, Rafaela dos Santos Facchetti Vinhaes; AZEVEDO, José Paulo Soares de; SANTOS, Marco Aurélio dos. Dos instrumentos de gestão de recursos hídricos - o Enquadramento - como ferramenta para reabilitação de rios. **Saúde em Debate**, Rio de Janeiro, v. 43, n. especial 3, p. 35-50, dez. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0103-11042019S303>>. Acesso em: 13 maio 2025.

COSTA, Pável Correia da. **Educação ambiental e conservação de recursos hídricos: a problemática do processo de ensino-aprendizagem do Instituto Federal Goiano - campus Urutaí ao córrego Palmital**. 2012. 96 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Educação Agrícola) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012. Disponível em: <<https://rima.ufrj.br/jspui/handle/20.500.14407/12319>>. Acesso em: 29. mar. 2025

CRUTZEN, Paul; STOERMER, Eugene. O Antropoceno. Tradução de João Ribeiro Mendes. **Anthropocenica: Revista de Estudos do Antropoceno e Ecocrítica**, [S./], v. 1, nov. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.21814/anthropocenica.3095>>. Acesso em 13 abr. 2025

CUNHA, Estela Pamplona. O direito à água e ao meio ambiente ecologicamente equilibrado na ordem constitucional brasileira. **Revista do CNMP**, n. 7, p. 37-58, 19 jun. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.36662/revistadocnmp.i7.101>>. Acesso em: 5 mar. 2025.

DANTAS, Juliana Jota. Ao Estado de Direito Ambiental: caminhos para superação da crise de efetividade no Direito Constitucional do meio ambiente brasileiro. **Veredas do Direito**, [S. /], v. 20, p. 01-30, jul. 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.18623/rvd.v20.2515>>. Acesso em: 27 maio 2025.

DINIZ, Beatriz Cassia Ribeiro; ARAÚJO; Leonardo Sousa; ALVES. Anatercia Ferreira; LIMA, Michael Douglas Roque; QUEIROZ, Cleonilde da Conceição Silva. Análise da legislação ambiental brasileira quanto a recuperação de áreas degradadas. **Revista Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 17, n. 8, p. 01-17, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.55905/revconv.17n.8-335>>. Acesso em: 6 mar. 2025.

FERREIRA, Adriana Passos; SIMÕES, Helena Cristina Guimaraes Queiroz; AMORAS, Fernando Castro. Termos de Ajustamento de Conduta Ambiental na Amazônia. **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v. 14, n. 28, p. 167-193, jan./abr. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.18623/rvd.v14i28.939>>. Acesso em 30 maio 2025.

FIGUEIRÊDO, Maria Cléia Brito de; TEIXEIRA, Adunias S.; ARAÚJO, Lúcia de Fátima Pereira; ROSA, Morsyleide Freitas; PAULINO, Walt Disney; MOTA, Suetônio; ARAÚJO, José Carlos. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S. /], v. 12, n. 4, p. 399-409,

out./dez. 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522007000400006>>. Acesso em: 2 maio 2025.

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS (FINEP). **Anexo 7 - Definição de Nível de Maturidade Tecnológica (TRL)**. SELEÇÃO PÚBLICA MCTI/FINEP/FNDCT - Subvenção Econômica à Inovação em Fluxo Contínuo. Parceria com Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações; Governo Federal. fev. 2022. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/chamadas-publicas/2022/15_07_2022_EL_Anexo_7-Definicao_do_Nivel_de_Maturidade_Tecnologica.pdf>. Acesso em 19 maio 2025.

GOMES, Ana Paula Rozado; GADOTTI, Gizele Ingrid; MEDRONHA, Carolina Pinz; FIRMINO, Lílian de Queiroz; GARCIA, Priscila Pedra; ÁVILA, Lucas Gomes. Análise espaço temporal dos Termos de Ajustamento de Conduta do Estado do Rio Grande do Sul na tutela do meio ambiente. **Revista Brasileira de Criminalística**, [S. l.], v. 13, n. 5, p. 07-34, dez. 2024. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15260/rbc.v13i5.847>>. Acesso em: 27 maio 2025.

GOMES, Jésus de Lisboa; BARBIERI, José Carlos. Gerenciamento de recursos hídricos no Brasil e no estado de São Paulo: um novo modelo de política pública. **Cadernos EBAPE.BR: FGV**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 3, p. 01-21, dez. 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1679-39512004000300002>>. Acesso em: 12 maio 2025.

GUERRA, Sérgio; SALINAS, Natasha Schmitt Caccia; GOMES, Lucas Thevenard. As agências reguladoras em resposta à crise da COVID-19. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 54, n. 4, p. 874-897, jul./ago. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0034-761220200321>>. Acesso em: 26 maio 2025.

GUIMARÃES, Patrícia Borba Vilar. **Ordem econômica e política nacional de recursos hídricos: hermenêutica constitucional para o desenvolvimento sustentável**. 2008. Dissertação (Mestrado em Constituição e Garantias de Direitos) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/items/e9d56478-03ce-4dbf-a531-687cccdcfcd4>>. Acesso em: 29. mar. 2025

GUTIERREZ, Raffaella Loffredo; FERNANDES, Valdir; RAUEN, William Bonino. Princípios protetor-recebedor e poluidor-pagador como instrumentos de incentivo à redução do consumo de água residencial no município de Curitiba (PR). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Curitiba, v. 22, n. 5, p. 899-909, set./out. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522017151387>>. Acesso em: 30 mar. 2025.

HUPFFER, Haide M.; WEYERMÜLLER, André R.; WACLAWOVSKY, William G. Uma análise sistêmica do princípio do protetor receptor na institucionalização de programas de compensação por serviços ambientais. **Revista Ambiente e Sociedade**, v. 14, n. 01, p. 95-114, jan./jun. 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1414-753X2011000100006>>. Acesso em: 30 mar. 2025.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas do espaço rural brasileiro**. Rio de Janeiro, 2019, p. 207-2014 Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/apps/atlasrural/pdfs/07_00_Texto.pdf>. Acesso em: 3 maio 2025.

JABBOUR, Charbel José Chiappetta. Tecnologias ambientais: em busca de um significado. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 44, n. 3, p. 591-611, maio/jun. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0034-76122010000300003>>. Acesso em: 18 maio 2025.

JABORANDY, Clara Cardoso Machado; SILVA, Raquel Torres de Brito; MOREIRA JÚNIOR, Orlando Rochadel. Uma análise crítica do desastre de Mariana/MG. **Veredas do Direito**, [S. l.], v. 20, p. 01-21, jul. 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.18623/rvd.v20.2500>>. Acesso em: 1 maio 2025.

LEITE, Maria Laís dos Santos; LEITE, Jäder Ferreira. (In)segurança alimentar e agricultura familiar: políticas públicas como estratégia de superação da fome. **Revista Katálisis**, Florianópolis, v. 25, n. 3, p. 528-538, set./dez. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1982-0259.2022.e86341>>. Acesso em: 1 maio 2025.

LIBANIO, Paulo Augusto Cunha. O uso de estratégias focadas em resultados para o controle da poluição hídrica no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S. l.], v.21, n. 4, p. 731-738, out./dez. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522016121578>>. Acesso em 7 mar. 2025

LIBELIUM. **Water Quality Sensors Overview**. 2020. Disponível em: <https://www.libelium.com/wp-content/uploads/2020/06/Water-Quality-Sensors-Overview_Libelium.pdf>. Acesso em: 19 maio 2025.

LIMA, Marco Vinícius Costa. Cartografia. In: PORTO-GONÇALVES, Carlos Walter; MALHEIRO, Bruno Cezar Pereira; BARCELOS, Eduardo; MONTENEGRO, Jorge; GÓMEZ, Lina María Hurtado; PÉREZ, Mercedes Solá; CRUZ, Valter do Carmo (org.). **Dicionário de ecologia política**. 1. ed. São Paulo: Consequência Editorial, 2024. p. 629-636.

LOPES, Carla Vanessa Alves; ALBUQUERQUE, Guilherme Souza Cavalcanti de;. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde Debate**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 117, p. 518-534, abr./jun. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0103-1104201811714>>. Acesso em: 25 abr. 2025.

MACHADO, Antonio Thomaz da Mata. A construção de um programa de revitalização na bacia do Rio São Francisco. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 195-210, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200013>>. Acesso em: 25 mar. 2025.

MAGALHÃES, Iara de Araújo; BRITO, Patrícia Lustosa. Sistema Georreferenciado de apoio à avaliação da infraestrutura de cursos universitários. **Avaliação**, Campinas, v. 27, n. 1, p. 118-136, mar. 2022. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S1414-40772022000100007>>. Acesso em: 17 maio 2025.

MAPBIOMAS (Brasil). **Relatório Anual de Desmatamento no Brasil (RAD) em 2021**. São Paulo: MapBiomas, 2022. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/2022/07/18/desmatamento-em-2021-aumentou-20-com-crescimento-em-todos-os-biomas/>>. Acesso em: 28 maio 2025.

MARTINE, George; ALVES, José Eustáquio Diniz. Economia, sociedade e meio ambiente no século 21: tripé ou trilema da sustentabilidade? **Revista Brasileira de Estudos de População**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 3, p. 433-460, set./dez. 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbepop/a/pXt5ZtxqShgBKDJVTDJfWRn/>>. Acesso em: 29 abr. 2025.

MATA-LIMA, Herlander; ALVINO-BORBA, Andreilcy; PINHEIRO, Adilson; MATA-LIMA, Abel; ALMEIDA, José Antônio. Impactos dos desastres naturais nos sistemas ambiental e socioeconômico: o que faz a diferença? **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 45-64, jul./set. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1414-753X2013000300004>>. Acesso em: 22 abr. 2025.

MEDEIROS, Leandro Peixoto. O Princípio da Prevenção sob o Enfoque Ambiental e da Saúde: um Imperativo Sociodemocrático. **Direito Público**, [S. l.], v. 10, n. 51, p. 51-65, maio/jun. 2013. Disponível em: <<https://www.portaldeperiodicos.idp.edu.br/direitopublico/article/view/2247>>. Acesso em: 11 abr. 2025

MORAES, Danielle Serra de Lima; JORDÃO, Berenice Quinzani. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, [S. l.], v. 36, n. 3, p. 370-374, jun. 2002. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S0034-89102002000300018>>. Acesso em: 2 maio 2025.

MORAES, Kamila Guimarães de. A problemática ambiental como fundamento para uma nova concepção pedagógica: educação ambiental formal como práxis libertadora. **Revista de Direito Ambiental**, São Paulo, v. 17, n. 67, p. 147-170, jul./set. 2012.

MORAIS, José Luciano Mendonça; FADUL, Élvia; CERQUEIRA, Lucas Santos. Limites e desafios na gestão de recursos hídricos por comitês de bacias hidrográficas: um estudo nos estados do Nordeste do Brasil. **Revista Eletrônica de Administração**, Porto Alegre, v. 24, n. 01, p. 238-264, jan./abr. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1413-2311.187.67528>>. Acesso em: 12 maio 2025.

MOREIRA, Richard Eustáquio de Assis. Deslocamentos induzidos por desastres relacionados à chuva no Brasil entre 2013 e 2022. **Revista Interdisciplinar da Mobilidade Humana**, [S. l.], v. 32, p. 01-18, jul. 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1980-858525038800032206>>. Acesso em: 2 maio 2025.

National Aeronautics and Space Administration (Washington.) **Technology readiness levels**. Por MANNING, Catherine G. set. 2023. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/technology-readiness-levels/>>. Acesso em: 18 maio 2025.

NOSCHANG, Patrícia Grazziotin; SCHELEDER, Adriana Fasolo Pilati. A (In)sustentabilidade Hídrica Global e o Direito Humano à Água. **Revista Sequência**, Florianópolis, v. 39, n. 79, p. 119-138, ago. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.5007/2177-7055.2018v39n79p119>>. Acesso em: 6. mar. 2025

OLIVEIRA, Pedro Rodrigues; ALMEIDA, Alexandre Nunes de; BRAGAGNOLO, Cassiano; FARIA, Weslem Rodrigues. A relação entre a estrutura fundiária e o produto no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [S. l.], v. 62, n. 4, p.

01-20, 2024. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2023.289004>>. Acesso em: 23 abr. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos em 2019: Não deixar ninguém para trás - fatos e dados**. Paris: UNESCO, 2019. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/08/RELAT-1.pdf>> Acesso em: 23 mar. 2025.

PASTORE, Maria Chiara. **Re-interpreting the Relationship Between Water and Urban Planning: The Case of Dar es Salaam**. 1. ed. Abingdon: Routledge, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.4324/9781315624587>>. Acesso em: 24 mar. 2025.

PATRÍCIO, Zuleica Maria; POMPEO, César Augusto; SIERVI, Elizabeth Maria Campanella de. A política Nacional de Recursos Hídricos e a Política Nacional de Promoção da Saúde no Contexto de Formação de Gestores Públicos. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 21, n. 2, p. 479-491, jun. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-12902012000200020>> Acesso em: 31. mar. 2025

PAZ, Otacílio Lopes de Souza da; VIKOU, Sidney Vincent de Paul; PILATTI, Daiane Maria; OLIVEIRA, Marianne; PAULA, Eduardo Vedor de. Análise da eficiência do uso de aeronaves remotamente pilotadas no mapeamento de solo exposto em manguezais urbanos. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 33, p. 01-17, jul. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.14393/SN-v33-2021-59586>>. Acesso em: 16 maio 2025.

PEREIRA, Beatriz de França Marcondes; ALVES, Bruna Monteiro; MEDEIROS, Mayara Pereira; PEREIRA, Rebeca Maria. Contaminação no lençol freático, rios, lagos e lagoas do Brasil por agrotóxicos. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 8, n. 7, p. 863-874, jul. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.51891/rease.v8i7.6235>>. Acesso em: 28 maio 2025.

PEREIRA, Marco Alésio Figueiredo; BARBIEIRO, Bruno Lippo; QUEVEDO, Daniela Muller de. Importância do monitoramento e disponibilização de dados hidrológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 23, n. 32, p. 308-320, fev. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-43458>>. Acesso em: 12 maio 2025.

PORTO, Marcelo Firpo; PACHECO, Tania; LEROY, Jean Pierre. **Injustiça ambiental e saúde no Brasil: O Mapa de Conflitos**. Rio de Janeiro: Fiocruz. 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/327128590_Injustica_ambiental_e_saude_no_Brasil_o_Mapa_de_Conflitos>. Acesso em: 29. mar. 2025

PORTO, Monica F. A.; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, jun. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>>. Acesso em: 10 maio 2025.

POZZA, Cassiane Bayerl. **Sustentabilidade na gestão de recursos hídricos: cenário do sistema nacional de abastecimento**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Universidade Tecnológica Federal do

Paraná, Pato Branco, 2019. Disponível em:
<<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4526>>. Acesso em: 6 mar. 2025.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 65-92, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-40142012000100006>>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SANTIN, Janaína Rigo; GOELLNER, Emanuelle. A Gestão dos Recursos Hídricos e a Cobrança pelo seu Uso. **Revista Sequência**, Florianópolis, v. 34, n. 67, p. 199-221, dez. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.5007/2177-7055.2013v34n67p199>>. Acesso em: 9 maio 2025.

SANTOS, Everson de Oliveira; MEDEIROS, Paulo Ricardo Petter. A ação antrópica e o processo de eutrofização no Rio Paraíba do Meio. **Sociedade e Natureza**. Uberlândia, v. 35, n. 1, p. 01-13. jan. 2023. Disponível em:
<<https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-66441>>. Acesso em: 3 maio 2025.

SANTOS, Rafael Rocha Rodrigues dos. **Sistema de fiscalização da Agência Nacional de Águas**. 2013. Relatório de Estágio Supervisionado (Graduação em Gestão do Agronegócio) - Universidade de Brasília, Planaltina, 2013. Disponível em: <<https://bdm.unb.br/handle/10483/6705>>. Acesso em: 26 maio 2025.

SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. Deveres fundamentais ambientais: a natureza de direito-dever da norma jusfundamental ambiental. **Revista de Direito Ambiental**. São Paulo, v. 17, n. 67, p. 11-70, jul./set. 2012.

SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Direito Constitucional Ecológico - Constituição, direitos fundamentais e proteção da natureza**. 7 ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2021.

SETTI, Arnaldo Augusto; LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck; CHAVES, Adriana Goretti de Miranda; PEREIRA, Isabella de Castro. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Agência Nacional de Energia Elétrica, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2 ed, [S. l.], 2001. Disponível em:
<<https://biblioteca.aneel.gov.br/acervo/detalhe/14274>>. Acesso em: 4 mar. 2025.

SILVA, Juniele Martins; HESPANHOL, Rosangela Aparecida de Medeiros. Discussão sobre comunidade e características das comunidades rurais no município de Catalão (GO). **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 361-374, set./dez. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1982-451320160303>>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SILVA, Lucas da; SOUSA, Jackson Araujo de; SILVA, Antonio Breno Lopes da. Ecoresidente: Educação Ambiental para o fortalecimento da sustentabilidade escolar. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, São Paulo, v. 15, n. 7, p. 376-390, 2020. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/publication/347675235_Ecoresidente_Educacao_Ambiental_para_o_fortalecimento_da_sustentabilidade_escolar>. Acesso em: 6 mar. 2025.

SILVA, Ranielly Leticia da; OLIVEIRA, Alan Martins de; SANTOS, José Erimar dos. Impactos ambientais causados pela extração de calcário em comunidade rural do semiárido potiguar. **Interações**, Campo Grande, v. 24, n. 3, p. 893-909, jul./set. 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.20435/inter.v24i3.3563>>. Acesso em: 19 abr. 2025.

SILVA, Solange Teles da. Direito Fundamental ao Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado Avanços e Desafios. **Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito - PPGDir./UFRGS**, Porto Alegre, n. 6, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.22456/2317-8558.51610>>. Acesso em: 6 mar. 2025.

SOBRAL, Maria do Carmo; LOPES, Helio; CANDEIAS, Ana Lúcia; MELO, Gustavo; GUNKEL, Günter. Geotecnologias na gestão de reservatórios: uma revisão e uma proposta de integração. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S. l.], v. 22, n. 5, p. 841-852, set./out. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522017111054>>. Acesso em: 25 maio 2025.

STRAUCH, Julia Celia Mercedes; SOUZA, Jano Moreira de. Uma metodologia para implantação de Sistemas de Informações Geográficas. In: NAJAR, Alberto Lopes; MARQUES, Eduardo Cesar (org.). **Saúde e espaço: estudos metodológicos e técnicas de análise**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 1998. p. 109-124. *E-book*. Disponível em: <<https://books.scielo.org/id/wjkcx/pdf/najar-9788575412954-00.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2025.

TRINDADE, Larissa de Lima. **Gestão integrada de recursos hídricos: papel, potencialidades e limitações dos comitês de bacias hidrográficas**. 2016. Tese (Doutorado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/173815>>. Acesso em: 1 abr. 2025.

TUNDISI, José Galizia. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 7-16, jul. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200002>>. Acesso em: 31 mar. 2025.

VERAS, Carlos Alberto Gurgel; PEREIRA, Flávio Duque Estrada Soares. Escala de Maturidade Tecnológica (TRL). Parque Científico e Tecnológico da Universidade de Brasília (PCTec/UnB), 2022. Disponível em: <<https://pctec.unb.br/documentos/179-documentos/142-trl>>. Acesso em: 17 maio 2025.