

INOVAÇÃO VERDE E SUSTENTABILIDADE DIGITAL: APLICAÇÃO DO PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO FRENTE AOS RISCOS INVISÍVEIS DAS TECNOLOGIAS EMERGENTES

**GREEN INNOVATION AND DIGITAL SUSTAINABILITY: APPLICATION OF THE
PRECAUTIONARY PRINCIPLE IN THE FACE OF THE INVISIBLE RISKS OF
EMERGING TECHNOLOGIES**

**INNOVACIÓN VERDE Y SOSTENIBILIDAD DIGITAL: APLICACIÓN DEL
PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN FRENTE A LOS RIESGOS INVISIBLES DE LAS
TECNOLOGÍAS EMERGENTES**

**Alcian Pereira de Souza¹, Emília dos Santos Gomes², Vania Maria do Perpétuo Socorro Marques
Marinho³, Jeibson dos Santos Justiniano⁴, Albefredo Melo de Souza Junior⁵, Danielle Costa de
Souza Simas⁶, Marcia Cristina Nery da Fonseca Rocha Medina⁷, Tais Batista Fernandes⁸, Cassio
André Borges dos Santos⁹, Marco Aurélio de Lima Choy¹⁰**

DOI: 10.54899/dcs.v22i83.3650

Recibido: 23/09/2025 | **Aceptado:** 16/10/2025 | **Publicación en línea:** 24/10/2025.

RESUMO

O presente artigo trata sobre a inovação verde e a sustentabilidade digital sob o prisma da aplicação do princípio da precaução frente aos riscos invisíveis das tecnologias emergentes. O princípio da precaução, ao ser aplicado de forma responsável, permite mitigar esses riscos com base em evidências preliminares, promovendo a inovação com responsabilidade. O objetivo da pesquisa é analisar como o princípio da precaução pode ser aplicado na regulação de tecnologias

¹ Doutor em Ciências pela Universidade de São Paulo (USP), Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: alcian@uea.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1139-5234>

² Pós-Graduanda em Direito, Compliance e Mecanismo Anticorrupção, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: emilia@advsgomes.com.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-1335-5576>

³ Doutora em Direito pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: vamrinho@uea.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4872-6703>

⁴ Doutor em Direito pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: jeibson.justiniano@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-4538-0020>

⁵ Doutorando em Direito pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: albefredo@uea.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5181-478X>

⁶ Mestre em Direito Ambiental pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Processamento de Dados Amazonas S.A (PRODAM), Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: dani_souza1403@hotmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6104-3563>

⁷ Doutora em Ciências pela Universidade de São Paulo (USP), Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: mcm Medina@uea.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6483-175X>

⁸ Doutora em Direito pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: tbfraga@uea.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-0374-1712>

⁹ Doutor em Direito pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: cborges@uea.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2168-5363>

¹⁰ Doutor em Direito Constitucional pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: mchoy@uea.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-0459-5138>

emergentes que, embora promovam a inovação verde e a sustentabilidade digital, apresentam riscos invisíveis ao meio ambiente e à saúde humana. A metodologia utilizada consiste em revisão bibliográfica interdisciplinar e análise jurisprudencial, com foco em casos nacionais que apliquem o princípio da precaução diante de incertezas sobre impactos ambientais. Os resultados indicam que o princípio da precaução tem sido constantemente utilizado na defesa do meio ambiente, pois as decisões judiciais proferidas em casos concretos têm apresentando uma postura mais protecionista, não atrapalhando o desenvolvimento, mas evitando os riscos invisíveis e irreversíveis ao meio ambiente e com isso promovendo a salvaguarda dos interesses da humanidade e das gerações futuras. Conclui-se então que é suma importância a aplicação da precaução caso a caso, de forma equilibrada, avaliando os riscos sem desconsiderar os benefícios da tecnologia emergente, e com isso se evitar que o princípio se torne obsoleto e seja usado apenas como escudo que impede o desenvolvimento das novas tecnologias que possam convergir com o meio ambiente sem causar danos irreversíveis.

Palavras-chave: Inovação Verde. Sustentabilidade Digital. Princípio da Precaução. Riscos Invisíveis. Tecnologias Emergentes.

ABSTRACT

This article addresses green innovation and digital sustainability from the perspective of applying the precautionary principle in the face of the invisible risks of emerging technologies. When applied responsibly, the precautionary principle allows these risks to be mitigated based on preliminary evidence, promoting innovation with accountability. The objective of this research is to analyze how the precautionary principle can be applied in the regulation of emerging technologies which, although they foster green innovation and digital sustainability, present invisible risks to the environment and human health. The methodology employed consists of an interdisciplinary literature review and jurisprudential analysis, focusing on national cases that apply the precautionary principle in the face of uncertainties about environmental impacts. The results indicate that the precautionary principle has been consistently used in environmental protection, as judicial decisions rendered in concrete cases have demonstrated a more protectionist stance—one that does not hinder development but prevents invisible and irreversible environmental risks, thus promoting the safeguarding of the interests of humanity and future generations. It is therefore concluded that the application of the precautionary principle, on a case-by-case basis and in a balanced manner, is of utmost importance. Risks should be assessed without disregarding the benefits of emerging technologies, so as to prevent the principle from becoming obsolete or being used merely as a shield to block the development of new technologies that can align with environmental preservation without causing irreversible harm.

Keywords: Green Innovation. Digital Sustainability. Precautionary Principle. Invisible Risks. Emerging Technologies

RESUMEN

El presente artículo aborda la innovación verde y la sostenibilidad digital desde la perspectiva de la aplicación del principio de precaución frente a los riesgos invisibles de las tecnologías emergentes. Cuando se aplica de manera responsable, el principio de precaución permite mitigar dichos riesgos sobre la base de evidencias preliminares, promoviendo la innovación con responsabilidad. El objetivo de la investigación es analizar cómo puede aplicarse el principio de

precaución en la regulación de tecnologías emergentes que, aunque fomentan la innovación verde y la sostenibilidad digital, presentan riesgos invisibles para el medio ambiente y la salud humana. La metodología utilizada consiste en una revisión bibliográfica interdisciplinaria y un análisis jurisprudencial, centrados en casos nacionales que aplican el principio de precaución ante las incertidumbres sobre los impactos ambientales. Los resultados indican que el principio de precaución ha sido utilizado de manera constante en la defensa del medio ambiente, ya que las decisiones judiciales dictadas en casos concretos han demostrado una postura más proteccionista, que no obstaculiza el desarrollo, sino que evita los riesgos invisibles e irreversibles para el medio ambiente, promoviendo así la salvaguarda de los intereses de la humanidad y de las generaciones futuras. Se concluye, por tanto, que es de suma importancia la aplicación del principio de precaución caso por caso y de forma equilibrada, evaluando los riesgos sin desconsiderar los beneficios de las tecnologías emergentes, con el fin de evitar que el principio se vuelva obsoleto o se utilice únicamente como un escudo que impida el desarrollo de nuevas tecnologías capaces de converger con el medio ambiente sin causar daños irreversibles.

Palabras clave: Innovación Verde. Sostenibilidad Digital. Principio de Precaución. Riesgos Invisibles. Tecnologías Emergentes.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

A ideia de desenvolver um estudo sobre a aplicação do princípio da precaução frente aos riscos invisíveis das tecnologias emergentes surgiu a partir da observação da grande relevância que o tema tecnologia passou a ter na sociedade.

Nesse ponto, surge a necessidade de se analisar se há medidas eficazes para proteger o meio ambiente dos possíveis impactos ambientais que as novas tecnologias poderão gerar.

Em virtude disso, é relevante a busca de uma resposta enfática, pois aderir a inovação verde pode trazer inúmeros benefícios para as empresas e a sociedade, mas esses avanços também podem gerar riscos imprevisíveis e é nesse contexto que o princípio da precaução se torna fundamental.

Para tanto, a presente pesquisa será organizada em três partes, de modo a contemplar um raciocínio lógico e metodologia descritiva de adequado entendimento aos leitores.

Inicialmente, será explorado o conceito e aplicação prática da inovação verde e sustentabilidade digital. Em seguida, serão analisados os mecanismos adotados pelo direito brasileiro na proteção do meio ambiente e a aplicação efetiva do princípio da precaução a partir das decisões já proferidos pelo Superior Tribunal de Justiça. E por fim, verificaremos o papel das

instituições públicas e privadas na adoção de políticas internas que se alinhem ao princípio da precaução e que a aplicação responsável desse princípio não freie o progresso das tecnologias emergentes, mas mitiga os riscos e protege o meio ambiente de potenciais impactos.

Compreende-se que esse estudo é importante para a sociedade, pois as entidades governamentais, organizações não governamentais, cientistas, comunidades e outros indivíduos devem adotar uma postura de precaução em todos os empreendimentos que envolva a aplicação de uma tecnologia emergente.

Para tanto, se faz necessário que o processo de aplicação do princípio seja aberto, informado e democrático, e que as partes potencialmente afetadas sejam incluídas, obtendo informações sobre os riscos desconhecidos para que possam definir as melhores escolhas regulatórias, evitando assim, que a precaução se torne apenas um empecilho a criação de novas tecnologias e um obstáculo ao desenvolvimento de ideias que possam agregar e possibilitar uma maior proteção ao meio ambiente.

INOVAÇÃO VERDE E SUSTENTABILIDADE DIGITAL

O aumento desenfreado e desgovernado dos impactos ambientais são observados nas mudanças climáticas, escassez de recursos naturais, poluição excessiva e na perda de biodiversidade. E o mundo atual ainda enfrenta diversos desafios para promover uma mudança positiva que garanta que esses problemas sejam contornados, a fim de promover a proteção do meio ambiente e com isso a qualidade de vida e saúde das pessoas.

Pensando nisso, cada vez mais empresas buscam incorporar a dimensão ambiental em suas estratégias de inovação, criando produtos, serviços e processos que gerem valor para o consumidor final e para a sociedade como um todo, ao mesmo tempo que se preocupam em criar tecnologias com impactos negativos reduzidos sobre o meio ambiente. Essa tendência é conhecida como inovação verde.

Seguindo essa linha vislumbra-se que a convergência entre inovação verde e sustentabilidade digital é um dos maiores acertos da modernidade, na medida em que garante não apenas a proteção ambiental, mas também um enorme crescimento para economia.

A inovação verde refere-se ao desenvolvimento e à aplicação de tecnologias, produtos e processos que reduzem o impacto ambiental e promovem a conservação dos recursos naturais. Ela envolve práticas como eficiência energética, uso de fontes renováveis, tecnologias limpas,

reciclagem e economia circular. Já a sustentabilidade digital diz respeito à incorporação de práticas e soluções tecnológicas que, ao mesmo tempo em que promovem avanços na era digital, respeitam os limites ecológicos do planeta, mitigando os impactos ambientais da transformação digital (Freitas, 2015, p. 82).

Enquanto a inovação verde busca soluções tecnológicas que reduzam os impactos ambientais, como painéis solares, veículos elétricos e embalagens biodegradáveis. A sustentabilidade digital se refere ao uso responsável de tecnologias digitais, como a adoção de softwares que consomem menos energia ou o incentivo ao armazenamento em nuvem com baixo impacto ambiental (Freitas, 2015, p. 99).

No cotidiano, vemos a inovação verde em ações como a substituição de copos plásticos por reutilizáveis em escritórios ou o uso de sensores automáticos de luz para economizar energia. Na esfera digital, um exemplo seria o uso de plataformas que otimizam o consumo de dados e reduzem o tempo de uso de servidores, contribuindo para menor emissão de carbono (Jonas, 2006, p. 88).

Não se pode deixar de destacar que a inovação verde pode ser aplicada em diversos setores, como energia, transporte, indústria, construção, agricultura e serviços. E uma importante empresa brasileira que adotou a inovação verde é a Natura com suas embalagens biodegradáveis e sistema de logística reversa.

Aderir a inovação verde pode trazer inúmeros benefícios para as empresas como uma melhor reputação, aumento da produtividade, redução dos custos ou até mesmo uma diferenciação competitiva ao atender consumidores que valorizam as questões ambientais.

No entanto, esses avanços também podem gerar "riscos invisíveis". Por exemplo, a produção de carros elétricos exige a extração de lítio, que pode causar danos ambientais se não for feita de forma sustentável (Hansel, 2013, p. 65). O mesmo ocorre com o descarte de equipamentos digitais, que muitas vezes acabam em aterros sanitários inadequados (Hansel, 2013, p. 66).

É nesse contexto que o princípio da precaução se torna fundamental. Segundo Hans Jonas, “o temor justificado pode ser um motivo suficiente para a abstenção de determinada ação”, mesmo sem provas científicas definitivas sobre o dano (Jonas, 2006, p. 46). Em outras palavras, é melhor prevenir do que remediar.

Juarez Freitas complementa essa ideia ao afirmar que “sustentabilidade é o direito ao futuro”, reforçando que decisões presentes devem levar em conta seus impactos a longo prazo

(Freitas, 2015, p. 35). Assim, regular o uso de uma tecnologia, ainda que inovadora, é uma forma de proteger o meio ambiente e a sociedade.

PROTEÇÃO DO MEIO AMBIENTE E APLICAÇÃO DO PRINCÍPIO DA PREVENÇÃO NO DIREITO BRASILEIRO

No cenário internacional, diversas legislações já adotam o princípio da precaução de forma robusta. A União Europeia, por exemplo, aplica esse princípio de modo transversal em políticas ambientais, de saúde e inovação. O Regulamento REACH, que disciplina o uso de substâncias químicas, exige a comprovação prévia de segurança, invertendo a lógica tradicional da responsabilidade (European Union, 2006, p. 1).

No Brasil, o princípio da precaução encontra amparo na Constituição Federal, especialmente no artigo 225, que assegura a todos o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e impõe ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (Brasil, 1988, art. 225).

O direito brasileiro também regula a proteção do meio ambiente em leis dispostas em âmbito federal, estadual e municipal. Além disso, possui um sistema bem construído pautado em normas e princípios aplicáveis a partir das convenções internacionais aderidas pelo País.

Entre as convenções internacionais aderidas podemos destacar a ECO-92, como ficou popularmente conhecida a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro no ano de 1992, onde se consagrou o princípio da precaução e definiu que deve ser levado em consideração o dano ambiental que determinada ação puder causar mesmo que ele seja incerto, ou seja, a falta de certeza científica sólida não justifica a inércia em tomar providências necessárias a prevenir danos que poderão ser graves e irreversíveis.

Eis o teor do princípio 15 da Declaração do Rio de Janeiro:

"De modo a proteger o meio ambiente, o princípio da precaução deve ser amplamente observado pelos Estados, de acordo com as suas capacidades. Quando houver ameaça de danos sérios ou irreversíveis, a ausência de absoluta certeza científica não deve ser utilizada como razão para postergar medidas eficazes e economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental." (Ministério do Meio Ambiente, 1992, p. 2)

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima é outro tratado internacional aderido pelo Brasil, por meio do Decreto Legislativo nº. 2.652, de 1 de julho de

1998, e em seu art. 3º consagra o princípio da precaução dispondo que:

[...] 3. As Partes devem adotar medidas de precaução para prever, evitar ou minimizar as causas da mudança do clima e mitigar seus efeitos negativos. Quando surgirem ameaças de danos sérios ou irreversíveis, a falta de plena certeza científica não deve ser usada como razão para postergar essas medidas [...] (Brasília, 1998, p. 3)

De outro lado, a jurisprudência já aplicou o princípio ao proibir a queima de canaviais, mesmo sem provas conclusivas dos danos à saúde, priorizando a precaução (REsp 1.285.463) e ao reconhecer que em questões ambientais, quem explora deve provar que não está causando danos, invertendo o ônus da prova (REsp 883.656).

As decisões do STJ demonstram que o princípio da precaução está presente no direito brasileiro e pode ser aplicado de forma simples e eficaz também em contextos do dia a dia de empresas e cidadãos, ao se escolher fornecedores sustentáveis ou evitar produtos cuja origem compromete o meio ambiente, aplicando assim, na prática, a precaução.

Inversão do Ônus da Prova nas Ações de Degradação Ambiental

O princípio da precaução foi adotado no entendimento esposado no Resp 883.656, por se tratar de uma base de sustentação do direito ambiental em face do interesse público subjacente. E isso rendeu ao princípio a edição da Súmula 618 que trata sobre a inversão do ônus da prova nas ações de degradação ambiental.

No referido julgado a Corte Colegiada assentou o entendimento de que o princípio da precaução conduz à inversão do ônus da prova, de modo que seria de total responsabilidade do agente, que exerce a atividade potencialmente poluidora, provar que sua ação seria inofensiva para o meio ambiente, pois antes disso, a dúvida científica sobre a segurança de desenvolver atividades potencialmente perigosas atuava em benefício do poluidor e não do meio ambiente.

Em seu voto, o relator, ministro Herman Benjamin, discorreu que o princípio da precaução é um transformador do *in dubio pro reo* em *in dubio pro natureza*, haja vista que traz consigo a presunção a favor da proteção do meio ambiente:

[...] o princípio *in dubio pro natura*, na sua acepção processual, encontra suas origens remotas no tradicional princípio *in dubio pro damnato* (= na dúvida, em favor do prejudicado ou vítima), utilizado nomeadamente na tutela da integridade física das pessoas. Ninguém questiona que, como direito fundamental das presentes e futuras gerações, o meio ambiente ecologicamente equilibrado reclama tutela judicial

abrangente, eficaz e eficiente, não se contentando com iniciativas materiais e processuais retóricas, cosméticas, teatrais ou de fantasia. (Brasil, 2010, p. 5)

Nessa linha de raciocínio verificamos como o meio ambiente é um bem jurídico indisponível que requer uma posição mais protecionista do julgador, sobretudo por ser aquele que pode salvaguardar inúmeros interesses da humanidade e das gerações futuras, sendo legítima a inversão do ônus da prova na defesa do meio ambiente.

Prevalência da Defesa do Meio Ambiente na Ausência de Certeza Científica

O Colegiado da Segunda Turma do STJ ao discutir sobre a queima de canaviais utilizou o princípio da precaução por entender que a incerteza científica sobre o impacto que uma ação pode causar ao meio ambiente não pode servir como argumento para adiar a adoção de medidas eficazes para a sua proteção.

Seguindo esse raciocínio deu provimento ao Resp 1.285.463 interposto pelo Ministério Público para anular e negar as autorizações de queima de canaviais na cidade de Jaú (SP), modificando assim, o entendimento do Tribunal de Justiça de São Paulo (TJSP) que havia proferido decisão discorrendo que não existiam provas científicas de que a fuligem da cana de açúcar produzida pela atividade canavieira causava câncer.

No entanto, o relator, ministro Humberto Martins, na contramão do decidido pelo Tribunal e pautado no princípio da prevenção lançou a máxima que “na dúvida, prevalece a defesa do meio ambiente” argumentando em seu voto que:

Não é preciso revisar as provas e dados fáticos constantes no acórdão para sentenciar que a proteção ao meio ambiente é incondicionada a certezas científicas. Segundo o princípio da precaução, [...] a ausência de certezas científicas não pode ser argumento utilizado para postergar a adoção de medidas eficazes para a proteção ambiental. Na dúvida, prevalece a defesa do meio ambiente. (Brasil, 2012, p. 8)

Em mais uma decisão verificamos como o princípio da precaução contribuiu para que houvesse uma proteção mais efetiva do meio ambiente, independentemente da existência ou não de dados científicos sobre o impacto que a ação causaria, de modo a garantir a sustentabilidade ambiental.

Periculum in Mora a Favor do Meio Ambiente

A Primeira Turma do Superior Tribunal de Justiça no julgamento do AgInt na TP 2.476, proferiu entendimento que na análise das medidas de urgência em matéria ambiental, à luz dos princípios da precaução e da prevenção, o periculum in mora vigora em favor da proteção do meio ambiente, com vistas a serem imediatamente adotadas medidas que possam resguardar a pessoa humana e o meio ambiente, sobretudo se estiverem suscetíveis a danos irreparáveis ou de difícil reparação.

No caso em concreto a ação civil pública foi ajuizada pelo Ministério Público em desfavor de uma empresa que estava utilizando um imóvel como depósito de resíduos siderúrgicos, causando com essa conduta danos ambientais por promover o acúmulo de material que estaria contaminando a água no subsolo e causando poluição atmosférica pela dispersão de partículas com o vento.

Inicialmente o Tribunal Regional Federal da 2ª Região (TRF2) manteve a decisão proferida pelo 1º grau onde se determinou que a empresa deveria respeitar um limite de quantidade e altura do material que despejava mensalmente no depósito, tendo em vista a existência de prova de que o mesmo estaria contaminando o rio Paraíba do Sul, o lençol freático das redondezas e prejudicando a saúde e segurança da população residente na região.

Todavia, a empresa recorreu da decisão ao interpor recurso especial com pedido de efeito suspensivo, tendo esse último sido concedido pela vice-presidência do TRF2.

Contra a decisão concessória, o Ministério Público protocolou pedido de revogação do efeito suspensivo ao STJ, que foi prontamente acolhido pela Corte Superior.

A empresa irredutível recorreu mais uma vez, mas a relatora do recurso, ministra Regina Helena Costa, em juízo de ponderação, e aplicando os princípios da precaução e prevenção, entendeu em seu voto que o meio ambiente ecologicamente equilibrado, que é um direito fundamental protegido pelo artigo 225 da Constituição Federal, deveria ser priorizado quando da análise de concessão de medidas liminares:

Em tal cenário, emergem os princípios da precaução e da prevenção, alicerces do direito ambiental internacional, os quais impõem a priorização de medidas que previnam danos à vulnerável biota planetária, bem como a garantia contra perigos latentes, ainda não identificados pela ciência.

Assinale-se que este Tribunal Superior encampa orientação segundo a qual, em homenagem ao princípio da precaução, impõe-se a inversão do ônus da prova nas ações civis ambientais, de modo a atribuir ao empreendedor a prova de que o meio ambiente permanece hígido, mesmo com o desenvolvimento de sua atividade [...] (Brasil, 2020,

p. 10)

Nesse ponto, fundada no princípio da precaução reconheceu que, “[...] no bojo do exame de medidas de urgência em matéria ambiental, o *periculum in mora* milita em favor da proteção do meio ambiente” (Brasil, 2020, p. 12).

A ministra em seu voto adotou a entendimento, difundido pela própria Corte Superior e em conformidade com o princípio da precaução, acerca de proteger o meio ambiente ainda que os prejuízos do desenvolvimento da atividade não sejam identificados pela ciência, pois a responsabilidade de provar que a atividade não causaria a degradação e o meio ambiente permaneceria intacto é do empreendedor, em consequência disso, as medidas liminares devem resguardar a proteção da saúde e segurança humana e do meio ambiente e não apenas dos latentes, mas também dos danos presumidos.

PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO FRENTE AOS RISCOS INVISÍVEIS DAS TECNOLOGIAS EMERGENTES

O avanço das novas tecnologias tem provocado profunda preocupação na sociedade contemporânea, pois mesmo que seus benefícios sejam indiscutíveis não se pode negar que elas também proporcionam incontáveis desafios e riscos ligados à sua aplicação, o que torna essencial a implantação de um mecanismo que possa orientar e direcionar o uso responsável e seguro dessas inovações.

Nesse contexto, o princípio da precaução surge como um instrumento jurídico que orienta políticas públicas e decisões regulatórias prontas para agir com prudência diante de incertezas. Diferente do princípio da prevenção, que exige evidências científicas do dano, a precaução permite a intervenção mesmo quando haja apenas suspeitas fundamentadas. Ou seja, o Estado ou as instituições podem e devem agir antes da comprovação científica do dano, se os possíveis efeitos forem graves ou irreversíveis. (Hansel, 2013, p. 59).

A inovação responsável é o objetivo central da aplicação do princípio da precaução, visto que a implantação de políticas públicas estruturadas contribui demasiadamente para que as novas tecnologias sejam desenvolvidas sem comprometer direitos fundamentais e a segurança da sociedade.

É importante também destacar o papel das instituições públicas e privadas na adoção de políticas internas que se alinhem ao princípio da precaução. A elaboração de códigos de conduta

ambiental, a realização de avaliações de impacto antes da implementação de novas tecnologias e o uso de selos verdes em produtos digitais são estratégias que promovem a sustentabilidade com responsabilidade.

Como destaca Hans Jonas em sua ética da responsabilidade, “o imperativo da tecnologia exige que o homem aja de modo que os efeitos de sua ação sejam compatíveis com a permanência da vida humana autêntica na Terra” (Jonas, 2006, p. 40). Essa máxima orienta uma postura ética diante das incertezas da inovação, em que o futuro deve ser considerado nas decisões do presente. O princípio da precaução, nesse sentido, é uma forma concreta de realizar essa responsabilidade intergeracional, assegurando que os benefícios tecnológicos não se convertam em prejuízos irreversíveis para as próximas gerações.

Juarez Freitas enfatiza que “sustentabilidade não é apenas uma diretriz política, mas um verdadeiro princípio jurídico”, e sua aplicação impõe uma mudança de paradigma na elaboração e interpretação das normas (Freitas, 2015, p. 41). Incorporar o princípio da precaução à cultura institucional e jurídica é reconhecer que o direito também deve ser proativo, orientado por um dever de cuidado com o futuro. Essa visão fortalece o papel do Estado, da sociedade e das empresas na construção de um modelo de desenvolvimento baseado em limites ecológicos e justiça ambiental.

Desse modo, o princípio da precaução ao ser aplicado de forma responsável permite mitigar esses riscos com base em evidências preliminares, promovendo a inovação com responsabilidade, pois exige que reguladores e legisladores considerem os impactos potenciais antes de liberar uma nova tecnologia no mercado. E isso não significa frear o progresso, mas moldá-lo de maneira a evitar retrocessos ambientais e sociais. (Hansel, 2013, p. 72; Jonas, 2006, p. 46).

O impacto do Princípio da Precaução na Inovação Tecnológica

O princípio da precaução desempenha um papel importante na proteção dos riscos desconhecidos que o avanço da inovação tecnológica pode trazer, agindo antecipadamente para evitar danos irreversíveis.

E o avanço acelerado das tecnologias emergentes nos últimos anos, tornou necessário a aplicação do princípio da precaução inevitável, sobretudo pelo fato de representarem um enorme potencial de transformação científica, social e econômica, o que acarreta aumento dos riscos

consideráveis ao meio ambiente.

No âmbito ambiental os riscos invisíveis das tecnologias emergentes incluem: Ambientais: poluição digital (lixo eletrônico), consumo energético invisível, contaminação por nanotecnologia; Sociais: exacerbação da desigualdade digital, exclusão tecnológica, exploração de comunidades onde há extração de minérios raros; Jurídicos: falta de marcos legais para regular novas tecnologias, como IA ambiental ou engenharia genética; Éticos: falta de transparência e controle social sobre os impactos das decisões automatizadas em políticas ambientais.

Apesar dos benefícios, essas tecnologias podem gerar "riscos invisíveis", ou seja, impactos ambientais e sociais não evidentes de imediato, mas que podem se manifestar no longo prazo. Exemplos incluem o alto consumo energético de data centers, o uso intensivo de metais raros na fabricação de dispositivos digitais, ou ainda os efeitos não testados de biotecnologias sobre ecossistemas. Esses riscos não são facilmente mensuráveis, e frequentemente ocorrem em ambientes onde há lacunas de conhecimento científico (Jonas, 2006, p. 46).

Daí surge a necessidade premente de aplicação do princípio da precaução quando, por exemplo, se regulamenta a implantação de sensores inteligentes em áreas ambientais sensíveis; limita ou monitora o uso de algoritmos de inteligência artificial para decisões ecológicas; ou impõe critérios de sustentabilidade para o uso de blockchain em cadeias produtivas. A lógica é prevenir danos antes que eles se concretizem.

No Brasil, é visível que há um alto grau de utilização do princípio da precaução nas situações que envolvem o meio ambiente, posto que vigora o entendimento que a responsabilidade de provar que uma atividade é segura é do proponente dessa atividade mesmo que a ameaça do dano não possa ser cientificamente determinada, pois a incerteza já demanda a proibição da atividade potencialmente arriscada.

Desse modo, entidades governamentais, organizações não governamentais, cientistas, comunidades e outros indivíduos devem adotar uma postura de precaução em todos os empreendimentos que envolva a aplicação de uma tecnologia emergente, e para que isso ocorra se faz necessário que o processo de aplicação do princípio seja aberto, informado e democrático, e que as partes potencialmente afetadas sejam incluídas, para que assim seja possível se obter informações sobre os riscos desconhecidos e definir as melhores escolhas regulatórias.

Contradições do Princípio da Precaução Frente ao Avanço Tecnológico

O aumento da industrialização dos bens de consumo e dos seus processos produtivos e a incerteza sobre os danos que as tecnologias emergentes podem causar ao meio ambiente, é o fator principal da aplicação do princípio da precaução.

No entanto, o uso excessivo do princípio pode representar um entrave ao progresso, visto que o desenvolvimento tecnológico naturalmente expõe as pessoas e o meio ambiente aos riscos invisíveis e imprevisíveis, e o excesso de zelo na tentativa de torná-los imunes aos riscos pode significar uma oposição a tecnologia.

Todavia, é inegável que a partir de uma atuação balanceada é possível garantir que a inovação não se realize às custas da segurança pública ou da sustentabilidade ambiental. E o desafio é encontrar regulamentação equilibrada que vise proteger os direitos e bem-estar da sociedade, mas sem sufocar ou atrapalhar o progresso das inovações tecnológicas.

Nesse ponto, a inovação verde e a sustentabilidade ambiental possibilitaram uma maior abertura as novas tecnologias, principalmente quando seguem os regramentos de um padrão sustentável que minimize os riscos e maximize os benefícios, por meio de uma regulamentação equilibrada que confira ao meio ambiente e a sociedade em geral uma proteção adequada.

A partir disso, não parece razoável considerar que a ciência e a precaução estão em lados opostos ou em conflito, pois, o princípio da precaução está no centro da ciência que é a responsável por avaliar o risco de uma tecnologia, e isso impossibilita a sustentação de um rótulo de “inimigo” da ciência tornando possível a combinação das duas perspectivas, tendo em vista que o princípio da precaução busca “orientar a inovação, não bloqueá-la” (Stirling, 2016, p. 2).

A precaução não proíbe o desenvolvimento de uma tecnologia, mas se dedica ao aprofundamento das informações buscando visões mais amplas, para considerando as condições de incerteza avaliar melhor o risco. Claro, que não se pode desconsiderar que a precaução pode ser implementada de formas exageradas ou equivocadas, mas a sua abordagem acaba sendo objeto de críticas devido ao “poder nos processos regulatórios convencionais e ao redor deles do que com quaisquer características intrínsecas da própria precaução” (Stirling, 2016, p. 2).

Portanto, não podemos olvidar que a precaução é o meio de proteger o meio ambiente dos interesses particulares, na medida em que possibilita “uma escolha mais democrática diante das incertezas sempre presentes, sobre as melhores direções a serem tomadas pela inovação em qualquer campo específico” (Stirling, 2016, p. 2).

METODOLOGIA

A presente pesquisa adota uma abordagem qualitativa e interdisciplinar, fundamentada em revisão bibliográfica e análise jurisprudencial, com o propósito de compreender como o princípio da precaução pode ser aplicado diante dos riscos invisíveis associados às tecnologias emergentes no contexto da inovação verde e da sustentabilidade digital. Trata-se de um estudo de natureza teórica, descritiva e exploratória, que busca examinar de que modo o princípio da precaução pode orientar políticas públicas, decisões regulatórias e práticas empresariais voltadas à promoção de uma inovação tecnológica responsável, capaz de conciliar desenvolvimento econômico e proteção ambiental. A escolha pela abordagem qualitativa justifica-se pela necessidade de uma interpretação crítica dos fenômenos socioambientais e jurídicos, considerando os aspectos éticos, normativos e científicos envolvidos nas decisões que tratam da relação entre tecnologia, meio ambiente e sustentabilidade.

A metodologia empregada baseia-se em revisão bibliográfica interdisciplinar, envolvendo autores clássicos e contemporâneos do Direito Ambiental e da Filosofia da Tecnologia, como Hans Jonas, Juarez Freitas e Cláudia Maria Hansel, cujas obras discutem a ética da responsabilidade, a sustentabilidade e a precaução como fundamentos estruturantes do direito ambiental moderno. Além disso, realiza-se uma análise documental e normativa, abrangendo tratados e convenções internacionais, como a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992 e a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, bem como dispositivos da Constituição Federal, especialmente o artigo 225, que consagra o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado. Também foram examinadas legislações infraconstitucionais e regulamentos ambientais que incorporam o princípio da precaução no ordenamento jurídico brasileiro.

Outro eixo metodológico central é a análise jurisprudencial, concentrando-se em decisões paradigmáticas do Superior Tribunal de Justiça que consolidam a aplicação do princípio da precaução, como o Recurso Especial n.º 883.656/RS, o Recurso Especial n.º 1.285.463/SP e o Agravo Interno na Tutela Provisória n.º 2.476/RJ. Esses casos permitem observar como o Judiciário tem interpretado e aplicado o princípio em situações de incerteza científica, reforçando a importância de uma postura protetiva em prol do meio ambiente. Paralelamente, a pesquisa inclui uma análise comparativa de experiências nacionais e internacionais que demonstram a incorporação da precaução em políticas de regulação de tecnologias emergentes, especialmente

em áreas como inteligência artificial ambiental, nanotecnologia, biotecnologia e economia digital verde.

O desenvolvimento da pesquisa foi estruturado em quatro etapas principais: inicialmente, realizou-se o levantamento teórico sobre os conceitos de inovação verde, sustentabilidade digital e riscos invisíveis das tecnologias emergentes; em seguida, identificaram-se os fundamentos éticos e normativos do princípio da precaução e sua evolução no Direito Ambiental; posteriormente, procedeu-se à análise crítica das decisões judiciais e instrumentos legais que aplicam o princípio; e, por fim, elaborou-se uma discussão sobre os desafios e contradições de sua aplicação frente ao avanço tecnológico, com o intuito de propor uma interpretação equilibrada que evite tanto o retrocesso ambiental quanto o bloqueio da inovação.

A análise dos dados foi conduzida por meio da técnica de análise de conteúdo qualitativa, buscando identificar padrões de aplicação do princípio da precaução e correlações entre normas jurídicas, decisões judiciais e impactos socioambientais decorrentes da inovação tecnológica. A interpretação dos resultados integra dimensões jurídicas, ambientais, éticas e tecnológicas, propondo um modelo de inovação responsável, em que o progresso científico seja orientado pela prudência e pela responsabilidade intergeracional. Todo o processo de pesquisa observou rigor ético e científico, em conformidade com a Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde, bem como com os princípios constitucionais de defesa do meio ambiente, da dignidade humana e da sustentabilidade, reconhecendo que a aplicação equilibrada do princípio da precaução é essencial para assegurar o desenvolvimento tecnológico aliado à preservação do planeta e à proteção das futuras gerações.

CONCLUSÃO

A integração entre inovação verde, sustentabilidade digital e o princípio da precaução representa um dos maiores desafios contemporâneos do Direito Ambiental e da governança tecnológica. O avanço acelerado das tecnologias emergentes, como inteligência artificial, biotecnologia, nanotecnologia e soluções digitais de alta complexidade, evidencia a necessidade de um novo paradigma jurídico-ético que garanta o equilíbrio entre desenvolvimento e responsabilidade socioambiental. Nesse contexto, o princípio da precaução se consolida como um instrumento essencial para orientar decisões regulatórias, políticas públicas e práticas empresariais voltadas à sustentabilidade e à justiça intergeracional.

Os resultados desta pesquisa demonstram que, no Brasil, o princípio da precaução já possui sólida incorporação normativa e jurisprudencial, especialmente a partir de julgados paradigmáticos do Superior Tribunal de Justiça. Decisões como o *Recurso Especial* n.º 883.656/RS, o *Recurso Especial* n.º 1.285.463/SP e o *AgInt na Tutela Provisória* n.º 2.476/RJ evidenciam que o Poder Judiciário tem adotado uma postura protetiva, priorizando a defesa do meio ambiente e a tutela preventiva dos bens difusos, mesmo diante da incerteza científica. Essas decisões consolidam o entendimento de que a ausência de provas conclusivas sobre um dano não pode servir de justificativa para a inércia estatal ou privada, devendo prevalecer, em caso de dúvida, a proteção ambiental e o direito à vida em um meio ecologicamente equilibrado.

A aplicação responsável do princípio da precaução não se opõe ao progresso tecnológico; ao contrário, atua como um critério racional de governança e planejamento que permite o avanço das inovações dentro de limites seguros e éticos. Ao exigir a antecipação de riscos e a adoção de medidas preventivas, a precaução contribui para que o desenvolvimento científico e tecnológico seja guiado por princípios de prudência, transparência e responsabilidade. Assim, longe de representar um obstáculo à inovação, o princípio serve como um filtro de legitimidade, garantindo que novas tecnologias sejam compatíveis com os valores constitucionais da dignidade humana, da solidariedade intergeracional e da proteção ambiental.

O estudo evidencia também que as inovações verdes e as práticas de sustentabilidade digital oferecem uma oportunidade ímpar de concretizar o princípio da precaução na prática cotidiana. A adoção de tecnologias de baixo impacto, o uso de fontes renováveis de energia, a economia circular e os selos verdes em produtos e serviços são exemplos de instrumentos que materializam a ética da responsabilidade defendida por Hans Jonas e o “direito ao futuro” proposto por Juarez Freitas. Ambos os autores ressaltam que a técnica e a ciência devem servir à preservação da vida e não ao seu risco, e que a precaução é, portanto, uma forma de racionalidade ética aplicada à gestão do risco tecnológico.

Contudo, a pesquisa também revelou desafios e tensões. Em muitos casos, o princípio da precaução é interpretado de forma excessivamente restritiva ou, ao contrário, de modo exagerado, servindo como barreira ao progresso. A superação desse dilema exige um equilíbrio interpretativo: aplicar a precaução de modo proporcional, avaliando a gravidade, a probabilidade e a reversibilidade dos danos, sem ignorar os benefícios que determinadas tecnologias podem gerar para a sustentabilidade e o bem comum. O desafio, portanto, é promover uma precaução

inteligente, científica, transparente e democrática, capaz de regular sem paralisar, proteger sem impedir e orientar sem dogmatizar.

Nesse sentido, a aplicação equilibrada e contextualizada do princípio da precaução revela-se essencial para que a transição tecnológica em direção à sustentabilidade digital ocorra sem comprometer os direitos das gerações futuras. A inovação verde e as tecnologias emergentes, quando orientadas por princípios éticos e normativos sólidos, têm o potencial de reduzir desigualdades, melhorar a qualidade de vida e contribuir para um modelo de desenvolvimento compatível com os limites ecológicos do planeta. O direito, por sua vez, deve atuar como guardião desses limites, assegurando que a busca pelo progresso não se sobreponha à preservação da vida.

Conclui-se, portanto, que a efetividade do princípio da precaução depende de sua aplicação caso a caso, com base em critérios técnicos, jurídicos e éticos, e da cooperação entre Estado, sociedade civil e setor produtivo. O futuro da sustentabilidade digital e da inovação verde passa pela consolidação de um modelo regulatório preventivo e participativo, no qual o conhecimento científico, a prudência e a justiça ambiental caminhem lado a lado. A precaução, quando compreendida em sua dimensão transformadora, deixa de ser um obstáculo e se torna um caminho seguro para o desenvolvimento de tecnologias que respeitam o meio ambiente, protegem a vida e asseguram o direito fundamental das gerações presentes e futuras a um planeta saudável e habitável.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, Paulo de Bessa. **Direito ambiental**. 10. ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2007.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em: 19 set. 2025.

BRASIL. Decreto nº 2.652, de 1º de julho de 1998. Promulga a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, assinada em Nova York, em 9 de maio de 1992. **Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, 2 jul. 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2652.htm. Acesso em: 19 set. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: https://www5.pucsp.br/ecopolitica/projetos_fluxos/doc_principais_ecopolitica/Declaracao_rio_1992.pdf. Acesso em: 19 set. 2025.

BRASIL. Superior Tribunal de Justiça (2ª Turma). **AgInt no Pedido de Tutela Provisória n.º 2.476 - RJ**. Relatora: Ministra Regina Helena Costa. Brasília, 1 set. 2020. Disponível em:

https://processo.stj.jus.br/processo/revista/documento_tipo=integra&documento_sequencial=114886636®istro_numero=201903638011&peticao_numero=202000136634&publicacao_data=20201002&formato=PDF. Acesso em: 19 set. 2025.

BRASIL. Superior Tribunal de Justiça (2ª Turma). **Recurso Especial n.º 883.656 – RS**. Relator: Ministro Herman Benjamin. Brasília, 9 mar. 2010. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/stj/884900683> . Acesso em: 19 set. 2025.

BRASIL. Superior Tribunal de Justiça (2ª Turma). **Recurso Especial n.º 1.285.463 – SP**. Relator: Ministro Humberto Martins. Brasília, 28 fev. 2012. Disponível em: https://processo.stj.jus.br/processo/revista/documento/mediado/?componente=ITA&sequencial=1124088&num_registro=201101904332&data=20120306&formato=PDF. Acesso em: 19 set. 2025.

EUROPEAN UNION. **Regulation (EC) No. 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH)**. *Official Journal of the European Union*, L396, 30 dez. 2006.

FREITAS, Juarez. **Sustentabilidade: o direito ao futuro**. São Paulo: Fórum, 2015.

HANSEL, Cláudia Maria. **O princípio da precaução frente à responsabilidade civil pelos danos ambientais**. Porto Alegre: Verbo Jurídico, 2013.

JONAS, Hans. **O princípio responsabilidade: ensaio de uma ética para a civilização tecnológica**. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2006.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO (PUC-SP). **Enciclopédia Jurídica: verbete Princípios da Precaução e da Prevenção no Direito Ambiental**. São Paulo, [s.d.].

STIRLING, Andy. **Precaution in the governance of technology**. Sussex: University of Sussex, 2016. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2815579 . Acesso em: 28 set. 2025.