

REGULAMENTAÇÃO PREVENTIVA DA TÉCNICA DE NUCLEAÇÃO DE NUVENS

PREVENTIVE REGULATION OF CLOUD FORMATION TECHNIQUES

Helena Rocha de Aquino¹

RESUMO

A denominada semeadura de chuvas consiste no processo de nucleação de uma nuvem, ou seja, há influência humana para que as gotículas de água presentes na nuvem se aglutinem, pesem e consequentemente gerem a precipitação. A influência mencionada pode ocorrer mediante utilização de dióxido de carbono, iodeto de prata, cloreto de sódio, carvão ativado, descargas elétricas ou água, os quais são dispersados no ar mediante o uso de aviões, drones ou objetos similares. O problema de pesquisa, portanto, consiste em evidenciar quais as consequências da ausência de limites legais para o uso da técnica nucleação artificial de nuvens. A metodologia de pesquisa para desenvolvimento desse artigo é bibliográfica, mediante a forma indutiva, partindo da base geral do direito ambiental para a potencial aplicação da legislação ao caso específico. Prevê-se que a pesquisa ressalte as lacunas legais relacionadas à produção de chuvas artificiais e demonstre a possibilidade da adaptação da legislação em vigor às inovações tecnológicas, com base em princípios e direitos fundamentais.

PALAVRAS-CHAVE: Nucleação de nuvens; mitigação dos impactos ambientais; adaptação jurídica às inovações.

ABSTRACT

The so-called rainseeding consists of the process of cloud nucleation, that is, human influence causes the water droplets present in the cloud to agglomerate, weigh down, and consequently generate precipitation. This influence can occur through the use of carbon dioxide, silver iodide, sodium chloride, activated carbon, electrical discharges, or water, which are dispersed in the air using airplanes, drones, or similar objects. The research problem, therefore, consists of highlighting the consequences of the absence of legal limits for the use of the artificial cloud nucleation technique. The research methodology for the development of this article is bibliographic, using an inductive approach, starting from the general basis of environmental law to the potential application of legislation to the specific case. It is expected that the research will highlight the legal gaps related to the production of artificial rain and demonstrate the possibility of adapting current legislation to technological innovations, based on fundamental principles and rights.

KEYWORDS: Cloud nucleation; mitigating environmental impacts; legal adaptation to innovations.

1 INTRODUÇÃO

O uso da água é de notória importância para a rotina de todas as pessoas, sendo o principal componente para o bom funcionamento do organismo humano, da produção agrícola, do clima, desenvolvimento da flora e fauna e de demais ecossistemas.

¹Bacharela em direito pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). E-mail: helenarochaag@gmail.com.

Contudo, as mudanças climáticas passaram a interferir diretamente nas chuvas, fato que ocasiona o desequilíbrio hídrico e as secas, as quais impedem que os sistemas mencionados operem de forma correta, bem como colaboram com o aumento de temperatura e do índice de incêndios.

A nucleação de nuvens surgiu com o objetivo de amenizar os impactos da falta de precipitação e, conforme notícias divulgadas, obteve sucesso na resolução de problemas sazonais. Como, por exemplo, o êxito na operação de indução que potencializou a ocorrência de 32 (trinta e duas) chuvas durante o período de estiagem no Paraná após a contratação deste serviço pela SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) no ano de 2021.

Ademais, ressalta-se que há uso significativo deste meio fora do Brasil, em locais como os Emirados Árabes Unidos, os Estados Unidos e a China (SOUZA, 2024), corroborando o potencial de expansão do mecanismo em questão.

O procedimento para a nucleação tem início com o monitoramento de nuvens com potencial para semeadura, pois o sucesso da operação depende deste quesito. Após o referido controle, aviões, ou outros meios aéreos, são enviados para lançar as substâncias aglutinantes, como iodeto de prata, cloreto de sódio, carvão ativado e dióxido de carbono, ou apenas água, e induzir a união das gotículas presentes nas nuvens gerando a precipitação (AZEVEDO, 2021).

Atualmente a empresa ModClima, atuante no Brasil, utiliza somente água para realizar a nucleação, mitigando os danos ambientais, contudo, tendo em vista a abrangência deste ramo, há possibilidade do surgimento de novas empresas, as quais podem utilizar substâncias prejudiciais para o meio ambiente, reforçando a necessidade de regulamentação.

Feitas essas breves considerações, formula-se o seguinte problema de pesquisa: quais são as consequências da ausência de limites legais para o uso da técnica de nucleação de nuvens?

É imperioso frisar que eventual prejuízo ambiental sofrido em decorrência da referida prática possuirá notória dificuldade de reversão, por esse motivo a Teoria do Risco Integral é aplicada no ordenamento jurídico aos casos vinculados ao direito ambiental, o que reforça a indispensabilidade do estabelecimento de limites legais no âmbito da nucleação de nuvens.

A metodologia de pesquisa para desenvolvimento desse artigo é o bibliográfico, mediante a forma indutiva, partindo da base geral do direito ambiental para a potencial aplicação da legislação ao caso específico.

O artigo conta com a seguinte composição escrita, na primeira parte haverá a demonstração da relevância da mitigação da escassez hídrica e a explicação do método de nucleação de nuvens, na segunda parte a base do direito ambiental brasileiro será destrinchado, especialmente em relação aos princípios aplicáveis à técnica em espeque, e na terceira parte as potenciais ações preventivas, com base na legislação vigente, serão demonstradas.

2 ESCASSEZ HÍDRICA E NUCLEAÇÃO DE NUVENS

2.1 A ATUAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PERANTE A ESCASSEZ HÍDRICA

A escassez hídrica se faz presente em diversos locais do mundo, sendo um dos principais pontos de atenção a nível mundial.

A Organização das Nações Unidas é a principal apoiadora dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável internacionalmente, visando dirimir impactos indesejáveis à população mundial, garantindo a proteção do meio ambiente e a vida digna a todas as pessoas. Destaca-se que os objetivos mencionados são divididos em 17 (dezesete) pilares, visando seu alcance até no ano de 2030 para o cumprimento da Agenda 2030 (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2015).

A sexta meta inserida nesta atuação corresponde à Gestão Sustentável da Água Potável e Saneamento para Todos e, de acordo com informações fornecidas pelas Nações Unidas Brasil, há enfoque no enfrentamento da escassez, consubstanciando a importância deste recurso para a humanidade.

6.4. Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água. (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2015)

2.2. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA)

Buscando cumprir as metas definidas, no Brasil, a atuação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) é indispensável, pois apesar de sua instituição decorrer da Lei das Águas do Brasil e do marco legal do saneamento básico, a atividade desempenhada envolve diretamente os objetivos de desenvolvimento sustentável, visto que consiste na regulação, monitoramento, planejamento de questões ligadas aos recursos hídricos do país, bem como a aplicação das leis vinculadas a estes (ANA, 2020).

O aludido monitoramento possui enfoque no rastreamento do nível pluvial e fluvial, almejando a prevenção de eventos como secas e inundações, e na garantia do acesso à água (ANA, 2020).

No que tange ao acompanhamento das secas, ressalta-se que é realizada uma classificação de intensidade, tipos de impacto e delimitação destas, por região. No mês de janeiro de 2026, por exemplo, houve registro de seca extrema na Região Nordeste, seca fraca nas Regiões Sul, Sudeste e

Centro-Oeste e seca moderada na Região Norte (ANA, 2026).

Há regiões brasileiras que, em diferentes períodos, adotaram medidas para atenuar a escassez hídrica, especialmente quando causada pela ausência ou baixo percentual de precipitações. Uma das medidas utilizadas foi a nucleação artificial de nuvens, executada no estado do Ceará em 1950 e na Bahia em 2012, sendo que somente nesta houve um resultado satisfatório (AZEVEDO, 2021).

Mediante a evolução tecnológica a referida medida, antes utilizada esporadicamente, passou a se expandir e apresentar resultados significativos. A Companhia de Saneamento do Paraná apresentou um exemplo claro da efetividade da técnica de nucleação artificial, visto que teve sucesso nos serviços contratados para indução de chuvas no período de dezembro de 2020 a maio de 2021, incrementando as bacias das barragens de abastecimento público com 6,5 bilhões de litros de água e contribuindo para a mitigação dos efeitos da estiagem severa (SANEPAR, 2021).

2.3. O MÉTODO DE NUCLEAÇÃO DE NUVENS

A indução de chuvas se inicia com o monitoramento das nuvens com aptidão para a semeadura, tendo em vista que o processo de nucleação somente terá altas chances de sucesso se atendido este quesito. Após esta filtragem são enviados aviões ou drones para dispersarem as substâncias responsáveis pela aglutinação, as quais podem ser compostas de carvão ativado, iodeto de prata, cloreto de sódio, dióxido de carbono ou apenas água, contribuindo para a união das gotículas preexistentes nas nuvens e acelerando a precipitação (AZEVEDO, 2021).

O referido procedimento, apesar de incipiente no Brasil, é reproduzido com maior frequência em países como a China, a qual perante a atuação da Administração Meteorológica teve êxito na indução de chuva artificial estimulada por drones mediante a disseminação do iodeto de prata como aglutinante, ato que gerou o aumento de 4% na precipitação do local, correspondente a 70.000 metros cúbicos (AGLE, 2025).

Nos Emirados Árabes Unidos, especificamente na cidade de Dubai, drones foram lançados a fim de conter ondas de calor próximas a 50° C, propiciando o início de chuvas torrenciais, pois os choques de energia em contato com as gotículas das nuvens as tornam mais passíveis à precipitação. O procedimento mencionado também foi exitoso. Imperioso ressaltar que o referido país conduziu 242 missões de semeadura de nuvens somente em 2017, demonstrando a importância desta técnica para os locais com secas notórias (NEUMAN, 2021).

Destarte, a evolução tecnológica e as alterações climáticas corroboram a tendência de disseminação da técnica de nucleação.

O método em questão se mostra eficiente para mitigar os efeitos da escassez hídrica, no entanto, as consequências deste tipo de atividade também devem ser consideradas. Dentre os riscos presentes na referida técnica, os possíveis danos ambientais e à saúde possuem destaque, pois a utilização de produtos químicos aglutinantes pode contaminar a água, impactando na fauna e na flora. Além desses fatores, a manipulação do ciclo natural das chuvas também carrega a possibilidade de gerar desequilíbrio ao meio ambiente, provocando secas ou inundações (AZEVEDO, 2021).

Outrossim, as alterações decorrentes da prática de nucleação também têm capacidade de gerar conflitos diplomáticos com os territórios próximos, conforme destacado por Jacques (2024 apud SOUZA, 2024):

A interferência com o clima levanta todos os tipos de questões éticas, uma vez que a mudança do clima num país pode levar a impactos catastróficos noutro, afinal, o clima não reconhece fronteiras intencionais. Se não tomarmos cuidado, o uso desenfreado desta tecnologia pode acabar causando **instabilidades diplomáticas** com os países vizinhos envolvidos em “guerras climáticas” de olho por olho. (JACQUES, 2024 apud SOUZA, 2024, grifo nosso)

Portanto, a regulamentação desta atividade é indispensável para o desenvolvimento sustentável, bem como a estabilidade diplomática.

2.4. REGULAMENTAÇÃO DAS CHUVAS ARTIFICIAIS NOS EMIRADOS ÁRABES UNIDOS

Os Emirados Árabes Unidos possuem um Centro Nacional de Meteorologia, internacionalmente denominado NCM (*National Center for Meteorology*), criado no ano de 2007, mediante decreto federal e regulamentado pela Lei nº (6) de 2007. Dentre todas as atribuições vinculadas ao NCM, há enfoque ao compromisso em prestar serviços meteorológicos e climáticos (NCM, 2007).

Artigo 3: O centro tem como objetivo integrar as fontes de informação meteorológica e sísmica, monitorando as mudanças que ocorrem na atmosfera, fornecendo serviços meteorológicos e de engenharia sísmica a todos os setores, **em conformidade com as leis e regulamentos aplicáveis no país**, além de promover o **intercâmbio de dados e informações** relacionados a esse objetivo em nível regional e internacional, acompanhando o progresso científico e a implementação de estudos e pesquisas na área de atuação do centro (NCM, 2007, grifo nosso).

Nota-se que a evolução tecnológica é acompanhada pela legislação e regulamentos vigentes nos Emirados Árabes Unidos, portanto, o fato de garantirem o intercâmbio de dados a nível regional e internacional, como também efetuarem estudos aprofundados, gera segurança jurídica para o exercício da nucleação de nuvens e a construção de uma base de dados robusta para a evolução desta operação.

Outro fator a ser sopesado consiste no fornecimento de informações à UNDRR (*United Nations Office for Disaster Risk Reduction*), responsável pela redução de riscos e desastres no mundo, atuante no país mencionado mediante o fortalecimento de alerta precoce de riscos, a orientação quando à prevenção, recuperação e preparação perante eventuais desastres e para subsidiar planejamentos nacionais e locais relacionados a estes assuntos (UNDRR, 2007).

Diante do exposto, resta evidente que a ausência de previsões legais e regulamentadoras no Brasil a nível nacional abre brecha para danos dificilmente reversíveis no meio ambiente e, no âmbito internacional, dificulta a previsibilidade de riscos, afetando consequentemente os atos de prevenção e projeção de subsídios para planejamentos vinculados à prática em espeque.

2.5. POTENCIAL DE CRESCIMENTO DA SEMEADURA DE NUVENS NO BRASIL

A empresa ModClima é uma das especializadas nesta atuação no campo nacional, utilizando a água para execução da aglutinação, fato que mitiga os danos ambientais quanto à possibilidade de contaminação por aglutinantes químicos. No entanto, em razão das alterações climáticas atuais e da evolução tecnológica a possibilidade de surgir novas empresas que trabalham com aglutinadores prejudiciais é relevante, pois além de abastecer os reservatórios as chuvas contribuem diretamente para a agricultura, fomentando o mercado de semeadura de nuvens (COMPRE RURAL, 2023).

O agronegócio depende da água para o cultivo adequado da produção agrícola, portanto, sua falta também gera eventuais prejuízos. Na região Centro-Oeste há influência direta deste déficit durante as segundas safras anuais, especialmente a do milho, portanto, estudos foram realizados para verificar a possibilidade da realização da semeadura de nuvens como método de mitigação dos danos causados pela seca, obtendo resultado positivo para a execução da mencionada técnica (GONZAGA, 2023).

Tendo em vista que a agricultura é um dos principais pilares econômicos do Brasil e garante a segurança alimentar da população, geração de emprego e criação de indústrias (LAMA, 2023), a disseminação do método citado para diminuir as alterações meteorológicas possui notório potencial e, com isso, há risco de execuções incorretas da técnica de nucleação de nuvens, causando impacto direto no ecossistema.

Desse modo, repisa-se que o ordenamento jurídico possui função relevante para assegurar o direito fundamental ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, conforme prevê a Constituição Federal (BRASIL, 1988), portanto, a indispensabilidade da elaboração de lei específica para a técnica de nucleação de nuvens é relevante.

3 DIREITO AMBIENTAL BRASILEIRO

3.1. PRINCÍPIOS DO DIREITO AMBIENTAL

O direito ambiental brasileiro é regido por diversos princípios, os quais integram a base indispensável para a execução e interpretação das leis e regulamentações que compõem o sistema jurídico ambiental, garantindo adequada aplicação do direito ao caso concreto.

No que tange ao direito ambiental, há pilares teóricos que se destacam para embasar o presente estudo, consistentes nos seguintes princípios: meio ambiente ecologicamente equilibrado; precaução; prevenção.

O princípio do meio ambiente equilibrado está diretamente vinculado à dignidade da pessoa humana, visto que o bem-estar dos cidadãos depende da qualidade do meio ambiente e, somente a partir disso, é possível exercer plenamente os demais direitos. Destarte, o mencionado pilar possui características robustas, como a indisponibilidade, indivisibilidade e impenhorabilidade (GUIMARÃES, 2023). Assim, novas técnicas que modificam o ciclo natural necessitam de embasamento científico e legal, no âmbito nacional, pois, caso contrário, haverá afronta a um direito fundamental.

No que concerne a prevenção, esta tem como objetivo o afastamento de perigo certo e conhecido, ou seja, visa impedir as consequências já comprovadas por estudos científicos mediante a exigência de licenças ambientais, estudos de impacto ambiental, restrições administrativas e demais medidas preventivas (GUIMARÃES, 2023). A vinculação da nucleação de nuvens com o princípio mencionado, decorre da possível regulamentação proibitória do uso de substâncias aglutinadoras que podem se tornar latentes poluidoras. O iodeto de prata é um exemplo claro, pois se exposto em excesso causa argiria em seres vivos. Ademais, os outros produtos químicos utilizados possuem potencial para diminuir a atividade anaeróbica de micro-organismos, causando impacto à biodiversidade e ecossistemas locais. (AZEVEDO, 2021).

Ao se tratar do princípio precaução, é imperioso salientar que ele tem como objetivo o afastamento de um perigo abstrato, ou seja, uma ameaça sem comprovação científica acerca do risco da atividade e possíveis danos decorrentes de um ato, portanto, incentiva a adoção de medidas que visam dirimir ou eliminar eventuais danos (GUIMARÃES, 2023). Isto posto, ressalta-se que a prática da sementeira de nuvens gera preocupação em relação a um potencial impacto no clima segundo Azevedo (2021), causando desequilíbrio ambiental em região não prevista, alterações nos padrões climáticos, precipitação irregular e fenômenos meteorológicos intensos, os quais devem ser levados em conta para a normatização do manejo deste trabalho.

3.2. LEI GERAL DO LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Ainda se tratando do sistema jurídico relacionado ao direito ambiental, faz-se necessária a menção à lei nº 15.190 de 8 de agosto de 2025, responsável por regular o licenciamento ambiental no Brasil, fixando a forma e as diretrizes para a realização dos processos de licenciamento, bem como a finalidade destes procedimentos, conforme segue:

Art. 1º Esta Lei, denominada Lei Geral do Licenciamento Ambiental, estabelece normas gerais para o **licenciamento de atividade ou de empreendimento utilizador de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidor ou capaz, sob qualquer forma, de causar degradação do meio ambiente**, previsto no art. 10 da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.

§ 1º As disposições desta Lei aplicam-se ao licenciamento ambiental realizado perante os órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), observadas as atribuições estabelecidas na Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011.

§ 2º O licenciamento ambiental deve prezar pela participação pública, pela transparência, pela preponderância do interesse público, pela celeridade e economia processual, **pela prevenção do dano ambiental, pelo desenvolvimento sustentável, pela análise dos impactos e, quando couber, dos riscos ambientais**. (BRASIL, 2025, grifo nosso)

Constata-se que a legislação citada engloba o princípio da prevenção, o desenvolvimento sustentável e a análise de riscos ambientais, logo, todos estes quesitos colaboram para que o ordenamento jurídico acompanhe as inovações que interferem diretamente no meio ambiente.

Desse modo, tendo em vista a técnica inovadora em exposição, faz-se necessário o estudo aprofundado dos possíveis danos a serem mitigados. Portanto, para que isso ocorra há previsão legal determinando a realização do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), o qual é analisado a fim de corroborar os fatos para o eventual deferimento de licenciamento ambiental de atividades e empreendimentos, ou impedir que ele seja deferido, caso as condições apresentadas não estejam em consonância com as normas ambientais.

Art. 29. O EIA deve contemplar:

I - concepção e características principais da atividade ou do empreendimento e identificação dos processos e dos serviços e produtos que o compõem, bem como identificação e análise das principais alternativas tecnológicas e locacionais, quando couber, confrontando-as entre si e com a hipótese de não implantação da atividade ou do empreendimento;

II - definição dos limites geográficos da AE e da ADA e da atividade ou do empreendimento;

III - diagnóstico ambiental da ADA e das áreas de influência direta e indireta da atividade ou do empreendimento, com a análise integrada dos elementos e atributos dos meios físico, biótico e socioeconômico que podem ser afetados;

IV - análise dos impactos ambientais da atividade ou do empreendimento, consideradas as alternativas escolhidas, por meio da identificação, da previsão da magnitude e da interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando-os em negativos e positivos, de curto, médio e longo prazos, temporários e permanentes, considerados seu grau de reversibilidade e suas propriedades cumulativas e sinérgicas, bem como a distribuição dos ônus e dos benefícios sociais e a existência ou o planejamento de outras atividades ou empreendimentos de mesma natureza nas áreas de influência direta e indireta;

- V - definição dos limites geográficos da AID e da AII da atividade ou do empreendimento;
- VI - prognóstico do meio ambiente na ADA e na AID da atividade ou do empreendimento, nas hipóteses de sua implantação ou não;
- VII - definição das medidas para prevenir, mitigar ou compensar os impactos ambientais negativos da atividade ou do empreendimento, incluídos os decorrentes da sua desativação, conforme a hierarquia prevista no caput do art. 14 desta Lei, bem como das medidas de recuperação ambiental necessárias;
- VIII - análise de risco ambiental da atividade ou do empreendimento, quando estipulado nos termos do § 1º do art. 18 desta Lei;
- IX - elaboração de programas de acompanhamento e monitoramento dos impactos positivos e negativos, com indicação dos fatores e parâmetros a serem considerados; e
- X - conclusão sobre a viabilidade ambiental da atividade ou do empreendimento. (BRASIL, 2025)

Decorrente do exposto e mediante a análise do artigo nº 29 da Lei Geral do Licenciamento Ambiental, constata-se que os requisitos fixados são específicos, propiciando a efetiva análise de riscos e impactos ao meio natural, fato que auxilia na diminuição de consequências negativas e torna o licenciamento ambiental efetivo.

Assim sendo, reitera-se que o sistema jurídico brasileiro apresenta potencial capacidade para legislar acerca de novos métodos e atividades a partir de estudos aprofundados, garantindo segurança à população.

No mais, ao versar sobre recursos hídricos, a referência à lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 é indispensável, visto que possui objetivos que se vinculam diretamente aos princípios citados, inclusive no que tange a prevenção de eventos hidrológicos críticos.

2º São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

- I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo a geração de energia elétrica e o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; (Redação dada pela Lei nº 15.269, de 2025)
- III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.**
- IV - incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais. (Incluído pela Lei nº 13.501, de 2017)
- V - **garantir a segurança hídrica** e energética por meio do incentivo e da promoção de obras de acumulação de água. (Incluído pela Lei nº 15.269, de 2025) (BRASIL, 1997, grifo nosso)

Ademais, a referida lei também prevê métodos para a garantia do equilíbrio entre os interesses econômicos e sociais, visto que água é um elemento com potencial escassez, de forma que garanta sua preservação e acessibilidade.

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

- I - a água é um bem de domínio público;
- II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;**
- III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;**
- IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- 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. (BRASIL, 1997, grifo nosso)

3.3. TEORIA DO RISCO INTEGRAL NO DIREITO AMBIENTAL

Ao se tratar dos possíveis danos decorrentes da técnica em exposição, vale ressaltar que o Direito Ambiental acolhe com maior vigor a teoria do risco integral, a qual define que a responsabilidade civil do causador da poluição é objetiva, excluindo, predominantemente, as possibilidades de utilização de excludentes como força maior ou caso fortuito, visto que possui como fundamento o vínculo entre a conduta e os danos ambientais, por vezes irreversíveis (PINTO, 2025).

Portanto, caso haja consequências ambientais decorrentes de atividades vinculadas à natureza, independentemente de culpa, haverá responsabilização administrativa, civil ou penal, a depender do caso concreto (PINTO, 2025). Assim, fica evidente que qualquer conduta lesiva ao meio ambiente deverá ser reparada.

3.4. DIREITO AMBIENTAL NACIONAL COMO BASE PARA CRIAÇÃO DE NOVAS LEIS

Ante todo o exposto, verifica-se que o direito ambiental nacional possui base sólida para viabilizar a elaboração de novas legislações e regulamentações ao ordenamento jurídico ou a adaptação de normas já existentes, seja em relação aos recursos hídricos ou às demais riquezas naturais, visando acompanhar a evolução tecnológica que influencia diretamente no ciclo comum do meio ambiente.

Ademais, é imperioso frisar que os princípios mencionados e as leis vigentes relacionadas à natureza estão em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável extremamente visados pela Organização das Nações Unidas para o cumprimento da Agenda 2030, destacando a importância a nível internacional da prevenção de danos e regulamentação de atividades que interferem no ecossistema.

4 AÇÕES PREVENTIVAS

No que concerne às potenciais medidas preventivas, destaca-se que no âmbito jurídico há a possibilidade de utilização da analogia, a qual é aplicada quando uma conduta não possui previsão legal específica, mas apresenta semelhança com fatos regulamentados (DIMAS, 2017).

Nesse contexto, no que se refere à regulamentação cautelar da nucleação de nuvens, o ponto

de partida adequado consiste na exigência do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) antes da concessão de licença para a prática do método, embasado no artigo nº 29 da Lei Geral do Licenciamento Ambiental (BRASIL, 2025), objetivando a inclusão da referida atividade no rol exemplificativo do artigo 2º da Resolução Conama nº 1 de 1986:

Art. 2º Dependerá de elaboração de estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental - RIMA, a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e da Secretaria Especial do Meio Ambiente - SEMA157 em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como: [...] (BRASIL, 1986, *grifo nosso*)

No mais, ressalta-se que a Constituição Federal de 1988 prevê em seu artigo 225, § 1º, IV, que o Poder Público deve assegurar a efetividade do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, sendo a exigência do estudo citado um dos requisitos fixados.

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. [...]
§ 1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público: [...]
IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade; [...]. (BRASIL, 1988)

Assim, tendo em vista que os potenciais danos gerados pela produção de chuvas artificiais necessitam de análise, tanto em relação às alterações causadas pelas substâncias aglutinadoras quanto às alterações climáticas, o referido estudo é indispensável para a permissão do início de atividades dessa natureza, pautada na reversibilidade ou não das consequências.

Verifica-se que o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) deve contemplar a definição dos limites geográficos da atividade e o prognóstico do meio ambiente deste, com fulcro nos incisos II, III, V e VI do artigo 29 da lei nº 15.190 de 8 de agosto de 2025, logo, para a análise da viabilidade da sementeira de nuvens, há possibilidade de cruzamento de dados com as informações monitoradas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, atuando como auxiliar para a elaboração do relatório (ANA, 2020).

Ressalta-se que o Brasil possui um grande território e cada região é contemplada por um clima diferente, portanto, o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) viabiliza a distinção das peculiaridades de cada região e das estações do ano que a atividade pretende ser implementada, dirimindo eventuais desequilíbrios.

Concluído o referido estudo, o trâmite para emissão de Licença Prévia para a sementeira de nuvens teria início, em consonância ao Artigo 5º da lei nº 15.190 de 8 de agosto de 2015:

Art. 5º O licenciamento ambiental pode resultar nos seguintes tipos de licença:
I - **Licença Prévia (LP)**;
II - Licença de Instalação (LI);
III - Licença de Operação (LO);
IV - Licença Ambiental Única (LAU);
V - Licença por Adesão e Compromisso (LAC);

VI - Licença de Operação Corretiva (LOC);

VII - Licença Ambiental Especial (LAE).

§ 1º São requisitos para a emissão da licença ambiental:

I - EIA ou demais estudos ambientais, conforme TR definido pela autoridade licenciadora, para a LP e a LAE; (BRASIL, 2025, grifo nosso)

A Licença Prévia estabelece requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos na próxima fase de implantação, inclusive exigindo apresentação de medidas de controle de possíveis impactos ambientais (BRASIL, 2018). Portanto, no que tange a técnica em espeque, a limitação do percentual de uso dos aglutinadores na execução do método e das quantidades de nuvens a serem induzidas à precipitação devem ser estipulados a título de pressuposto condicionante, mitigando futuros danos. Contudo, caso a atividade apresente condição lesiva ao meio ambiente, por motivos excepcionais, o poluidor se responsabilizará em razão da aplicação da teoria do risco integral.

Nesta senda, é imperioso frisar que os atos mencionados, os quais possuem potencial aplicação ao caso em debate, estão vigentes no ordenamento jurídico brasileiro e atendem aos princípios da precaução, prevenção e meio ambiente equilibrado. Portanto, mostram-se aptos a embasar a regulamentação preventiva, mediante analogia, visando o preenchimento das lacunas legislativas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Consoante o andamento da presente pesquisa, constata-se que a escassez hídrica é um problema existente e com possibilidade de aumento no decorrer dos anos, fato que influencia diretamente em âmbitos sociais, econômicos, naturais e pessoais. A veracidade da referida informação é corroborada pela notória atuação da Organização das Nações Unidas para diminuir os problemas gerados por esta situação.

Haja vista a situação preocupante, a nível mundial, a técnica de nucleação de nuvens foi desenvolvida para auxiliar no aumento dos níveis de chuva. O mecanismo foi utilizado no Brasil, com sucesso em sua execução, demonstrando o potencial de crescimento desta atividade, especialmente nos setores de abastecimento e agronegócio.

Ocorre que atualmente não há regulamentação específica para esta técnica no sistema jurídico brasileiro, caracterizando um ponto de atenção, visto que algumas substâncias aglutinadoras usadas podem gerar danos ao meio ambiente, caso aplicadas em excesso, e há possibilidade de alterações meteorológicas intensas em decorrência das alterações no ciclo da natureza.

Diante disso, a ausência de limites legais para o uso da nucleação de nuvens abre margem para a realização de procedimentos incorretos, sendo necessária a delimitação de requisitos para a

execução da semeadura de nuvens, especialmente no que concerne os tipos de aglutinadores a serem utilizados.

Ante o exposto, ressalta-se que Direito Ambiental Brasileiro possui uma base robusta, composta por princípios, direitos fundamentais e leis específicas, os quais definem métodos de mitigação de danos à natureza, portanto, o potencial de aplicação da legislação existente ao caso específico mediante analogia é significativo, conforme demonstrado nesta pesquisa.

Assim, a regulamentação preventiva é essencial para que a legislação acompanhe as evoluções tecnológicas com o enfoque de mitigar eventuais prejuízos ambientais, sociais e econômicos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Institucional**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/institucional>. Acesso em: 14 de março de 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Monitor de secas**. Brasília, 2026. Disponível em: <https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa?mes=1&ano=2026>. Acesso em: 14 de março de 2026.

AGLE, Jorge. **Cientistas fazem chover o equivalente a 30 piscinas em deserto**. Disponível em: <https://www.metropoles.com/ciencia/experimento-chuva-deserto>. Acesso em: 14 de março de 2026.

AZEVEDO, Julia. **Chuva artificial: Solução para secas ou risco ambiental?** São Paulo: Ecycle, 28 de maio de 2021. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/chuva-artificial/>. Acesso em: 14 março 2026.

AZEVEDO, Julia. **Semeadura de nuvens: o que é e riscos**. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/semeadura-de-nuvens/>. Acesso em: 10 de dezembro de 2025.

BRASIL. 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. Brasília, DF, 1986. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=745. Acesso em: 15 de março de 2026.

BRASIL. **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: 14 março 2026

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. Brasília, DF: Presidência da República, 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 14 de março de 2026.

BRASIL. **Lei nº 15.190, de 8 de agosto de 2025**. Dispõe sobre o licenciamento ambiental; regulamenta o inciso IV do §1º do art. 225 da Constituição Federal; altera as Leis nºs 9.605/1998, 9.985/2000 e 6.938/1981; revoga dispositivos das Leis nºs 7.661/1988 e 11.428/2006; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2025. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/115190.htm. Acesso em: 14 de maio. 2026.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Etapas do licenciamento**. Portal Nacional de Licenciamento Ambiental (PNLA). Disponível em: <https://pnla.mma.gov.br/etapas-do-licenciamento>. Acesso em: 15 de março 2026.

BITTENCOURT, Marcus Vinicius Corrêa. Estudo de Impacto Ambiental. 13 de junho de 2006. Disponível em: <https://www.migalhas.com.br/depeso/26107/estudo-de-impacto-ambiental>. Acesso em: 15 de março de 2026.

COMPRE RURAL. **“Só falta fazer chover”, empresa está semeando chuvas no Brasil**. 02 de março 2023. Disponível em: <https://www.comprerural.com/so-falta-fazer-chover-empresa-esta-semeando-chuvas-no-brasil/>. Acesso em: 14 março 2026.

DIMAS, Daniele. **Lacunas da lei: equidade, analogia e antinomia jurídica**. São Paulo, 16 de agosto de 2017. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/artigos/lacunas-da-lei-equidade-analogia-e-antinomia-juridica/488591252>. Acesso em: 15 de março de 2026.

GONZAGA FILHO, L.B. e Silva, T.A. da . 2023. Viabilidade Técnica Da Semeadura De Nuvens Como Alternativa Para Minimizar Impactos Da Seca Na Agricultura Do Centro-Oeste: Feasibility Study Of Cloud Seeding To Mitigate Agricultural Losses During Drought In The Midwest. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**. 3, 5 (dez. 2023), 277–302. Disponível em: <https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/202> Acesso em: 12 de dezembro de 2025.

GUIMARÃES, Ana Luiza Tiburcio. **Princípios de Direito Ambiental**. 13 de novembro de 2023. Disponível em: <https://cj.estrategia.com/porta1/principios-direito-ambiental/>. Acesso em: 10 de dezembro de 2025.

INFORMADO, Não. **Método Indutivo e Dedutivo: compreendendo as abordagens**. Disponível em: <https://www.edusense.com.br/blog/metodo-indutivo-e-dedutivo/> Acesso em: 12 de dezembro de 2025.

INFORMADO, Não. **Direito ambiental e mudanças climáticas: desafios legais e atuação jurídica**. 13 nov. 2025. Disponível em: <https://legale.com.br/blog/direito-ambiental-e-mudancas-climaticas-desafios-legais-e-atuacao-juridica/>. Acesso em: 14 de março 2026

LAMAS, Fernando Mendes. **A evolução da agricultura no Brasil**. Julho de 2023. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/a-evolucao-da-agricultura-do-brasil>. Acesso em: 14 de março de 2026.

MODCLIMA. **Empresa e Tecnologia**. Disponível em: <https://modclima.com.br/a-empresa/>. Acesso em: 14 de março de 2026.

MOREIRA, Ana Carolina Pires. **Desempenho operacional da técnica de sementeira de nuvens com água potável visando a indução de chuvas localizadas nas principais bacias de contribuição do sistema de abastecimento de água integrado de Curitiba e região metropolitana.** Revista ModClima. Disponível em: <https://modclima.com.br/wp-content/uploads/2022/10/sanepar-projeto-2021.pdf>. Acesso em: 10 de dezembro de 2025.]

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** Brasília: ONU Brasil, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 14 março de 2026.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável/Água potável e saneamento.** Brasília: ONU Brasil, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>. Acesso em: 14 março de 2026.

NATIONAL CENTER OF METEOROLOGY (NCM). **About NCM.** United Arab Emirates. 2007. Disponível em: <https://www.ncm.gov.ae/pages/about-ncm?lang=en>. Acesso em 14 março de 2026.

NEUMAM, Camila. **Dubai usa drones para fazer chuva artificial e conter calor de quase 50°C.** São Paulo: CNN Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/dubai-usa-drones-para-fazer-chuva-artificial-e-conter-calor-de-quase-50c/>. Acesso em: 14 março de 2026

PEIXOTO, Roberto. **Mudanças climáticas foram a principal causa da grave seca na Amazônia em 2023, aponta estudo.** Disponível em: <https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2024/01/24/mudancas-climaticas-foram-a-principal-cao-da-grave-seca-na-amazonia-em-2023-aponta-estudo.ghtml>. Acesso em: 10 de dezembro de 2025.

PINTO, Lucas Velasques da Costa. **A teoria do risco integral: O escudo constitucional do meio ambiente.** 15 de agosto de 2025. Disponível em: <https://www.migalhas.com.br/depeso/436783/a-teoria-do-risco-integral-o-escudo-constitucional-do-meio-ambiente>. Acesso em: 10 de dezembro de 2025.

SENAPAR. **Sementeira de nuvens adotada pela Sanepar induziu chuvas acima de 17 bilhões de litros.** Paraná, 2021. Disponível em: <https://www.parana.pr.gov.br/aen/Noticia/Sementeira-de-nuvens-adotada-pela-Sanepar-induziu-chuvas-acima-de-17-bilhoes-de-litros>. Acesso em: 10 de dezembro de 2025.

SOUSA, Diego. **Sementeira de nuvens: como países implementaram a técnica de modificação climática.** 2024. Disponível em: <https://istoe.com.br/sementeira-de-nuvens-como-paises-implementaram-a-tecnica-de-modificacao-climatica>. Acesso em: 12 de dezembro de 2025.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Our Work.** Disponível em: <https://www.undrr.org/our-work>. Acesso em: 14 de março de 2026.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Regional Office for Arab States.** UNDRR, 2007. Disponível em: <https://www.undrr.org/about-undrr/where-we-work/arab-states>. Acesso em: 14 de março de 2026.