

CIÊNCIA DA ATRIBUIÇÃO E SUA RELEVÂNCIA PARA A RESPONSABILIZAÇÃO CIVIL EM LITÍGIOS CLIMÁTICOS

ATTRIBUTION SCIENCE AND ITS RELEVANCE TO CIVIL LIABILITY IN CLIMATE LITIGATION

ANEÍZA VANÊSSA COSTA DO NASCIMENTO -

Juíza de Direito do Tribunal de Justiça do Estado do Paraná. Mestre em Fundamentos da Responsabilidade Civil pela Universidade de Girona (Espanha); pós-graduada pela EMERJ; pesquisadora do Núcleo de Estudos em Direito Civil-Constitucional da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Autora da obra *Nexo Causal em Litígios Climáticos* (Lumen Juris) e coautora da obra coletiva *Olhares de Antígona – Volume II* (Editora Toth). E-mail: aneizavanessa@gmail.com. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1415046334454626>

O artigo examina a ciência da atribuição e sua interface com a responsabilidade civil em litígios climáticos. Objetiva avaliar a relevância dessa ciência para a reconstrução do nexa causal, ao contextualizar a emergência climática e a judicialização dos eventos extremos, apresentar seus métodos e aplicações, e discutir seu potencial probatório. Adota pesquisa documental e analítica, com estrutura em seções temáticas, baseada em evidências científicas (modelos climáticos, dados observacionais e cenários contrafactuais) e lógica probabilística de causalidade. Conclui que a ciência da atribuição reduz a distância entre reconhecimento abstrato dos impactos e prova concreta do nexa causal, harmoniza-se com modelos contemporâneos de causalidade (contribuição qualificada e incremento de risco) e demanda recepção judicial criteriosa em razão de incertezas metodológicas.

Palavras-chave: Emergência climática; Ciência da atribuição; Responsabilidade civil; Nexa causal; Litígios climáticos

The article examines the attribution science and its interface with civil liability in climate litigation. It aims to assess the relevance of attribution science to reconstruct causal nexa by contextualizing the climate emergency and the judicialization of extremes, presenting its foundations, methods and applications, and discussing its evidentiary potential. It adopts a documentary and analytical approach, structured in thematic sections, grounded in scientific evidence (climate models, observational data and counterfactual scenarios) and a probabilistic causality framework. It concludes that attribution science narrows the gap between abstract acknowledgment of impacts and concrete proof of causation, aligns with contemporary causality models (qualified contribution and risk increase), and requires careful judicial reception due to methodological uncertainties.

Keywords: Climate emergency; Attribution science; Civil liability; Causal nexa; Climate litigation

INTRODUÇÃO

A intensificação e a recorrência de eventos climáticos extremos, como ondas de calor, secas prolongadas, enchentes, tempestades e incêndios florestais, configuram um dos traços mais evidentes da emergência climática contemporânea. Esses fenômenos vêm produzindo impactos expressivos sobre pessoas, comunidades, ecossistemas e economias, ampliando riscos sociais, ambientais e patrimoniais e colocando em tensão a capacidade dos sistemas jurídicos de oferecer respostas adequadas à nova realidade imposta pelas mudanças climáticas globais.

Nesse contexto, observa-se, em escala internacional, um crescimento significativo da judicialização de litígios relacionados ao clima, com o deslocamento do debate climático para o âmbito do Poder Judiciário. Estados, empresas e outros agentes passam a ser demandados em ações que buscam não apenas a tutela preventiva de direitos fundamentais, mas também a responsabilização civil por danos associados a eventos extremos e a omissões ou condutas contribuintes para o agravamento das mudanças climáticas.

A atribuição de responsabilidade civil nesses litígios, entretanto, revela-se especialmente complexa. Diferentemente das hipóteses tradicionais de responsabilidade civil ambiental, em que o dano costuma ser localizado e diretamente imputável a uma conduta específica, os danos climáticos decorrem de cadeias causais longas, cumulativas, difusas e de alcance global. Além disso, envolvem a interação entre variabilidade climática natural e influência humana, o que desafia os critérios clássicos de demonstração do nexa causal no direito civil.

É nesse cenário que emerge, com crescente relevância científica e jurídica, a chamada ciência da atribuição. Desenvolvida no campo da climatologia, essa ciência busca identificar se, e em que medida, as mudanças climáticas de origem humana alteraram a probabilidade ou a intensidade de eventos climáticos específicos.

Ao empregar modelos climáticos, dados observacionais e análises contrafactuais — entendidas como a comparação entre o mundo real, marcado pela influência causada pelas atividades humanas decorrente das emissões de gases de efeito estufa, e um cenário hipotético em que tal influência não existiria, a ciência da atribuição permite ultrapassar explicações genéricas sobre o aquecimento global, oferecendo evidências empíricas contextualizadas acerca da contribuição humana para eventos extremos concretos.

A relevância desse campo para o Direito decorre de seu potencial para reduzir a lacuna frequentemente identificada entre o reconhecimento abstrato dos efeitos nocivos das mudanças climáticas e a necessidade de comprovação concreta do nexo causal em casos judiciais. Ao operar com uma lógica probabilística e de contribuição causal qualificada, a ciência da atribuição apresenta-se como instrumento capaz de dialogar com modelos contemporâneos de causalidade, especialmente em contextos de causalidade complexa, concorrente e cumulativa, típicos da responsabilidade civil ambiental e climática.

Diante desse panorama, o presente artigo tem por objetivo geral analisar a ciência da atribuição e examinar sua relevância para a fundamentação da responsabilidade civil no contexto das mudanças climáticas. Como

objetivos específicos, busca-se: (i) contextualizar a emergência climática e o fenômeno da judicialização dos eventos extremos; (ii) apresentar o conceito, a evolução histórica e a metodologia da ciência da atribuição; (iii) examinar seus resultados empíricos e aplicações práticas; e (iv) avaliar seu potencial como instrumento probatório para a reconstrução do nexo causal em litígios climáticos.

A justificativa do estudo reside na necessidade de aproximar o Direito das ferramentas científicas atualmente disponíveis para compreender e enfrentar os desafios impostos pela emergência climática, sem perder de vista os limites epistemológicos e normativos dessa aproximação. Ao explorar a interface entre ciência do clima e responsabilidade civil, o artigo pretende contribuir para o aprimoramento do debate jurídico contemporâneo, oferecendo subsídios teóricos e metodológicos para uma análise mais consistente, racional e adequada do nexo causal em ações climáticas.

1 EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E A JUDICIALIZAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS

O reconhecimento da emergência climática impulsiona a crescente judicialização baseada nos danos ou risco de danos causados por eventos extremos, deslocando o debate climático para o âmbito do Poder Judiciário.

Compreender esse movimento exige, inicialmente, a análise da intensificação dos eventos extremos e, em seguida, do panorama dos litígios climáticos contemporâneos.

Partindo dessa contextualização inicial, impõe-se examinar como a intensificação dos eventos climáticos extremos tem sido

progressivamente reconhecida no plano jurídico, dando origem a um movimento crescente de judicialização da emergência climática.

1.1. Intensificação dos eventos climáticos extremos no contexto das mudanças climáticas

Ondas de calor e de frio intenso, secas prolongadas e severas, enchentes, ciclones, extinção de geleiras, acidificação dos oceanos, incêndios florestais e até mesmo o aumento das turbulências extremas em voos, têm se tornado cada vez mais frequentes e intensas, configurando um dos traços mais visíveis das mudanças climáticas atuais. Esses fenômenos provocam impactos diretos sobre pessoas, comunidades e ecossistemas, ao mesmo tempo em que desafiam a capacidade das sociedades de prevenir, adaptar-se e responder a tais eventos.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), órgão científico vinculado à Organização das Nações Unidas, reúne, avalia e sintetiza o conhecimento global sobre mudanças climáticas, seus impactos, riscos e possibilidades de mitigação e adaptação, com base na evidência científica disponível. Conforme consolidado em seu relatório mais recente, publicado março de 2023 (Relatório Síntese do Sexto Relatório de Avaliação, IPCC AR6), o aquecimento global influenciado pela ação humana alterou o regime climático para

além da variabilidade natural, aumentando a frequência e a intensidade de eventos extremos, como ondas de calor, secas, chuvas intensas, enchentes e incêndios florestais.

Os dados do IPCC mostram que esses impactos já se materializam em perdas de biodiversidade, degradação de ecossistemas e danos irreversíveis em escalas de tempo humanas, além de efeitos desiguais sobre a sociedade, atingindo de forma mais severa populações vulneráveis e afetando a segurança alimentar, os recursos hídricos, a saúde, a infraestrutura e os meios de subsistência. O relatório evidencia, com alto grau de confiança, que tais impactos resultam da interação entre perigos climáticos intensificados, exposição e vulnerabilidade, demonstrando que a adaptação existente é, em muitos contextos, insuficiente para evitar perdas e danos¹.

O IPCC aponta que o aquecimento global já ultrapassou 1,1 °C em relação aos níveis pré-industriais e que há risco de atingir ou superar 1,5 °C nas próximas décadas, cenário que ampliará significativamente esses eventos extremos. Para limitar o aumento da temperatura e reduzir impactos severos, são necessárias reduções profundas e imediatas nas emissões de gases de efeito estufa, transformações nos sistemas de energia, uso da terra e padrões de consumo, assim como investimentos expressivos em adaptação e resiliência, especialmente em regiões e populações mais vulneráveis.

¹

https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport_PO.pdf Acesso em: 12 fev. 2026.

Ressalta, ainda, que nenhuma região do planeta permanecerá imune aos efeitos das mudanças climáticas, cujos custos humanos, sociais e econômicos tendem a ser muito superiores aos custos da adoção de medidas preventivas e de mitigação. Regiões como o sul da África, o Mediterrâneo, a Amazônia, o oeste dos Estados Unidos e a Austrália enfrentarão maior frequência e intensidade de secas e incêndios, impactando diretamente a agricultura, os sistemas hídricos, os ecossistemas e os meios de subsistência. Além disso, alterações na neve, no gelo e no regime de cheias de rios afetarão infraestrutura, transporte, produção de energia e turismo em áreas como a América do Norte, o Ártico, a Europa e a Cordilheira dos Andes, enquanto tempestades mais intensas tendem a ocorrer em grande parte da América do Norte, Europa e região do Mediterrâneo.²

A seção "Situação Atual e Tendências" do Relatório Síntese do AR6 do IPCC sintetiza o conhecimento científico mais atualizado sobre o estado das mudanças climáticas e sua evolução ao longo do tempo. O relatório confirma que as atividades humanas, especialmente a emissão de gases de efeito estufa, são a causa inequívoca do aquecimento do planeta, observando que a temperatura média global entre 2011 e 2020 foi aproximadamente 1,1 °C mais alta do que no período pré-industrial (1850-1900). As emissões

continuam a aumentar, impulsionadas pelo uso insustentável de combustíveis fósseis, mudanças no uso da terra e padrões historicamente desiguais de consumo e produção³

Esse aquecimento já influencia o clima global, com efeitos mensuráveis sobre processos físicos, ecossistemas e sociedades humanas. As tendências observadas e os impactos associados, incluindo eventos extremos, refletem claramente a influência humana contínua.

Compreender as tendências das mudanças climáticas e seus impactos não é relevante apenas para a ciência do clima, mas também para o Direito, na medida em que eventos extremos passam a gerar litígios e demandas de responsabilização civil.

Internacionalmente, observa-se um crescente número de litígios climáticos movidos contra governos e empresas, em que se busca responsabilizar agentes que contribuíram para a emissão de gases de efeito estufa ou para eventos extremos associados às mudanças do clima.

1.2. Litígios climáticos e responsabilidade civil: panorama internacional

A intensificação dos eventos extremos impulsiona disputas judiciais em diversas

² https://www.wribrasil.org.br/noticias/mudancas-climaticas-alarmanter-veja-5-grandes-resultados-do-relatorio-do-ippcc?gad_source=1&gad_campaignid=6973642028&gclid=CjwKCAiA1obMBhAbEiwAsUBblmV_4UvgwRn680aTZerJ51E8s2NdV0YAOPkh2UK1F5H0rFbYvIVxsBoCyq8QAvD_BwE&utm_medium=cpc&utm_source=google&utm_campaign=Clima&

[utm_content=Mudancas_climaticas_alarmanter_veja_5_grandes_resultados_do_relatorio_do_IPCC&utm_term=mudancas_climaticas_alarmanter_veja_5_grandes_resultados_do_relatorio_do_IPCC&utm_term=mudancas_climaticas_alarmanter_veja_5_grandes_resultados_do_relatorio_do_IPCC&utm_term=mudancas_climaticas_alarmanter_veja_5_grandes_resultados_do_relatorio_do_IPCC](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport_PO.pdf) Acesso em: 12 fev. 2026.

³https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport_PO.pdf Acesso em: 12 fev. 2026.

jurisdições, envolvendo tanto Estados quanto grandes emissores industriais.

Nesse contexto, o relatório *Climate Litigation Updates*, divulgado em 30 de janeiro de 2026 pelo Sabin Center for Climate Change Law, da Columbia University, oferece um panorama atualizado das principais movimentações em casos climáticos ao redor do mundo.

O documento destaca decisões recentes e novos processos incorporados ao *Climate Litigation Database*, destacando, por exemplo, a anulação parcial de injunções federais nos Estados Unidos relacionadas a cortes de verbas ambientais pelo Quarto Circuito, bem como a decisão do Tribunal de Apelações de Minnesota que confirmou a rejeição de pedidos de exclusão de ação movida contra grandes produtores de combustíveis fósseis.

O relatório também registra decisões em instâncias inferiores envolvendo financiamento de infraestrutura e suspensões de ordens administrativas com repercussão ambiental. Esses exemplos demonstram que a litigância climática permanece dinâmica, complexa e multifacetada no início de 2026, refletindo a crescente relevância jurídica das mudanças climáticas e a busca global por mecanismos de responsabilização eficazes.⁴

Para se ter uma dimensão da litigância climática em escala global, registra-se que, até 30 de junho de 2025, havia um total acumulado de 3.099 demandas relacionadas ao clima, distribuídas em 55 jurisdições nacionais e em 24

cortes, tribunais ou órgãos quase judiciais de âmbito internacional ou regional nos EUA, segundo o relatório. Esse universo inclui pronunciamentos de grande relevância institucional, como os da Corte Internacional de Justiça (CIJ) e da Corte Interamericana de Direitos Humanos, entre outros foros, demonstrando a amplitude e a complexidade das disputas climáticas ao redor do mundo⁵.

Nesse sentido, a verificação dos pressupostos da responsabilidade civil, dentre eles, o nexos causal assume papel central, revelando uma das principais dificuldades enfrentadas nas ações climáticas no campo da responsabilidade civil ambiental, dada a dificuldade de vincular diretamente a conduta de agentes específicos aos efeitos de eventos extremos.

A centralidade desses eventos nos litígios climáticos evidencia que o enfrentamento jurídico dessas controvérsias depende cada vez mais de instrumentos científicos capazes de esclarecer a relação entre fenômenos climáticos adversos e mudanças climáticas, abrindo caminho para a aplicação da ciência da atribuição como ferramenta essencial para análise e fundamentação da responsabilidade civil.

2 CIÊNCIA DA ATRIBUIÇÃO

É nesse cenário de judicialização crescente que a ciência da atribuição, uma ciência nova e de ponta, passa a despertar interesse jurídico, especialmente por sua

⁴ <https://climate.law.columbia.edu/news/climate-litigation-updates-january-30-2026> Acesso em: 12 fev. 2026.

⁵ <https://www.unep.org/resources/report/global-climate-litigation-report-2025-status-review> Acesso em: 12 fev. 2026.

capacidade de analisar a influência das mudanças climáticas antropogênicas sobre eventos específicos.

Inserida no campo da *attribution science*, ela busca identificar, separar e quantificar a contribuição das atividades humanas, como a emissão de gases de efeito estufa, em relação a outras causas naturais e antropogênicas não climáticas sobre os padrões observados de eventos extremos e seus efeitos sobre ecossistemas.

A partir da integração de dados observacionais e modelos climáticos, a ciência da atribuição procura estimar, por exemplo, em que medida a ação humana aumentou a probabilidade ou a intensidade de ondas de calor, secas, enchentes e outros eventos extremos. Essas estimativas são essenciais não apenas para informar políticas de adaptação e mitigação, mas também para compreender e comunicar os impactos concretos das mudanças climáticas sobre populações, infraestrutura e sistemas socioambientais.

Vale destacar que um dos principais desafios enfrentados nos processos judiciais consiste no reconhecimento donexo causal entre a ação ou omissão do agente poluidor e a alteração climática observada, assim como na distinção da influência humana em relação à variabilidade natural do clima.

É nesse contexto que a ciência da atribuição surge como ferramenta inovadora,

oferecendo métodos científicos capazes de fornecer evidências quantitativas sobre a participação humana em eventos extremos e, conseqüentemente, subsidiar a análise da responsabilização civil.

Assim, a ciência da atribuição pode ser definida como um campo da climatologia dedicado a investigar se, e em que medida, as mudanças climáticas de origem humana alteraram a probabilidade ou a intensidade de eventos extremos específicos, fornecendo um referencial científico objetivo para analisar impactos e responsabilidades. Ela se concentra na análise do nexo causal entre a ação humana, as mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre sistemas naturais, assumindo papel central tanto na litigância climática quanto na formulação de políticas públicas e na tomada de decisões regulatórias⁶.

Para Ben Clarke, Friederike Otto, Rupert Stuart-Smith e Luke Harrington, a atribuição de eventos busca esclarecer a relação entre mudanças climáticas globais, ocorrência de fenômenos climáticos extremos e os danos efetivamente experimentados por pessoas, bens e ecossistemas. Dessa forma, permite distinguir os múltiplos fatores responsáveis por condições climáticas extremas daqueles decorrentes das atividades humanas, fornecendo subsídios relevantes para estratégias de adaptação ao clima e para a avaliação de perdas e danos (Ben Clarke, 2022)⁷.

⁶ <https://climate.law.columbia.edu/content/climate-law-science>. Acesso em: 12 fev. 2026.

⁷https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2752-5295/ac6e7d?utm_campaign=Hot%20News&utm_medium=email&_hsmi=217900917&_hsenc=p2ANqtz--vIRNcML-N5evhXNbUkFRofJMkOnQu1XYSZ1h_C1ggDnUdoOBCxFrsBk

Em outras palavras, a ciência da atribuição busca responder “até que ponto as mudanças observadas em um evento extremo podem ser atribuídas às mudanças climáticas antropogênicas?”, usando métodos que consideram a variabilidade natural, diferenças entre modelos climáticos e dados observados, e integrando conhecimento físico adicional para produzir conclusões confiáveis sobre o papel do aquecimento global nesses fenômenos.

A formulação de conclusões robustas sobre a possibilidade de vincular alterações observadas no mundo real à ação humana exige a análise integrada de tendências empíricas e de resultados provenientes de modelos climáticos, nos quais é possível identificar e controlar os fatores determinantes das mudanças nos padrões climáticos⁸.

Ao quantificar em que medida a influência humana aumenta a probabilidade ou a intensidade de um evento, a ciência da atribuição permite compreender melhor os vínculos de causa e efeito no clima. Seus resultados informam o público, orientam políticas climáticas, subsidiam decisões de adaptação e fortalecem o embasamento científico de litígios relacionados a impactos climáticos.

Essa abordagem supera explicações simplistas, adotando uma lógica probabilística que se mostra particularmente relevante para o Direito.

Nesse percurso, a consolidação da ciência da atribuição não se deu de forma abrupta, mas como resultado de um amadurecimento progressivo das técnicas de modelagem climática, da ampliação das bases de dados observacionais e do refinamento dos métodos estatísticos aplicados à análise de eventos extremos. A evolução metodológica permitiu deslocar o foco da mera constatação de anomalias climáticas para a investigação sistemática de suas causas prováveis, inaugurando uma agenda científica voltada não apenas à descrição dos fenômenos, mas à mensuração da contribuição humana em sua ocorrência e intensidade.

É nesse contexto histórico que se insere o desenvolvimento dos estudos de atribuição.

2.1. Evolução dos estudos de atribuição

Historicamente, eventos climáticos extremos eram atribuídos quase exclusivamente à variabilidade natural do clima, o que dificultava qualquer vinculação com a ação humana.

A ciência da atribuição surge justamente para superar essa limitação, evoluindo da simples análise da variabilidade natural para a quantificação da influência do aquecimento global sobre eventos extremos. Desde os anos 1990, pesquisadores passaram a buscar medir o efeito humano sobre a temperatura média global, trabalho que culminou no reconhecimento de

[ay1X6WZvEJ7egPLQ-Vog5y9mcE8Jm4WSnZZw&utm_content=217900917&utm_source=hs_email](https://www.copernicus.org/articles/10/159/2024/Vog5y9mcE8Jm4WSnZZw&utm_content=217900917&utm_source=hs_email) Acesso em: 24 fev. 2026

⁸<https://www.copernicus.org/articles/10/159/2024/> Acesso em: 12 fev. 2026.

Klaus Hasselmann, considerado um dos pioneiros nesse campo. Na sequência, um marco relevante foi a publicação, por Stott et al. (2004), do primeiro estudo revisado por pares dedicado especificamente à atribuição de um evento extremo, a onda de calor europeia de 2003. Posteriormente, a institucionalização da chamada atribuição rápida consolidou-se com a criação da World Weather Attribution (WWA), em 2014, que passou a publicar resultados em questão de dias ou semanas, com a finalidade de subsidiar estratégias de mitigação e adaptação. Os estudos desenvolvidos pela WWA seguem metodologias revisadas por cientistas, abordando tanto alterações na intensidade e probabilidade dos eventos devido às mudanças climáticas quanto a forma como vulnerabilidade e exposição ampliam seus impactos. Importa destacar, ademais, que nem todos os eventos se tornam mais prováveis ou intensos em razão do aquecimento global, esses resultados, inclusive quando negativos, são igualmente relevantes para a formulação de políticas de redução de riscos.

A seleção dos eventos examinados considera critérios como a extensão da afetação, os danos provocados e a eventual declaração de emergência, contando com a participação de especialistas locais e com a disponibilidade de dados confiáveis. Parte desses estudos é posteriormente publicada em periódicos científicos, havendo atualmente mais de 400 pesquisas catalogadas globalmente, com

consenso robusto de que as ondas de calor, em particular, tornam-se mais frequentes e intensas em um clima aquecido⁹.

Mais recentemente, em conferência sobre Ciência de Atribuição e Direito Climático realizada na Universidade de Columbia, nos dias 9 e 10 de janeiro de 2025, organizada pelo Sabin Center for Climate Change Law e pela Columbia Climate School, o Dr. Benjamin Santer apresentou uma síntese histórica da evolução da disciplina, destacando a progressão dos relatórios de avaliação do IPCC, que avançaram de uma fase inicial marcada pela ausência de "detecção inequívoca" em 1990 para a identificação de "influência discernível" em 1995 e, finalmente, à "evidência inequívoca" da influência humana em 2021. Segundo ele, esse avanço decorre, em grande medida, da disponibilidade de mais modelos climáticos em comparação com as décadas de 1980 e 1990.

Atualmente, existem mais de uma centena de modelos desenvolvidos por diferentes países, denominados "modelos do sistema terrestre", que são significativamente mais abrangentes e sofisticados do que os antigos modelos centrados predominantemente na dinâmica atmosférica. Acrescenta, ainda, que essa evolução foi impulsionada por três fatores principais: (i) o aprofundamento da compreensão científica acerca dos múltiplos fatores antropogênicos e naturais que influenciam o clima; (ii) a disponibilidade de conjuntos de dados observacionais mais extensos e precisos,

⁹ <https://www.worldweatherattribution.org/faqs/> Acesso em: 12 fev. 2026.

incluindo séries históricas de longo prazo e dados obtidos por satélites; e (iii) a análise colaborativa de simulações e resultados de modelos climáticos, possibilitada por infraestrutura internacional de compartilhamento e integração de dados¹⁰.

A evolução dos estudos de atribuição representa, nesse contexto, uma mudança significativa de paradigma científico, com expressivo potencial de repercussão no campo jurídico.

Uma vez delineados seu conceito e breve histórico, impõe-se avançar para o exame de sua metodologia, a fim de compreender de que modo o conhecimento é produzido e quais critérios científicos conferem consistência e confiabilidade às suas conclusões.

2.2 Metodologia da ciência da atribuição

A compreensão da ciência da atribuição depende diretamente da análise de seus fundamentos metodológicos, pois é na forma como o conhecimento é construído, testado e validado que reside sua credibilidade científica e sua relevância para o Direito e para a formulação de políticas públicas.

Sua metodologia parte da busca por explicações causais para as mudanças observadas no sistema climático, reconhecendo que eventos extremos resultam da interação complexa de múltiplos fatores, naturais e

antropogênicos. Para enfrentar essa complexidade, combina-se o uso de modelos climáticos, dados observacionais e arcabouço teórico consolidado, estabelecendo um diálogo constante entre simulação e evidência empírica.

Ao mesmo tempo, mantém-se um equilíbrio entre análises agregadas, voltadas à identificação de padrões globais, e análises desagregadas, que consideram especificidades regionais e eventos individuais.

A estrutura metodológica adotada organiza-se em três níveis sucessivos de investigação, denominados "Lógica das Questões de Pesquisa", os quais permitem graduar a análise causal conforme o grau de complexidade e incerteza envolvido, conferindo maior precisão e transparência às conclusões alcançadas.

O primeiro nível pergunta, de forma direta, qual é o efeito das mudanças climáticas antropogênicas (Anthropogenic Climate Change – ACC) sobre determinado fenômeno específico "X". Trata-se de verificar se e em que medida o aquecimento global causado pela ação humana influenciou a ocorrência ou a intensidade do evento analisado. O segundo nível amplia o exame ao realizar uma atribuição incondicional, considerando tanto os forçamentos externos (como emissões de gases de efeito estufa) quanto a variabilidade interna natural do sistema climático.

Nesse estágio, procede-se ao controle explícito de fatores de confusão, isto é, de variáveis que poderiam distorcer a identificação

¹⁰ <https://scholarship.law.columbia.edu/cgi/viewcontent.cgi?ar>

title=1246&context=sabin_climate_change Acesso em: 12 fev. 2026.

da causa predominante. O terceiro nível introduz uma atribuição condicional e de caráter narrativo, incorporando elementos internos do próprio sistema climático — como padrões de temperatura da superfície do mar (Sea Surface Temperature – SST) e gradientes térmicos. Essa etapa é especialmente relevante em contextos de elevada incerteza, pois permite construir uma explicação causal singular para o evento concreto, reduzindo riscos de injustiça epistêmica ao reconhecer a complexidade do fenômeno e as limitações do conhecimento disponível.

Essa abordagem metodológica pressupõe, em todos os níveis, a definição clara do fenômeno investigado, o tratamento adequado de variáveis mediadoras e a integração de métodos analíticos avançados. Entre esses métodos incluem-se técnicas de inteligência artificial e aprendizado de máquina (IA/ML), que devem ser empregadas de forma transparente e auditável — e não como “caixas-pretas” — a fim de assegurar rigor estatístico, rastreabilidade causal e produção de respostas efetivamente úteis para usuários locais e tomadores de decisão¹¹.

Um dos principais desafios metodológicos consiste em distinguir a variabilidade climática natural da influência antropogênica. Para enfrentar esse problema, a ciência da atribuição compara dois cenários: o mundo real, já impactado pelas emissões de gases de efeito estufa, e um cenário

contrafactual, no qual essa influência humana é excluída.

A partir da definição precisa do evento extremo analisado, calcula-se sua probabilidade e intensidade em cada cenário, estimando-se, então, quanto a ação humana alterou a ocorrência ou a severidade do fenômeno. Iniciativas como o consórcio internacional World Weather Attribution (WWA) têm se destacado nesse campo ao combinar dados observacionais, múltiplos modelos climáticos e técnicas estatísticas avançadas, sempre com explicitação das margens de incerteza e das limitações metodológicas.

Os estudos costumam ser produzidos logo após eventos extremos, oferecendo análises tecnicamente fundamentadas e transparentes sobre a contribuição humana, sem perder de vista os limites epistêmicos inerentes à modelagem climática¹².

2.3 Modelagem climática e cenários contrafactuais

O núcleo metodológico da ciência da atribuição compara o mundo real com cenários contrafactuais, permitindo avaliar de que maneira a ação humana altera a probabilidade e a intensidade de eventos climáticos extremos.

A construção desses cenários contrafactuais consiste em simular um mundo hipotético sem influência humana sobre o clima e, em seguida, comparar seus resultados com observações do mundo real. A partir da

¹¹ <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2752-5295/aceea1> Acesso em: 12 fev. 2026.

¹² <https://www.worldweatherattribution.org/methods/> Acesso em: 12 fev. 2026.

identificação de diferenças estatisticamente relevantes entre esses dois contextos, torna-se possível apontar evidências científicas de que determinados eventos se tornaram mais prováveis ou mais severos em razão das mudanças climáticas induzidas por atividades humanas.

Para além da modelagem, a ciência da atribuição fundamenta-se fortemente em dados observacionais de alta qualidade e em uma análise rigorosa das incertezas inerentes aos sistemas climáticos. Nesse ponto, é importante destacar que a explicitação das margens de incerteza não fragiliza a disciplina; ao contrário, reforça sua integridade metodológica, ao tornar transparentes os limites do conhecimento disponível e ao permitir um diálogo mais responsável com o Direito, especialmente diante da necessidade de interpretar conclusões expressas em termos probabilísticos.

Uma vez compreendidos o conceito e método, abre-se espaço para examinar os resultados empíricos produzidos por essa abordagem e para avaliar suas aplicações práticas na investigação de eventos climáticos extremos concretos.

3 RESULTADOS E APLICAÇÕES PRÁTICAS DA CIÊNCIA DA ATRIBUIÇÃO

A consolidação metodológica da ciência da atribuição possibilita a produção de resultados empíricos relevantes, aplicados à análise de eventos concretos e capazes de iluminar o debate público, científico e jurídico sobre responsabilidade climática.

Nesse contexto, destaca-se o relatório *Climate Change Attribution in the Courts*,

elaborado pela plataforma científica colaborativa *Climate Attribution*, que mantém uma biblioteca especializada de estudos de atribuição climática, dedicada ao desenvolvimento e à sistematização de estudos na área e reúne uma coletânea de recursos científicos empregados como prova em processos judiciais relacionados às mudanças climáticas e evidencia, de forma sistematizada, a inserção prática da ciência da atribuição no âmbito jurídico. Tal iniciativa demonstra como essa disciplina, ao avaliar a influência humana sobre eventos climáticos e impactos ambientais, produz análises técnicas e relatórios periciais aptos a subsidiar decisões judiciais

Entre os exemplos de aplicação judicial em outros países, podem ser mencionados:

i. Em *United States v. New York* (outubro de 2025), Justin S. Mankin apresentou métodos de atribuição de emissões de gases de efeito estufa;

ii. Em *County of Multnomah v. Exxon Mobil Corp.* (abril de 2025), Daniel Swain e Richard Heede analisaram, respectivamente, a influência humana sobre eventos extremos no noroeste dos Estados Unidos e a contribuição de grandes produtoras de combustíveis fósseis para emissões históricas de CO₂;

iii. No caso *Held v. State of Montana* (setembro de 2022), especialistas examinaram os impactos da mudança climática sobre saúde mental, saúde pública, ecossistemas aquáticos, emissões atribuíveis e glaciares em Montana;

iv. No caso *Asmania et al. v. Holcim* (julho de 2022), Richard Heede quantificou as emissões acumuladas de CO₂ de uma grande empresa de cimento.

Esses exemplos ilustram como a ciência da atribuição é empregada em tribunais para

conectar ações humanas ao clima e seus efeitos, oferecendo suporte técnico qualificado a decisões judiciais e ao debate sobre responsabilidade e riscos climáticos¹³.

Ao mesmo tempo, os resultados produzidos pela ciência da atribuição demonstram seu potencial explicativo e prático, ao mesmo tempo em que evidenciam desigualdades regionais e desafios científicos que devem ser considerados para uma aplicação responsável em contextos decisórios.

3.1 Relevância dos resultados para o debate jurídico contemporâneo

Nesse cenário, os resultados empíricos produzidos pela ciência da atribuição assumem particular relevância para o Direito, ao oferecerem subsídios inéditos para a análise de causalidade, risco e responsabilidade em contextos de mudanças climáticas.

Sua importância reside no fato de disponibilizarem evidências científicas quantitativa e contextualizada sobre a contribuição das atividades humanas para eventos climáticos extremos, informação essencial para o exame do nexo causal em litígios envolvendo emissores de gases de efeito estufa, alegações de omissão estatal, tutela de direitos fundamentais e controle de políticas públicas.

Ao mensurar em que medida a ação antrópica elevou a probabilidade ou a severidade de ondas de calor, secas, enchentes e outros

eventos extremos, tais estudos afastam conclusões meramente intuitivas ou especulativas, fornecendo subsídios técnicos rigorosos capazes de respaldar ou refutar argumentos jurídicos sobre impactos específicos.

Cumprido ressaltar, contudo, a necessidade de que esses resultados sejam apresentados com clareza metodológica, com explicitação transparente de suas limitações e margens de incerteza. Tal cautela previne leituras distorcidas no âmbito judicial e assegura que a informação científica seja utilizada de modo responsável na fundamentação de decisões, na definição de responsabilidades e na formulação de normas e políticas de prevenção e adaptação.

Ao fornecer evidências cientificamente fundamentadas sobre a intensificação de riscos climáticos, a ciência da atribuição cria condições para um diálogo mais estruturado e qualificado entre ciência e Direito, cuja densidade se revela especialmente significativa quando se examina sua incorporação como instrumento probatório. Assim, os estudos de atribuição transcendem o plano estritamente científico, irradiando efeitos diretos sobre o debate jurídico contemporâneo e reforçando a necessidade de compreender sua aplicação no âmbito da responsabilidade civil climática.

4 CONTRIBUIÇÕES DA CIÊNCIA DA ATRIBUIÇÃO PARA A RECONSTRUÇÃO

¹³

https://climateattribution.org/attribution/courts/?_sort=date_desc Acesso em: 12 fev. 2026.

JURÍDICA DO NEXO CAUSAL EM LITÍGIOS CLIMÁTICOS

Para compreender por que o nexo de causalidade se apresenta como um dos principais desafios nos litígios climáticos, é preciso considerar a própria natureza do dano alegado discutido tipo de controvérsia.

Em tais demandas, a parte autora geralmente sustenta que um dano ou risco juridicamente relevante, suportado por indivíduo ou coletividade, decorre da atuação de determinado agente ou de uma atividade emissora de gases de efeito estufa.

Diversamente do que ocorre nas hipóteses tradicionais de responsabilidade civil ambiental, como nos casos de contaminação localizada do solo, da água ou do mar, ou ainda de desmatamento ilegal, em que o dano é circunscrito e diretamente imputável à conduta do agente, nos litígios climáticos o prejuízo não se manifesta de forma imediata nem com territorialmente delimitada. Ao contrário, ele resulta de uma cadeia causal complexa, de alcance global, caráter cumulativo e desenvolvimento progressivo ao longo do tempo. Trata-se, portanto, de dano de natureza propriamente climática, cuja gênese se insere em processos naturais amplos, intensificados e agravados por intervenções humanas contínuas.

Nessa conjuntura, a análise do nexo causal não pode ser realizada de maneira linear

ou simplificada. Impõe-se a decomposição da cadeia causal em etapas sucessivas. Em um primeiro momento, deve-se examinar a relação entre as alegadas emissões de dióxido de carbono e outros gases oriundas do agente ou atividade contaminante e o fenômeno do efeito estufa em si, assim como a conexão causal natural entre sua intensificação e as alterações climáticas globais.

Em um segundo momento, impõe-se investigar a influência dessas alterações no evento danoso específico objeto do litígio, como uma enchente, uma seca prolongada ou uma onda de calor, para, somente então, avaliar se esse evento foi causa do dano ou do risco jurídico alegado pela parte autora. Essa metodologia permite reconstruir, de forma racional e controlável, os elos intermediários da causalidade em litígios climáticos (González: 2024)¹⁴.

É justamente nesse panorama que a literatura especializada destaca o papel da ciência da atribuição como instrumento capaz de reduzir a distância entre o reconhecimento genérico dos efeitos nocivos das mudanças climáticas de origem humana e a comprovação concreta do nexo causal entre uma atividade poluidora em casos específicos.

Os métodos de atribuição permitem demonstrar, com base empírica, a contribuição das mudanças climáticas induzidas pela ação humana para a ocorrência ou intensificação de

¹⁴ RUDA GONZÁLEZ, Albert. Sostenibilidad en la litigación climática. En particular, el problema de la causalidad. In: RUDA GONZÁLEZ, Albert; MARTÍNEZ, Albert Lladó (Dir.). **Sostenibilidad en el Derecho**: los objetivos del desarrollo

sostenible (ODS) en la docencia, la investigación y el mundo profesional. Espanha: Editorial Colex, 2024.

eventos extremos em determinados locais, já responsáveis, ou potencialmente responsáveis, por danos jurídicos individualizados.

Ao traduzir relações causais identificadas no campo científico para parâmetros compatíveis com a causalidade jurídica, a ciência da atribuição passa a oferecer subsídios probatórios concretos e relevantes para o ajuizamento e o julgamento de ações climáticas específicas (Stuart-Smith; Otto; Wetzler: 2021)¹⁵.

A ciência da atribuição constitui, assim, um campo relativamente recente, voltado a determinar em que medida a ação humana contribuiu para a ocorrência ou a intensidade de eventos climáticos extremos, como ondas de calor, secas, chuvas intensas, enchentes ou incêndios florestais. Não se limita a reconhecer a ocorrência de fenômenos naturais, pois quantificar e modelar a influência humana sobre o clima por meio de dados históricos, modelos e simulações contrafactuais, conectando ciência, direito e políticas públicas.

No plano jurídico, harmoniza-se com modelos de causalidade por incremento de risco, concorrência e pluralidade de condições, permitindo imputação baseada em probabilidade robusta.

Sua relevância manifesta-se de várias formas, especialmente nas áreas jurídica e política. Primeiramente, na possibilidade de estabelecer um nexos causal fático, fornecendo uma ligação objetiva entre ações humanas, como

emissões de gases de efeito estufa, e danos observados em ecossistemas, comunidades e economias, ultrapassando o nexos jurídico tradicional, que muitas vezes depende de inferências.

Além disso, fornece subsídios para a responsabilização, ao embasar pedidos de reparação ou mitigação e ao identificar contribuições significativas de determinadas atividades ou agentes para a produção do risco. Por fim, contribui para o planejamento e a prevenção, ao permitir que governos e empresas compreendam com maior precisão os riscos climáticos e adotem políticas mais eficazes de adaptação e redução de emissões.

Ao transformar a discussão sobre responsabilidade climática em uma análise apoiada em evidências concretas, a ciência da atribuição desloca o debate da abstração teórica para o terreno da demonstração empírica. Conforme destacado no Relatório Especial sobre Mudanças Climáticas e Terra (SRCCL/IPCC, cap. 2), a terra não atua apenas como receptora passiva dos efeitos do aquecimento global, como a intensificação das ondas de calor, as secas prolongadas, a degradação do solo e a perda de produtividade ecológica, mas integra um sistema dinâmico de retroalimentações, no qual o uso e a cobertura da terra, definidos por escolhas humanas, podem tanto agravar quanto atenuar esses efeitos. É justamente nesse ponto que opera a atribuição científica: por meio de modelos climáticos, análises contrafactuais e avaliações

¹⁵ CARBON BRIEF. **Guest post:** How attribution can fill the evidence 'gap' in climate litigation. 28 jun. 2021

probabilísticas, procura-se demonstrar em que medida os riscos e danos verificados seriam improváveis ou significativamente menos intensos na ausência das emissões antropogênicas e das intervenções humanas no uso da terra¹⁶.

No plano jurídico, essa abordagem revela-se decisiva para a reconstrução do nexo causal em contextos de causalidade complexa, difusa e cumulativa. A ciência da atribuição não exige a identificação de uma causa exclusiva ou linear, mas permite estabelecer uma relação de contribuição causal qualificada, evidenciando que determinadas condutas, como desmatamento, manejo inadequado do solo ou atividades intensivas em emissões, aumentam de forma mensurável a probabilidade, a intensidade ou a duração de eventos danosos. Essa lógica se harmoniza com modelos contemporâneos de causalidade no direito, que admitem nexos baseados em incremento de risco, causalidade concorrente e pluralidade de condições, especialmente em matéria ambiental e climática.

Assim, ao demonstrar que o aquecimento global antropogênico e as escolhas humanas relativas ao uso da terra alteram significativamente o regime de riscos climáticos e ecológicos, a ciência da atribuição oferece suporte empírico para a imputação jurídica do dano, deslocando o foco da certeza absoluta para a probabilidade robusta e cientificamente fundamentada. Nesse contexto, sua incorporação

permite ao julgador reconstruir o nexo causal de forma mais consistente, racional e compatível com a complexidade própria dos litígios climáticos.

Contudo, para que essa contribuição seja adequadamente compreendida e incorporada pelo Direito, é indispensável reconhecer o modo específico pelo qual ela produz conhecimento, marcado pela linguagem das probabilidades e pela gestão científica da incerteza.

5 INCERTEZA CIENTÍFICA, PROBABILIDADE E LIMITES DA TRANSPOSIÇÃO PARA O DIREITO

A ciência da atribuição opera no âmbito das ciências naturais e trabalha, essencialmente, com modelos probabilísticos. Seu objetivo não é afirmar que determinado evento extremo "foi causado" exclusivamente pela ação humana, mas estimar quanto a mudança climática antropogênica alterou a probabilidade ou a intensidade desse evento. Trata-se, portanto, de uma causalidade, digamos estatística, expressa em termos de aumento de risco, fração de risco atribuível ou alteração de magnitude.

No plano científico, essa abordagem revela-se plenamente adequada, pois sistemas climáticos são complexos, multifatoriais e regidos por variabilidade natural. A linguagem das probabilidades não constitui sinal de fragilidade metodológica; ao contrário, representa expressão de rigor epistêmico, ou seja, é construída com

¹⁶ <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-2/> Acesso em: 12 fev. 2026.

base em método claro e verificável, diante da incerteza inerente ao objeto estudado.

O desafio surge quando esse conhecimento é transposto para o campo jurídico.

A responsabilidade civil tradicionalmente estrutura a causalidade sob uma lógica binária: ou o fato é causa juridicamente relevante do dano, ou não é. A decisão judicial, ao final, exige um juízo conclusivo de imputação. Já a ciência da atribuição trabalha com graus de probabilidade e intervalos de confiança. O aparente descompasso decorre, portanto, da diferença entre a causalidade fática e a causalidade jurídica (normativa e decisória).

Contudo, essa tensão não é insolúvel. O próprio Direito, ainda que muitas vezes de modo implícito, recorre a juízos de probabilidade. Expressões como "mais provável que não", "verossimilhança", "prova suficiente" e "convencimento motivado" evidenciam que a formação da decisão judicial nem sempre se baseia em certezas absolutas, mas em graus de plausibilidade racionalmente fundamentados. Em diversas áreas, como responsabilidade médica, ambiental e do consumidor, admite-se a utilização de presunções, inversão do ônus da prova e critérios de risco.

Nesse contexto, a questão central deixa de ser se a ciência da atribuição fornece certeza absoluta, porque nenhuma ciência empírica o faz, e passa a ser qual é o limiar de evidência científica suficiente para satisfazer o padrão probatório jurídico aplicável ao caso concreto. O ponto de inflexão ocorre, então, quando a contribuição humana para determinado evento deixa de ser meramente especulativa ou irrisória e atinge grau de robustez estatística capaz de fundamentar um juízo de responsabilidade

segundo os critérios normativos do ordenamento jurídico.

Assim, o debate jurídico não deve pretender converter probabilidade científica em certeza, mas delimitar parâmetros claros para sua incorporação, o que envolve: a definição do padrão probatório exigido (como preponderância da prova ou prova clara e convincente); como traduzir métricas como aumento de risco ou fração atribuível em critérios juridicamente relevantes; e a análise de como o regime de responsabilidade aplicável (subjéctiva, objectiva ou fundada no risco integral) influencia o grau de demonstração requerido.

Em síntese, a intersecção entre ciência da atribuição e Direito não exige a eliminação da incerteza científica, mas a construção de uma metodologia jurídica capaz de absorver evidências probabilísticas como fundamento legítimo do nexo causal. O desafio não é somente científico, mas normativo, pois se de definir quando a probabilidade estatisticamente robusta se converte em causalidade juridicamente suficiente.

À luz dessas possibilidades e limites na recepção da ciência da atribuição pelo Poder Judiciário, cumpre, por fim, retomar os objetivos propostos para sintetizar as principais conclusões e refletir sobre os desafios futuros dessa interface entre ciência do clima e Direito.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo teve por objetivo analisar a ciência da atribuição de eventos climáticos e sua relevância para a reconstrução do nexo causal no âmbito da responsabilidade civil por danos climáticos. Ao longo do trabalho, demonstrou-se que os litígios climáticos desafiam os modelos clássicos de causalidade,

por envolverem danos difusos, cumulativos e decorrentes de cadeias causais complexas, de alcance global e desenvolvimento progressivo no tempo.

Nesse âmbito, verificou-se que a ciência da atribuição desempenha papel fundamental ao reduzir a distância entre o reconhecimento abstrato dos efeitos nocivos das mudanças climáticas antropogênicas e a necessidade de comprovação concreta do nexo causal em casos litigiosos específicos. Por meio de modelagem climática, análises contrafactuais e avaliações probabilísticas, essa abordagem demonstra em que medida a ação humana contribui para a ocorrência ou intensificação de eventos extremos localizados, oferecendo subsídios empíricos relevantes para a análise jurídica.

A decomposição do nexo causal em níveis macro e micro mostrou-se adequada à complexidade dos litígios climáticos. No plano macro, a ciência da atribuição auxilia na identificação da relação entre emissões de gases de efeito estufa e mudanças climáticas globais, distinguindo componentes naturais e antropogênicos. No plano micro, contribui para a análise da conexão entre essas alterações e eventos extremos específicos, bem como entre tais eventos e os danos ou riscos jurídicos alegados no caso concreto.

Do ponto de vista jurídico, constatou-se que a lógica operativa da ciência da atribuição é compatível com modelos contemporâneos de causalidade, que admitem pluralidade de condições, causalidade concorrente e incremento de risco como critérios normativamente relevantes para a imputação de responsabilidade. Ao deslocar o foco da certeza absoluta para a probabilidade robusta e cientificamente fundamentada, essa abordagem

oferece caminho viável para a imputação do dano em contextos de causalidade complexa, sem exigir causa única ou exclusiva.

Conclui-se que a ciência da atribuição qualifica a análise jurídica, ao fornecer elementos técnicos que permitem ao magistrado reconstruir o nexo causal de modo mais racional, transparente e controlável. Sua adequada recepção pelo Poder Judiciário exige, porém, uma integração crítica entre saber científico e decisão jurídica, preservando a autonomia do Direito e os parâmetros normativos da responsabilidade civil.

Por fim, a incorporação criteriosa da ciência da atribuição nos litígios climáticos representa avanço relevante para o enfrentamento jurídico dos desafios da emergência climática, contribuindo para responsabilização mais consistente, proporcional e alinhada à realidade científica contemporânea, sem perder de vista os limites epistemológicos e institucionais da interface entre ciência e Direito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RUDA GONZÁLEZ, Albert. Sostenibilidad en la litigación climática: en particular, el problema de la causalidad. In: RUDA GONZÁLEZ, Albert; MARTÍNEZ, Albert Lladó (dirs.). Sostenibilidad en el Derecho: los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) en la docencia, la investigación y el mundo profesional. Espanha: Editorial Colex, 2024.

CARBON BRIEF. Guest post: How attribution can fill the evidence "gap" in climate litigation. 28 jun. 2021.