

DANO CLIMÁTICO E VALORAÇÃO REPARATÓRIA

CLIMATE DAMAGE AND REPARATORY VALUE

Artigo recebido em: 12/03/2024

Artigo aceito em: 27/08/2025

Émilien Vilas Boas Reis*

*Centro Universitário Dom Helder

Belo Horizonte/MG, Brasil

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9370336030652254>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0729-522X>

mboasr@yahoo.com.br

Marcelo Kokke*

*Centro Universitário Dom Helder

Belo Horizonte/MG, Brasil

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0844891247797428>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5696-4747>

marcelokokke@yahoo.com.br

The authors declare that there is no conflict of interest

Resumo

Este artigo utiliza a pesquisa bibliográfica, por meio do método analítico e exploratório, com método teórico-qualitativo e crítico. O objetivo principal é explorar os efeitos econômicos provocados pelas mudanças climáticas, tendo como objetivos específicos esclarecer o que são mudanças climáticas, fazer a correlação histórica entre aumento de temperatura global e ação antrópica e refletir sobre pesquisas que analisam os impactos econômicos das mudanças climáticas. A pesquisa inicia esclarecendo o que são mudanças climáticas, aquecimento global e gases de efeito estufa (GEE). Em seguida, mostra como a interferência antrópica vem alterando o clima nos últimos 150 anos. Por fim, avaliam-se a dimensão do dano climático e o modelo reparatório em construção no cenário jurídico brasileiro. Assim, o texto verifica a dimensão de impacto ecológico e econômico derivado das mudanças climáticas, com proposição de um cenário de obrigações reparatórias relativas a obrigações de fazer e de pagamento, cumulativamente exigíveis.

Palavras-chave: Aquecimento Global. Impactos Econômicos. Mudanças Climáticas. Valoração Reparatória.

Abstract

This article is based on bibliographic research, using the analytical and exploratory method and a theoretical-qualitative and critical approach. The main objective is to explore the economic effects caused by climate change, with the specific objectives of clarifying what climate change is, establishing a historical correlation between the increase in global temperature and human action, and reflecting on research that analyzes the economic impacts of climate change. The research begins by clarifying what climate change, global warming, and greenhouse gases are. It then shows how human interference has been altering the climate over the last 150 years. Finally, it assesses the extent of climate damage and the reparation model under construction in the Brazilian legal scenario. Thus, the text verifies the dimension of the ecological and economic impact resulting from climate change, with a proposal for a scenario of reparatory obligations relating to obligations to do and to pay, which are cumulatively enforceable.

Keywords: Global Warming. Economic Impacts. Climate Change. Reparatory Valuation.



1 INTRODUÇÃO

Este artigo tem como tema principal as mudanças climáticas, seus aspectos econômicos e o modo como a valoração do dano climático é estabelecida no ordenamento jurídico brasileiro. A pesquisa analisa em que consistem as mudanças climáticas e, posteriormente, como ela afeta economicamente a comunidade global e a intervenção do Direito. Para isso, foram verificados alguns impactos mais diretamente, como os possíveis danos materiais e humanos devidos aos aumentos da temperatura mundial provocados pelos seres humanos nas décadas subsequentes.

Quais os impactos econômicos das mudanças climáticas e como o Direito lida com tais impactos? É com essa questão que o problema do texto é apresentado, pautando-se na constatação de que os seres humanos são os causadores de grande parte das mudanças climáticas atuais, dado que, até o século XVIII, as mudanças do clima estavam associadas aos eventos naturais. As consequências do aumento da temperatura na Terra são inúmeras, e um dos fatores que deve ser ponderado diz respeito aos prejuízos naturais, materiais e, conseqüentemente, humanos. A verificação desses elementos pode ser capaz de direcionar políticas públicas, assim como a sociedade civil e os indivíduos, a uma melhor tomada de decisão em relação aos fatores catalizadores das mudanças climáticas.

Nesse sentido, esta pesquisa, ao constatar que as mudanças climáticas contemporâneas são potencializadas pelas atividades antrópicas, tem como hipótese a noção de que isso vem gerando e criará graves consequências econômicas (naturais, materiais e humanas), sendo possível quantificar prejuízos atuais, no que diz respeito ao próprio crescimento econômico dos países, e prever severos prejuízos futuros, como a projeção de perdas de vidas decorrentes alterações do clima.

Os efeitos das mudanças climáticas têm sido percebidos por todos os seres vivos e os demais entes no planeta. Pesquisas têm sido feitas nas últimas décadas, demonstrando, com fortes evidências, que a interferência humana tem acelerado tais efeitos, resultando no aumento da temperatura na Terra (aquecimento global), causado por inúmeras atividades, sobretudo pela queima de combustíveis fósseis, como petróleo, carvão mineral e gás natural, além do desmatamento e das queimadas.

O aquecimento global é evidenciado, principalmente, pelo aumento da temperatura média global do ar e dos oceanos, o que acarreta a elevação do nível dos mares

e oceanos, em razão do derretimento da neve e do gelo das calotas polares. Atualmente, as temperaturas médias globais da superfície terrestre são as maiores dos últimos cinco séculos, e, nos últimos 100 anos, a temperatura média global da superfície aumentou cerca de 0,74 °C. Caso não se adotem medidas para diminuir esse processo global de aquecimento, é possível que, ainda no século XXI, a temperatura global aumente, em média, de 2 °C a 5,8 °C. Tais alterações na temperatura média da Terra podem provocar grandes impactos sobre todas as formas de vida existentes no planeta, incluindo também os impactos econômicos. É importante, então, suscitar um debate e provocar o entendimento de que mudanças climáticas devem ser tratadas como um tema fundamental para a humanidade no século XXI. Lado outro, é relevante indicar como a valoração do dano climático é estabelecida no ordenamento jurídico brasileiro, considerando o aumento expressivo dos chamados litígios climáticos ao longo dos anos.

O artigo se justifica pela emergência do tema mudanças climáticas e pela importante relação entre essas alterações e seus impactos econômicos, sendo uma maneira de demonstrar os efeitos nocivos da interferência humana no clima do planeta e de como o Direito tem reagido a tais implicações.

O objetivo principal é apontar alguns efeitos econômicos provocados pelas mudanças climáticas, tendo como objetivos específicos esclarecer o que são mudanças climáticas, estabelecer a correlação histórica entre aumento de temperatura global e ação antrópica, refletir sobre pesquisas que analisam os impactos econômicos das mudanças climáticas, para, por fim, colocar o Direito como elemento fundamental para mitigar as alterações climáticas.

O texto inicia explicando o significado de mudanças climáticas e dos conceitos correlacionados, como aquecimento global e gases de efeito estufa (GEE). A pesquisa mostra, com análise de gráficos, as correlações entre o aumento da população mundial, o aumento da riqueza mundial, o aumento da emissão global de CO₂ na atmosfera, o aumento da concentração global de CO₂ na atmosfera e o aumento acelerado da temperatura média global. Tais informações são importantes pois se relacionam com a Revolução Industrial, ocorrida há 150 anos, sendo um marco importante para o entendimento do período em que o planeta está inserido.

Baseado em pesquisas e levantamentos econômicos, o texto ilustra os impactos que as mudanças climáticas podem causar em nível econômico. Um dos métodos do trabalho é o analítico-exploratório. Esse método é utilizado a fim de analisar e

correlacionar bases de dados do OurWorldinData.org e do IPCC. Isso permite explorar os dados, mostrando a interferência humana no clima do planeta nos últimos 150 anos.

A pesquisa busca ilustrar os impactos econômicos das mudanças climáticas, por meio de análise bibliográfica, com método teórico-qualitativo e crítico, analisando a relação das mudanças climáticas com a mortalidade resultante dessas alterações. Por fim, versará sobre a litigância climática e o papel do Direito na proposição de um cenário de obrigações reparatórias relativas a obrigações de fazer e de pagamento, cumulativamente exigíveis.

2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ATIVIDADES ANTRÓPICAS

Mudança climática significa uma alteração na média climática ou na variabilidade de suas características padrões, que podem permanecer por longo período, em décadas, séculos ou milênios (UNFCCC, 2011). No ordenamento jurídico brasileiro, o conceito é atribuído pela Lei n. 12.187/2009, cujo art. 2º, VIII, identifica mudança climática como uma mudança de clima que possa ser direta ou indiretamente atribuída à atividade humana que altere a composição da atmosfera mundial e que se some àquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis (Brasil, 2009). Correlacionados à mudança climática, estão seus efeitos adversos, definidos como mudanças no meio físico ou biota, resultantes da mudança do clima que tenha efeitos deletérios significativos sobre a composição, resiliência ou produtividade de ecossistemas naturais e manejados, sobre o funcionamento de sistemas socioeconômicos ou sobre a saúde e o bem-estar humanos (art. 2º, II).

Ao longo de grande parte da história do planeta Terra, as alterações ocorreram em decorrência de fatores naturais. Tais elementos são denominados variabilidade natural (do clima), que é gerada pelas alterações dos sistemas climáticos e devida a causas externas naturais. Registros paleoclimáticos, que podem ter vestígios de milhares de anos, e modelos climáticos demonstram que as temperaturas têm variado ao longo do tempo (Eyring et al., 2021).

A variabilidade natural é caracterizada como interna e externa. Variabilidade interna ocorre quando há uma redistribuição de energia no sistema climático, como as alterações na circulação atmosférica, que afetam o clima regional cotidiano.

Por sua vez, a variabilidade natural externa pode ocorrer como consequência de alterações na órbita terrestre, por causa das variações do recebimento da energia solar ou por meio de grandes erupções vulcânicas. Apesar de trazer grandes impactos ao clima terrestre, a variabilidade natural tem tido pouca influência no clima nos últimos séculos (Eyring et al., 2021).

Deve-se destacar, também, que a variabilidade natural tem pouco impacto, se analisada por décadas ou séculos, no sentido de que, estimada no período de 1850 a 2020, a contribuição para o aquecimento global na superfície variou de $-0,23^{\circ}\text{C}$ a $+0,23^{\circ}\text{C}$ no clima. Pesquisas, por meio de simulações¹, demonstram a baixa interferência no clima da variabilidade natural durante um longo período (Eyring et al., 2021).

O que tem causado, então, uma drástica mudança na temperatura nos últimos 150 anos? Para responder a essa questão, é importante verificar algumas alterações ocorridas ao longo dos séculos.

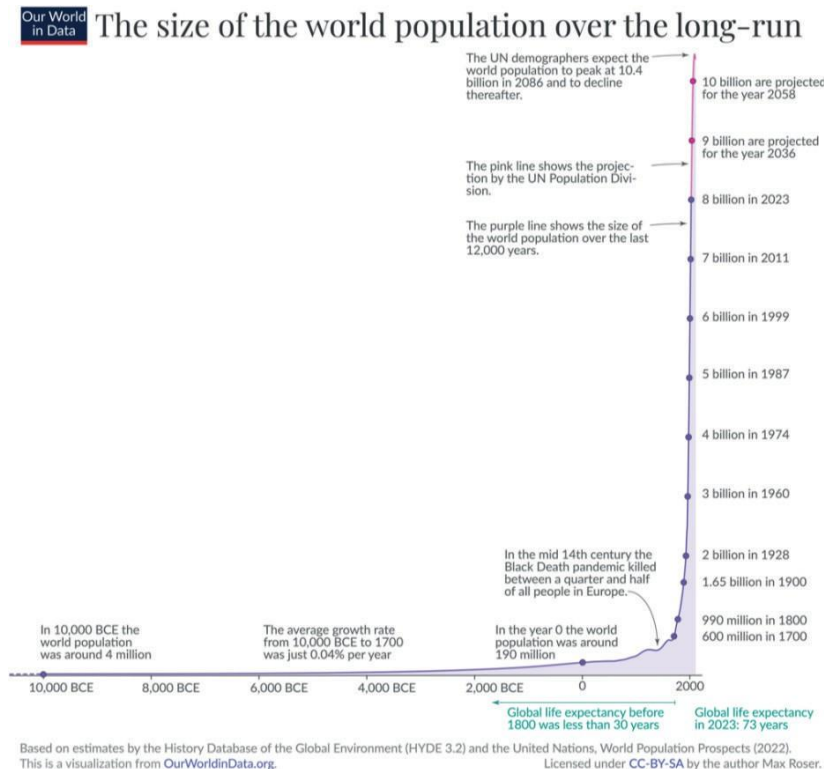
¹ 1 Sobre modelos climáticos, pode-se esclarecer que: “Os modelos climáticos são ferramentas importantes para compreender as alterações climáticas passadas, presentes e futuras. São programas de computador sofisticados baseados nas leis fundamentais da física da atmosfera, oceano, gelo e terra. Os modelos climáticos realizam seus cálculos numa grelha tridimensional feita de pequenos tijolos ou “células de grelha” com cerca de 100 km de diâmetro. Processos que ocorrem em escalas menores que as células da grade do modelo (como a transformação da umidade das nuvens em chuva) são tratados de forma simplificada. Essa simplificação é feita de forma variável em diferentes modelos. Alguns modelos incluem mais processos e complexidade do que outros; alguns representam processos com mais detalhes (células de grades menores) do que outros. Portanto, o clima simulado e as alterações climáticas variam entre os modelos. [...] Os modelos continuam a melhorar e a melhorar cada vez mais na simulação da grande variedade de processos importantes que afetam o clima. [...] Os cientistas avaliam o desempenho dos modelos climáticos comparando simulações históricas de modelos climáticos com observações. Essa avaliação inclui a comparação de médias em grande escala, bem como variações regionais e sazonais mais detalhadas. Há dois aspectos importantes a serem considerados: (i) o desempenho dos modelos individualmente e (ii) o desempenho deles em grupo. A média de vários modelos muitas vezes se compara melhor com as observações do que qualquer modelo individual, uma vez que os erros na representação de processos detalhados tendem a se anular nas médias de múltiplos modelos)” (Eyring et al., 2021, p. 517, tradução livre).

Do original: “Climate models are important tools for understanding past, present and future climate change. They are sophisticated computer programs that are based on fundamental laws of physics of the atmosphere, ocean, ice, and land. Climate models perform their calculations on a three-dimensional grid made of small bricks or ‘gridcells’ of about 100 km across. Processes that occur on scales smaller than the model grid cells (such as the transformation of cloud moisture into rain) are treated in a simplified way. This simplification is done differently in different models. Some models include more processes and complexity than others; some represent processes in finer detail (smaller grid cells) than others. Hence the simulated climate and climate change vary between models. [...] Models continue to improve and get better and better at simulating the large variety of important processes that affect climate. [...] Scientists evaluate the performance of climate models by comparing historical climate model simulations to observations. This evaluation includes comparison of large-scale averages as well as more detailed regional and seasonal variations. There are two important aspects to consider: (i) how models perform individually and (ii) how they perform as a group. The average of many models often compares better against observations than any individual model, since errors in representing detailed processes tend to cancel each other out in multi-model averages”.

O Gráfico 1 ilustra a população mundial do ano 10.000 a.C até uma expectativa para o ano 2086 d.C.

Gráfico 1.

O tamanho da população mundial ao longo dos anos².



Fonte: Mathieu e Rodés-Guirao (2022).

Pode-se notar, com base no Gráfico 1, que: (a) em 10.000 a.C., a população mundial era de 4 milhões de pessoas; (b) em 1.700 d.C., a população mundial era de 600 milhões de pessoas; (c) entre 10.000 a.C e 1.700 d.C., a taxa de crescimento foi 0,04% a.a; (d) a expectativa de vida até o século XIX era de 30 anos; (e) nos últimos 220 anos, a população cresceu de 1 bilhão para 8 bilhões de pessoas; (f) a expectativa é de que a

² Textos do Gráfico 1, em tradução livre: Em 10.000 a.C. a população mundial era em torno de 4 milhões. A taxa média de crescimento de 10.000 a.C. a 1700 foi de apenas 0,04% ao ano. No ano 0 a população mundial era de cerca de 190 milhões. Em meados do século XIV, a pandemia da Peste Negra matou entre um quarto e metade de todas as pessoas na Europa. A linha roxa mostra o tamanho da população mundial nos últimos 12.000 anos. A linha rosa mostra a projeção da Divisão de População da ONU. Os demógrafos da ONU esperam que a população mundial atinja o pico de 10,4 bilhões em 2086 e diminua posteriormente. A expectativa de vida global antes de 1800 era inferior a 30 anos. Expectativa de vida global em 2023: 73 anos.

população mundial chegue a 9 bilhões de pessoas em 2036 e a 10 bilhões em 2058; (g) a expectativa de vida, em 2019, era de 73 anos; e (h) há uma projeção de que, em 2086, a população mundial alcance o pico de 10,4 bilhões e comece a declinar.

O aumento exponencial da população mundial ocorreu a partir do século XVIII, que, não coincidentemente, foi o século da Revolução Industrial³. Como caracteriza Galor (2023), há uma relação recíproca entre o tamanho populacional e as mudanças tecnológicas. Mas, se até o século XVIII, a população crescia ao nível do avanço tecnológico, como proposto por Thomas Malthus⁴, a Revolução Industrial quebrou esse ciclo. A Revolução, ocorrida pelo destacado avanço tecnológico, gerou um aumento na expectativa de vida, já que o excedente de produção, no decorrer das décadas posteriores, foi capaz de melhorar a vida dos indivíduos, com mais avanço tecnológico e maior acesso por parte dos indivíduos, mesmo que a desigualdade tenha se tornado um problema nos séculos vindouros.

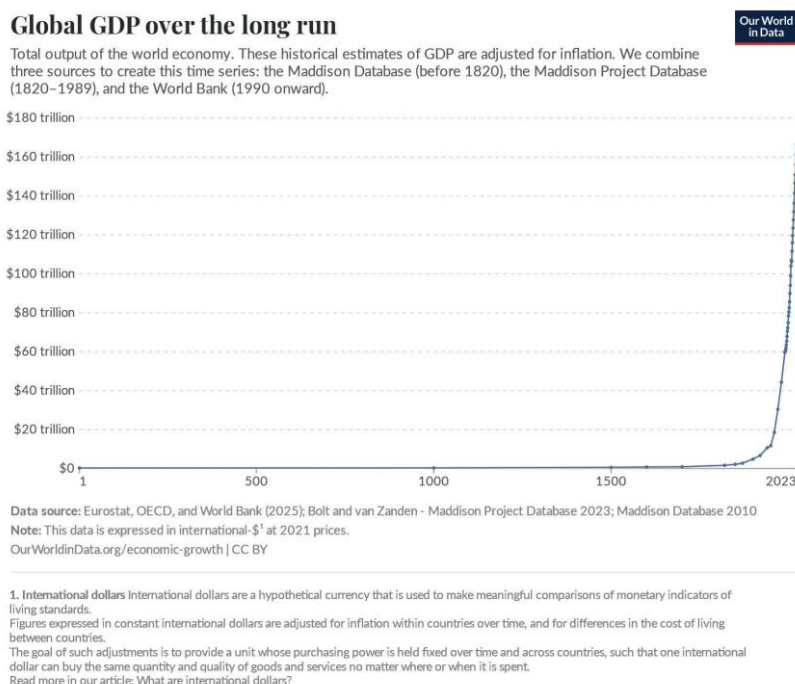
O aumento da população mundial, por sua vez, levou a um aumento da produção mundial (Gráfico 2).

³ Conforme Galor (2023, p. 75): “A máquina a vapor, projetada pelo ferreiro britânico Thomas Newcomen, entrou em uso comercial em 1712. Seu propósito era bastante simples: bombear água para fora das minas de carvão – uma tarefa complexa que exigia uma força de trabalho significativa no século XVIII. Então, entre os anos de 1763 e 1775, a nova tecnologia foi aprimorada pelo engenheiro escocês James Watt, que adaptou os motores para a operação de máquinas de fábrica, disseminando seu uso industrial”.

⁴ “Em 1798, o pensador inglês Thomas Malthus ofereceu uma teoria plausível para o mecanismo que fazia os padrões de vida permanecerem estagnados, prendendo as sociedades na pobreza desde tempos imemoriais. Ele argumentou que, sempre que as sociedades conseguiam gerar um excedente de alimentos por meio de inovação tecnológica, o consequente aumento nos padrões de vida só poderia ser provisório, pois inevitavelmente levaria a um aumento correspondente nas taxas de natalidade e a uma redução nas taxas de mortalidade. Portanto, era apenas uma questão de tempo até que o crescimento populacional subsequente esgotasse os excedentes de alimentos e, assim, as condições de vida voltassem aos níveis de subsistência, deixando as sociedades tão pobres quanto antes daquela inovação. [...] Ironicamente, no entanto, assim que Malthus completou seu tratado e declarou que essa ‘armadilha da pobreza’ ia durar para sempre, o mecanismo que identificou perdeu força de forma repentina, e ocorreu a metamorfose da estagnação ao crescimento” (Galor, 2023, p. 15).

Gráfico 2.

PIB global no longo prazo⁵.



Fonte: Global GDP (2024).

O Gráfico 2 mostra o PIB global, nos últimos 2023 anos, ajustados à inflação e expressos em dólares, em preços de 2021. Pode-se destacar que: (a) a riqueza mundial no ano 1 d.C. era de US\$ 247,70 bilhões; (b) no ano 1000 d.C., US\$ 284,85 bilhões; (c) em 1820, US\$ 1,63 trilhão; (d) em 1950, US\$ 11,74 trilhões; e (e) em 2023, US\$ 166,65 trilhões.

Os últimos 70 anos tiveram uma maior produção do que toda a história anterior da espécie Homo Sapiens. Entre os anos de 2022 e 2023, o aumento da produção mundial foi de 5,27 trilhões de dólares, maior do que toda a produção mundial do século XIX, por exemplo. Em números absolutos, o aumento da riqueza mundial é algo positivo,

⁵ Textos do Gráfico 2, em tradução livre: Produção total da economia mundial. Essas estimativas históricas do PIB são ajustadas pela inflação. Combinamos três fontes para criar esta série temporal: o Banco de Dados Maddison (antes de 1820), o Banco de Dados do Projeto Maddison (1820-1989) e o Banco Mundial (de 1990 em diante).

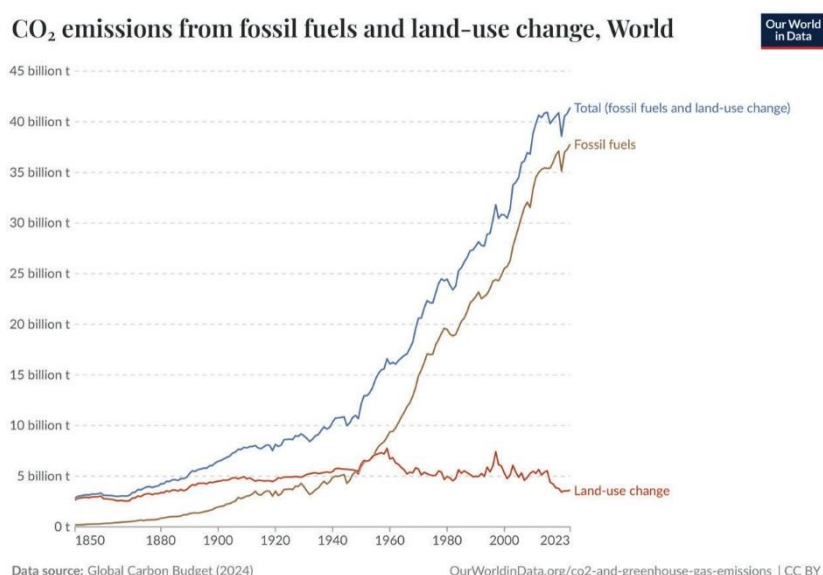
1. Dólares internacionais são uma moeda hipotética usada para fazer comparações significativas de indicadores monetários de padrões de vida. Os valores expressos em dólares internacionais constantes são ajustados pela inflação nos países ao longo do tempo e pelas diferenças no custo de vida entre os países. O objetivo de tais ajustes é fornecer uma unidade cujo poder de compra seja mantido fixo ao longo do tempo e entre os países, de modo que um dólar internacional possa comprar as mesmas quantidade e qualidade de bens e serviços, não importa onde ou quando seja gasto. Leia mais em nosso artigo: “O que são dólares internacionais?”.

entretanto, outro dado, que pode ser relacionado com o aumento da população mundial e o aumento da produção mundial, é bastante preocupante: a emissão global de dióxido de carbono (CO₂) nos últimos 170 anos.

Com o crescimento econômico (e produtivo), houve um aumento considerável na interferência humana na natureza, o que é ilustrado pela maior emissão de CO₂. O Gráfico 3 ilustra a produção de CO₂ por mãos humanas por meio do uso do solo e da queima de combustíveis fósseis.

Gráfico 3.

Emissões de CO₂ provenientes de combustíveis fósseis e mudanças no uso do solo, Mundo (entre 1850 e 2023)⁶.



Fonte: Richier, Roser e Rosado (2020).

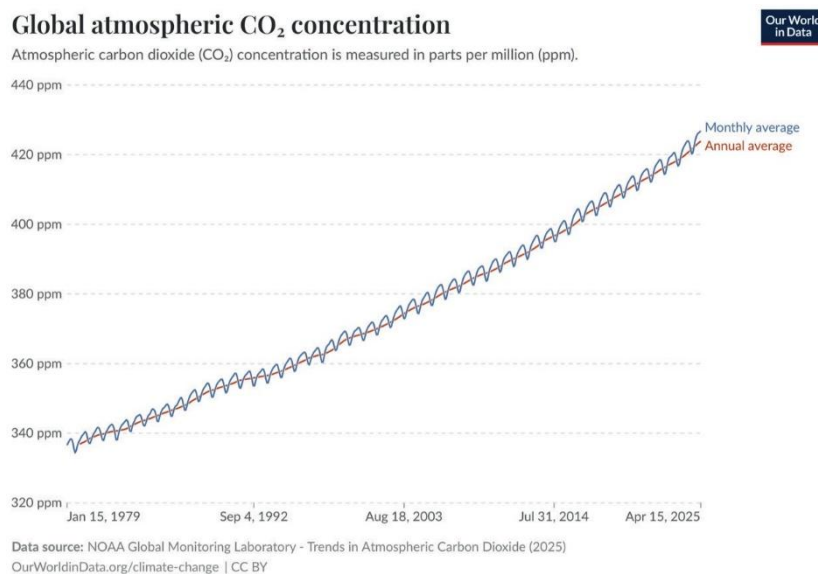
Pode-se afirmar, analisando o Gráfico 3, que: (a) a emissão de CO₂ por mãos humanas em 1850 era de 2,84 bilhões de toneladas anuais (2,64 bilhões de toneladas pelo uso do solo e 196,85 milhões de toneladas por queima de combustível fóssil); (b) em 1955, houve uma inversão, e pela primeira vez na história humana a queima de combustível fóssil se tornou a maior causa de emissão de CO₂ (7,44 bilhões de toneladas por queima de combustível fóssil e 7,12 bilhões de toneladas pelo uso do solo); e (c) em 2023, foram lançadas 40,83 bilhões de toneladas de CO₂ (37,79 toneladas de queima de combustível fóssil e 3,62 bilhões de toneladas devido ao uso do solo).

⁶ Textos do Gráfico 3, em tradução livre: Mudança no uso da terra; Combustíveis fósseis; Total (combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra).

O Gráfico 4 mostra o nível de CO₂ concentrado na atmosfera de 1979 a 2023, dado que o CO₂ lançado na atmosfera permanece nela.

Gráfico 4.

Concentração global de CO₂ na atmosfera: a concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera é medida em partes por milhão (ppm) (de 1979 até 2025).



Fontes: NOAA Global Monitoring Laboratory, 2025; Richier, Roser e Rosado (2020).

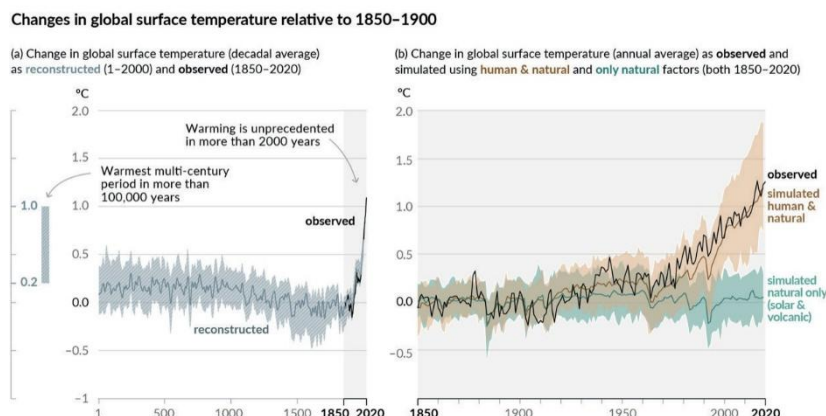
Ao observar o Gráfico 4, pode-se constatar que: (a) a concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera aumentou de 336,85 ppm (parte por milhão) em 1979 para 367,79 ppm em 1999; (b) em 2015, dos 12 meses, 8 alcançaram a marca de 400 ppm; (c) em 2016, tornou-se permanente a marca de 400 ppm em todos os meses. A média anual de 2016 foi de 404,21 ppm; e (d) em 2024, a média anual foi de 422,80 ppm.

Pode-se constatar, com base nos gráficos anteriores, que existe uma correlação entre a Revolução Industrial e o consequente aumento da população e seus desdobramentos (aumento de produção, aumento de emissão e concentração de CO₂ na atmosfera). Como isso se relaciona com o aumento da temperatura?

Gráfico 5.

A influência humana no aquecimento da temperatura da terra nos últimos 2.000 anos⁷.

Human influence has warmed the climate at a rate that is unprecedented in at least the last 2000 years



Fonte: IPCC (2021, p. 6).

O Gráfico 5 mostra a variação climática do ano 1 d.C. até 2020. Pode-se notar que há uma alteração drástica a partir do século XX. O sombreado cinza, entre os anos 1 d.C. e 2020, é uma reconstrução a partir de pesquisas paleoclimáticas. A linha preta, que vai de 1850 a 2020, é oriunda de observações diretas. Levando em consideração simulações de não interferência humana (sombreado verde), a tendência era de que a temperatura alterasse próximo aos ocorridos nos anos anteriores ao século XX.

Atualmente, pode-se afirmar que o aquecimento provocado pelo ser humano na temperatura média global do ar na superfície (global-mean surface air temperature – GSAT), entre os anos de 2010 e 2019, em comparação aos anos de 1850 a 1900, gira em torno de 0,8 °C a 1,3 °C, sendo que o aquecimento constatado foi de 0,9 °C a 1,2 °C, o que significa que as forças naturais atuaram apenas entre –0,1 °C e +0,1 °C na variação da temperatura (Eyring et al., 2021).

⁷ Textos do Gráfico 5, em tradução livre: A influência humana aqueceu o clima a um ritmo sem precedentes pelo menos nos últimos 2000 anos.

Mudanças na temperatura da superfície global em relação a 1850-1900

(a) Mudança na temperatura da superfície global (média na década) conforme reconstruída (1-2000) e observada (1850-2020)

O aquecimento não tem precedentes em mais de 2000 anos Período multissecular mais quente em mais de 100.000 anos Reconstruído

Observado

(b) Mudança na temperatura da superfície global (média anual) conforme observada e simulada usando fatores humanos, naturais e apenas naturais (ambos de 1850 a 2020)

Simulado humano e natural

Simulado apenas natural (solar e vulcânico) Observado

Até metade da década de 1990, é provável que a destruição provocada pelo ser humano na camada de ozônio tenha sido a maior responsável pelo aquecimento global. Entretanto, nos últimos 30 anos, o lançamento de GEE é o principal responsável pelas mudanças climáticas (Eyring et al., 2021).

Os GEE são formados pelo já citado dióxido de carbono (CO₂), pelo metano (CH₄), com 1.866 partes por bilhão (ppb) lançados em 2019, e pelo óxido nitroso (N₂O), com 332 ppb emitidos em 2019. No ano de 2019, as concentrações de CO₂ na atmosfera foram as maiores dos últimos 2 milhões de anos, e as concentrações de CH₄ e N₂O são as mais elevadas dos últimos 800.000 anos. Além do mais, as elevações das concentrações de CO₂ (47%) e CH₄ (156%), em comparação a 1750, são muito superiores às mudanças provocadas naturalmente nos últimos 800.000 anos. As emissões de GEE modificam as propriedades radiativas da atmosfera, o que provoca o aquecimento da atmosfera (Lee; Romero, 2023).

O que tem se constatado com o aumento médio da temperatura global devido à influência humana é que isso tem gerado eventos climáticos extremos, como ondas de calor, grandes precipitações, secas e ciclones tropicais (Lee; Romero, 2023).

- a) Os calores extremos se tornaram mais frequentes a partir da década de 1950, ao passo que os extremos de frio se tornaram menos frequentes. Também houve um aumento nas ondas de calor marinho a partir da década de 1980.
- b) O número e a intensidade de precipitações aumentaram a partir da década de 1950 em várias partes do mundo, como no sul da Ásia, no Leste Asiático e na África Ocidental, ao passo que em outros lugares houve um aumento de estiagens.
- c) Nas últimas quatro décadas, ocorreu um aumento de ciclones tropicais de categorias 3, 4 e 5, além da maior incidência em lugares que tinham menos frequência de ciclones.
- d) Secas, incêndios e inundações também aumentaram em várias localidades (Lee; Romero, 2023).

Como ficou evidente, é um fato que os seres humanos têm alterado o clima de uma maneira que nunca ocorreu na história humana. Uma questão que deve ser colocada agora é: quais impactos econômicos as mudanças climáticas provocam?

3 IMPACTOS ECONÔMICOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Nas últimas décadas, os cientistas têm aperfeiçoado os estudos do clima por meio de modelos climáticos em computadores de última geração. Nesse sentido, os teóricos trabalham com estimativas sobre o aquecimento até o fim do século XXI, que passam por suposições de quanto CO₂ a humanidade colocará na atmosfera ao longo das próximas décadas. Tais estimativas variam entre 1,0 e 4 °C (IPCC, 2021).

As pesquisas envolvendo os impactos econômicos do aquecimento global, que levam às alterações climáticas, são complexas, por dois motivos: (a) as alterações climáticas são globais, mas são causadas por danos locais, difíceis de mensurar; e (b) os GEE, por permanecerem na atmosfera por muito tempo, causam efeitos em longo prazo (Auffhammer, 2018).

É importante compreender os efeitos econômicos das alterações climáticas para uso prático das decisões políticas e para os pesquisadores. As decisões políticas são tomadas muitas vezes com base em informações inconsistentes e até falsas no que diz respeito aos efeitos das emissões de GEE. As ciências econômicas têm um papel fundamental nesse processo de entendimento, ao explicar os benefícios e os custos de novas formas de ações (Carleton et al., 2022).

Para verificar os impactos econômicos das mudanças climáticas, é preciso pressupor como fica a economia após alterações no clima. Tais alterações podem ser extensivas, isto é, presentes em vários setores; e podem ser intensivas, que são ações mais frequentes. Um pesquisador levará em consideração duas questões (contrafactuais) fundamentais: (1) como será o clima futuro?; e (2) como será a reação a um dano climático? (Auffhammer, 2018).

Dada a dificuldade de lidar com a questão sobre o clima futuro, já que os níveis de GEE lançados na atmosfera são incertos em longo prazo, o pesquisador recorre a modelos computacionais (global circulation models – GCM; modelos de circulação global), que apresentarão diferentes cenários de emissões de GEE e de alterações causadas por cada um desses cenários. No caso da reação a um dano climático, será preciso pressupor como os indivíduos reagirão a determinadas variações meteorológicas (Auffhammer, 2018).

Uma dessas pressuposições envolve a relação das mudanças climáticas com a mortalidade resultante de tais alterações. Carleton et al. (2022) estimaram a mortalidade e temperatura em determinadas idades, valendo-se de dados estatísticos recolhidos de 40 países, que abrangem 38% da população mundial. A partir de um modelo econômico, os autores estabeleceram a relação temperatura-mortalidade para todas as regiões do planeta. A pesquisa mostra que temperaturas muito baixas ou muito altas elevam a taxa de mortalidade, principalmente para pessoas acima de 65 anos. Ela também mostra, com base na relação entre previsões do clima no futuro, rendimento e população, a projeção de risco futuro de mortalidade devido às alterações climáticas.

Para fazer as projeções, Carleton et al. (2022) dividiram a superfície da Terra em 24.378 regiões, e, para cada uma delas, projetaram danos a partir das alterações climáticas. Além disso, utilizou-se um conjunto de 21 projeções climáticas globais feitas pela NASA Earth Exchange (NEX), que forneceu temperatura e precipitação diárias até o ano de 2100. As projeções foram baseadas em dois cenários de emissões padronizados⁸: (a) Representative Concentration Pathways 4.5 (Rotas de Concentração Representativa 4.5), conhecida como RCP 4.5, que representa um cenário de estabilização de emissões de combustíveis fósseis; e (b) Representative Concentration Pathways 8.5 (Rotas de Concentração Representativa 8.5), ou RCP 8.5, que ilustra um cenário com grande crescimento de emissões de combustíveis fósseis.

Outro dado utilizado foi o Shared Socioeconomic Pathways (SSP; Percursos Socioeconômicos Partilhados)⁹, que descreve cenários possíveis de desenvolvimento socioeconômico ao longo do século XXI. Foram levados em consideração o SSP2, o SSP3 e o SSP4, que produzem cenários que ficam entre o RCP4.5 e o RCP8.5 (Carleton et al., 2022).

Para a expectativa de crescimento populacional, foram utilizados os dados do International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA; Instituto Internacional de Análise de Sistemas Aplicados), além das projeções populacionais nacionais, que são baseadas nas distribuições populacionais dentro dos países, a partir de imagens de satélites. As projeções do rendimento nacional per capita, por sua vez, também tem como

⁸ O cenário RCP (Representative Concentration Pathways) ilustra cenários com níveis de concentração de emissões de combustíveis fósseis. Para ver os níveis, conferir IPCC (2014).

⁹ Para ver os cenários SSP, conferir IPCC (2021).

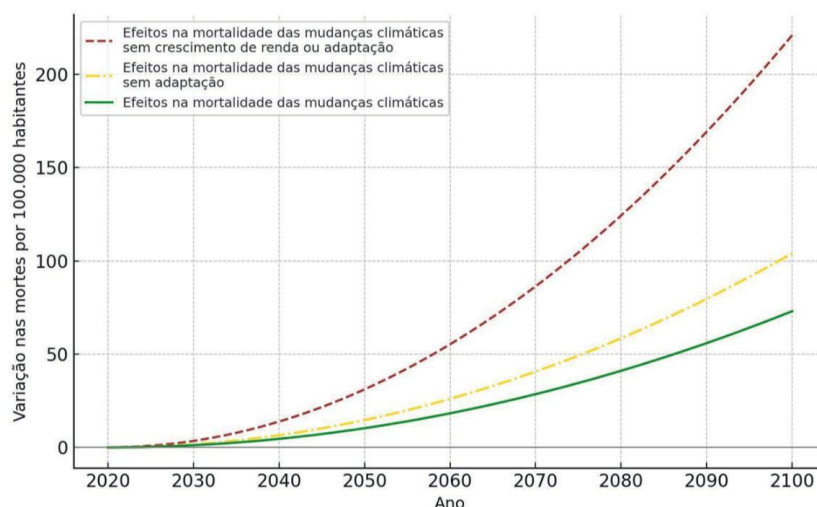
base o SSP, que usa os dados do IIASA e do modelo de crescimento da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (Carleton et al., 2022).

A pesquisa utilizou o value of a statistical life (VSL; valor de uma vida estatística) para projetar, em dólares, o equivalente, por ano, ao valor perdido de uma vida aniquilada em decorrência das alterações climáticas, considerando os anos de vida esperados e a renda de cada região. A base foi o valor de 10,95 milhões (US\$ de 2019), projetado pela Environmental Protection Agency (EPA) (Agência de Proteção Ambiental), ajustado em cada realidade nacional (Carleton et al., 2022). Em um primeiro momento, buscou-se a sensibilidade à variação de temperatura, com base na taxa de mortalidade para idades acima de 64 anos, tendo a renda e o clima como base para os modelos aplicados ao ano de 2015. O levantamento levou em consideração países com dados de mortalidade e países baseados em estimativas, incluindo aqueles sem dados de mortalidade. Averiguou-se o número de mortes para cada região num dia de temperatura a 35 °C. A mortalidade prevista foi maior em localidades com climas mais frios e com menores rendimentos. A média global da taxa de mortalidade foi de 10,1 mortes por 100.000 habitantes (11,7 mortes por 100.000 habitantes em países sem dados de mortalidade, e 7,8 mortes em países com dados de mortalidade) (Carleton et al., 2022).

Em outro instante, foram buscados os efeitos da mortalidade das alterações climáticas, em 2100, no pior dos cenários climáticos (RCP8.5). O modelo considerou as projeções de renda e população, inferidas nas taxas de crescimentos econômico (PIB per capita) e populacional, dos anos de 2000 a 2018. As estimativas apoiaram-se em um modelo baseado nos benefícios de uma adaptação e na ocorrência do crescimento dos rendimentos. Os dados ilustraram que as mortes causadas pelas alterações climáticas ocorrerão de forma desigual no mundo, havendo maior mortalidade em regiões mais quentes e mais pobres. É curioso perceber que, em regiões mais frias, a taxa de mortalidade prevista, devida ao clima, diminuirá, pois os dias de baixíssima temperatura reduzirão bastante (Carleton et al., 2022). Em uma terceira situação, Carleton et al. (2022) ilustraram a variação nas mortes atribuídas aos efeitos das mudanças climáticas (por 100.000 habitantes) ao longo do tempo, considerando diferentes cenários, representados no Gráfico 6, cujo eixo vertical mede a mudança nas mortes por 100.000 habitantes, e o eixo horizontal, o ano (2020–2100).

Gráfico 6.

Série temporal dos efeitos projetados das mudanças climáticas na mortalidade.



Fonte: elaborado pelos autores com base em informações de Carleton et al. (2022).

A linha vermelha tracejada representa um cenário pessimista, sem crescimento econômico nem medidas de adaptação, resultando, dentre as possibilidades apresentadas, no maior número de mortes devido às mudanças climáticas, culminando em 221 mortes por 100 mil habitantes em 2100. A linha amarela tracejada-pontilhada considera o crescimento econômico, mas sem adaptações, resultando em 104 mortes por 100.000 habitantes em 2100. A linha verde contínua inclui tanto o crescimento econômico quanto as medidas de adaptação, apresentando o menor aumento na mortalidade em 2100: 73 mortes por 100.000 habitantes, que continua sendo um número significativo de mortes.

Mesmo com crescimento econômico e adaptações às mudanças climáticas, sem a efetiva redução da emissão de CO₂ nas próximas décadas, as alterações climáticas provocadas pelo ser humano terão impactos significativos na mortalidade global ao longo das eras seguintes.

Carleton et al. (2022) indicam que a monetização da mortalidade devida às mudanças climáticas, no pior dos cenários (RCP8.5), seria o equivalente a 3,2% do PIB global em 2100, caindo para 0,6% do PIB global, caso o cenário fosse de redução das emissões de GEE nos próximos anos (RCP4.5). Os pesquisadores ressaltaram, como já visto em Auffhammer (2018), que é difícil projetar exatamente os impactos, dados os fatores que podem variar ao longo do século XXI, tais como a política, o avanço tecnológico e a demografia. Entretanto, ao adequarem para outros cenários, mantendo-se

o nível de emissão, constatou-se uma perda econômica considerável em todas as novas possibilidades.

Ao estimar os impactos por diferentes regiões, Carleton et al. (2022) verificaram uma variação considerável entre estas. Na pior das estimativas (RCP8.5), a China teria perdas estimadas de 1,9% do PIB, os Estados Unidos, 1,0%, a Índia, 6,0%, o Paquistão, 27,5%, Bangladesh, 18,5%, a Europa, 0,1%, e a África Subsaariana, 8,4%. Quanto à mortalidade causada pelas alterações climáticas, a China teria 1,4 mortes por 100.00 habitantes, os Estados Unidos, -0,2 mortes, a Índia, 60,6 mortes, o Paquistão, 322,4 mortes, Bangladesh, 213,8 mortes, a Europa, -95,5 mortes, e a África subsaariana, 121,3 mortes por 100.000 habitantes.

Por fim, Carleton et al. (2022) enfatizaram três dificuldades que ainda permanecem na pesquisa apresentada sobre as alterações climáticas: (a) a migração, pois a pesquisa não consegue prever eventuais ondas migratórias devidas às alterações climáticas, apesar de os fatos mostrarem como os países têm dificuldades em lidar e aceitar muitos indivíduos em migração; (b) o papel da umidade nas relações históricas entre mortalidade e temperatura, já que, apesar das evidências de que a umidade influencia a saúde humana, não existem muitas pesquisas que correlacionam a umidade com as alterações climáticas, e, portanto, seu papel nas previsões de mortalidade decorrente das mudanças climáticas; e (c) o exato papel dos avanços tecnológicos em relação à capacidade adaptativa diante das mudanças climáticas, que podem reduzir os custos de bens que são usados para lidar com as alterações climáticas.

Mesmo com as dificuldades apresentadas para obter um prognóstico exato das alterações climáticas antrópicas, há um forte indício de que as mudanças climáticas trarão prejuízos econômicos, sociais e existenciais para as gerações futuras.

4 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E IMPLICAÇÕES JURÍDICAS NO CENÁRIO BRASILEIRO

Como bem frisam Reis, Kokke e Couto (2022), o Direito Ambiental é inter e transdisciplinar por excelência, o que justifica a primeira parte deste artigo e a transição para as reflexões no cenário jurídico brasileiro das alterações climáticas.

As mudanças climáticas são ímpares em seus impactos. Primeiro, porque implicam produção de efeitos nocivos que não podem ser restritos territorial ou

temporalmente. Mudanças climáticas no bioma amazônico não implicam efeitos apenas na Amazônia, mas repercutem em todo o Brasil, na América do Sul e em nível mundial. Além disso, o efeito é transtemporal, no sentido de afetar não somente as gerações presentes, mas principalmente as gerações futuras. Os danos climáticos implicam um passivo ambiental intergeracional que compromete a qualidade de vida das gerações presentes, impactando também a própria subsistência econômica no futuro.

Lado outro, desconsiderar efeitos ambientais nocivos entre as gerações é provocar situações de crise e confrontações futuras nos patamares de justiça distributiva. A crise se torna aguda em relação aos bens compartilhados (ou com pretensão a serem compartilhados) pelos conviventes das gerações que virão, fato que engloba crises entre Estados ou comunidades políticas então existentes, incluindo desde emigrações e refugiados por razões ambientais até desenlaces bélicos pelo predomínio sobre bens ambientais necessários para a vida.

Nesse grau de crise, há previsível aguçamento dos desequilíbrios entre países ricos e pobres, como alerta Brown-Weiss (2008, p. 622, tradução livre) em relação aos efeitos das mudanças climáticas, já que “as alterações climáticas reforçarão as divisões econômicas que já existem entre os países, uma vez que alguns países terão uma maior capacidade de adaptação do que outros”¹⁰.

Os efeitos climáticos nocivos impactam a fauna e a flora, impactam as paisagens e a estrutura hídrica, impactam a produção de alimentos e a biodiversidade. Variações nas temperaturas globais estão ligadas a desastres ambientais, a enchentes, a ondas devastadoras de calor, a secas e a desequilíbrios das mais diversas índoles. Nesse sentido, Garbaccio, Bandeira e D’Isep (2018) situam o clima como um patrimônio comum da humanidade, fato que atrai a avaliação de responsabilidades e reparação por danos que lhe sejam projetados. A conjuntura de risco e efeitos negativos da mudança do clima implica a abertura de litígios próprios, de ações judiciais que versam direta ou indiretamente sobre danos sobre o clima, configurado como bem jurídico próprio.

O Supremo Tribunal Federal (STF), em diversos casos, com destaque para a ADC 42, já admitiu – tanto do ponto de vista normativo quanto dos pontos de vista fático e científico – a implicação antrópica na desestabilização do clima, com ações e omissões que afetam o equilíbrio ecossistêmico e provocam disfunções climáticas (Brasil, 2019).

¹⁰ Do original: “climate change will strengthen the economic divisions which already exist between countries, since some countries will have a greater capacity to adapt than will others”.

Por sua vez, o Superior Tribunal de Justiça (STJ), inclusive, reconheceu as mudanças climáticas como tema já interiorizado pelo direito positivo e, conseqüentemente, compreendeu o clima como bem jurídico difuso:

É dever de todos, proprietários ou não, zelar pela preservação dos manguezais, necessidade cada vez maior, sobretudo em época de mudanças climáticas e aumento do nível do mar. Destruí-los para uso econômico direto, sob o permanente incentivo do lucro fácil e de benefícios de curto prazo, drená-los ou aterrá-los para a especulação imobiliária ou exploração do solo, ou transformá-los em depósito de lixo caracterizam ofensa grave ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e ao bem-estar da coletividade, comportamento que deve ser pronta e energicamente coibido e apenado pela Administração e pelo Judiciário (Brasil, 2007, p. 3).

Aplica-se aqui a determinação constitucional expressa de proteção ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e preservação e restauração dos processos ecológicos essenciais, previstos como direito fundamental no art. 225 da Constituição da República Federativa do Brasil (CRFB; Brasil, 1988). Os contornos do dano climático são diversos e próprios, fazendo emergir uma nova pretensão de reparação do dano ambiental, especificamente relacionada ao clima. Os danos ambientais climáticos são cumulativos, ao que se somam continuamente em sua produção e escala de efeitos, e, também, afiguram-se como sinérgicos, ao que as condutas lesivas não são apenas uma soma, mas a produção de uma síntese de efeitos que resultam em conseqüências imprevisíveis e de reversão árdua, quando não desembocam na irreversibilidade.

Nesse sentido e nesse cenário, a litigância climática apresenta-se como uma postulação de responsabilidade por dano ambiental específico e marcado pela peculiaridade de buscar que emissores ilegais de GEE sejam condenados a interiorizar a externalidade negativa que produziram em desfavor da sociedade. A litigância climática visa atribuir responsabilidade de reparação individualizada em razão da contribuição ilegítima do agente para com o cenário amplo e complexo de lesão ambiental que se apresenta.

A litigância climática avança com força motriz ímpar no cenário jurídico mundial, tendo em conta que a qualidade ambiental e o dever de equidade intergeracional se afiguram como direito a ser resguardado pelos Estados e pela sociedade como um todo. Nesses trilhos, anteparam-se convenções internacionais e leis internas. Aqueles que provocam em desmedida ou ilegítima conduta atividade que resulte em fonte adicional

ilegal de emissão de GEE devem responder pelo dano climático, arcando individualmente e na proporção estimada de sua contribuição com a reparação do estado ambiental de desequilíbrio para o qual contribuiu.

A litigância climática apoia-se no alicerce da justiça ambiental, ao que visa atribuir um ônus específico de reparação diante do dano complexo, considerando a proeminência de ações ilícitas que afetam os ecossistemas a partir do clima. Gabriel Wedy, em artigo publicado na Columbia Law School, destaca o âmbito de aplicação da litigância climática no Brasil:

Nesse contexto, é possível perceber que há um litígio climático recente e ainda frágil no Brasil. É importante mencionar que a Lei n. 12.187/2009, que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima, com imperfeições e abstrações, é um avanço considerável como marco no combate às mudanças climáticas e ao aquecimento global.¹⁷ Essa lei incorpora claramente o conceito de tratados e acordos internacionais de proteção ambiental, o que é, de fato, extremamente positivo. A legislação é regulamentada pelo Decreto 7.390/2010, que prevê, entre outras questões importantes, que a linha de base de emissões de gases de efeito estufa para 2020 seja estimada em 3.236 GtCO₂-eq. Assim, a redução absoluta correspondente foi estabelecida entre 1.168 Gt-CO₂-eq e 1.259 GtCO₂-eq, 36,1% e 38,9% de redução de emissões, respectivamente¹¹ (Wedy, 2017, p. 23, tradução livre).

Nesse sentido, gerações de GEE que se configurem como fontes ilícitas de emissão acarretam responsabilidade direta dos responsáveis pelas emissões, mensurada com base nas emissões e em sua representação, segundo o Custo Social do Carbono. A responsabilidade civil apresenta conotação e conformação próprias, ao que

Não existe dúvida que atos ilícitos como queimadas, desmatamentos ou emissões de poluentes, todos geradores de emissões de gases de efeito estufa, podem ser objeto de litígios climáticos instaurados com o ajuizamento de ações civis públicas ou ações populares climáticas (Kokke; Wedy, 2021, p. 53).

¹¹ Do original: “Nor are victories in climate litigation a chimera. The recent U.S. Supreme Court decision in *Massachusetts v. EPA*, which will force EPA to revisit whether to regulate carbon under the Clean Air Act, is the most well known climate victory. In so doing, the Supreme Court found that the risk of rising sea levels alleged by the plaintiffs was sufficiently “real” to afford Massachusetts standing to raise its climate change-based claim. Other courts in the US and Australia, for example, have extended standing to private parties pressing climate change claims. Significant substantive victories have also required, for example, the assessment of climate impacts in the permitting of greenhouse gas emitting activities, in decisions to provide financing, and in requirements to reduce gas flaring associated with oil refineries. These victories are likely just the tip of the litigation iceberg, but win or lose, climate litigation strategies have harkened in a new era of climate politics”.

Os litígios climáticos são definidos pelas emissões ilícitas ou danosas de GEE, ao que sua valoração reparatória se dá pela estimativa do custo social do carbono mensurado pelo quantitativo que foi objeto de emissão.

Além disso, tem-se que a litigância climática apresenta aspectos orçamentários, afinal, e cada vez mais se exigirão do Estado recursos para responder a desastres ambientais e situações de exclusão para as quais houve contribuição individual de poluidores que se destacaram com um plus de exploração ilegítima dos recursos naturais. A litigância climática é um tema mundial.

As vitórias em litígios climáticos também não são uma quimera. A recente decisão da Suprema Corte dos EUA em *Massachusetts v. EPA*, que forçará a EPA a rever se deve regular o carbono sob o Clean Air Act, é a vitória climática mais conhecida. Ao fazê-lo, a Suprema Corte concluiu que o risco de elevação do nível do mar alegado pelos demandantes era suficientemente “real” para dar a Massachusetts legitimidade para levantar sua reivindicação baseada em mudanças climáticas. Outros tribunais nos EUA e na Austrália, por exemplo, estenderam a legitimidade a partes privadas que pressionam reivindicações sobre mudanças climáticas. Vitórias substantivas significativas também exigiram, por exemplo, a avaliação dos impactos climáticos na autorização de atividades emissoras de gases de efeito estufa, em decisões para fornecer financiamento e em requisitos para reduzir a queima de gás associada a refinarias de petróleo. Essas vitórias são provavelmente apenas a ponta do iceberg do litígio, mas, ganhe ou perca, as estratégias de litígio climático têm marcado uma nova era de política climática¹² (Hunter, 2008, p. 18-19, tradução livre).

O dano climático está ligado à fonte emissora e à proporção de difusão produzida em termos de GEE, além de comprometimento das vias de fixação do carbono em seu ciclo de estoque no ecossistema. Rosa (2023) configura o dano climático em particularidade quanto à atual possibilidade de identificação de fonte, o nexo de causalidade e a responsabilização pelo dano climático. Nesses trilhos, “O dano climático

¹² Do original: “Nor are victories in climate litigation a chimera. The recent U.S. Supreme Court decision in *Massachusetts v. EPA*, which will force EPA to revisit whether to regulate carbon under the Clean Air Act, is the most well known climate victory. In so doing, the Supreme Court found that the risk of rising sea levels alleged by the plaintiffs was sufficiently “real” to afford Massachusetts standing to raise its climate change-based claim. Other courts in the US and Australia, for example, have extended standing to private parties pressing climate change claims. Significant substantive victories have also required, for example, the assessment of climate impacts in the permitting of greenhouse gas emitting activities, in decisions to provide financing, and in requirements to reduce gas flaring associated with oil refineries. These victories are likely just the tip of the litigation iceberg, but win or lose, climate litigation strategies have harkened in a new era of climate politics”.

direto é, por conseguinte, o resultado de um somatório individualizável de emissões e de supressões de sumidouros” (Rosa, 2023, p. 378).

A litigância climática demanda, assim, um novo paradigma de percepção, pelo qual se tenha em conta a contribuição de atos insulares como integrantes de efeitos complexos na escala do equilíbrio das funções ecológicas e da qualidade ambiental. Especificamente em relação à presente ação, seu objeto é reparar o dano climático desencadeado a partir de intervenções ilegais em áreas ambientalmente protegidas.

As alterações climáticas, sob o panorama do discurso jurídico, são uma expressão normativa posta. São elas uma questão fixada não para sujeição ao discurso de justificação e menos ainda a crivos de debate quanto à sua existência. As mudanças climáticas são estabelecidas normativamente, e a avaliação de sua aplicação se dá a partir da Lei n. 12.187/2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC; Brasil, 2009). Trata-se, assim, de primado jurídico estabelecido, inenunciável a questionamentos, pois tal seria como questionar as próprias validade e eficácia de norma legitimamente posta.

A mudança climática não é uma hipótese, é um ponto de partida já reconhecido pela legislação brasileira, donde o discurso de aplicação há deste ponto de partida endereçar-se para avaliar o enquadramento da norma. O art. 2º, VIII, da Lei n. 12.187/2009 define a mudança climática como “mudança de clima que possa ser direta ou indiretamente atribuída à atividade humana que altere a composição da atmosfera mundial e que se some àquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis” (Brasil, 2009). Associando e identificando o panorama do dano climático, tem-se, assim, que os responsáveis por fontes de emissão irregular de GEE devem ser responsabilizados pelos efeitos na biomassa e no desequilíbrio climático que sua atividade antrópica derivou.

5 CONCLUSÃO

Inicialmente, este artigo definiu mudanças climáticas e aquecimento global. Por meio da análise de gráficos, mostrou a correlação entre o aumento da população mundial, o aumento da riqueza mundial, o aumento da emissão global de CO₂ na atmosfera, o aumento da concentração global de CO₂ na atmosfera e o aumento acelerado da temperatura média global, ficando evidenciada a aceleração do aquecimento global

devida à interferência humana. O texto também se baseou em evidências científicas que mostram como essa interferência humana tem provocado alterações significativas nos últimos 150 anos em relação ao clima.

Constatada a interferência humana nas mudanças climáticas atuais, o texto buscou dissertar a respeito dos impactos econômicos das mudanças climáticas provocadas por ações antrópicas, detendo-se no exemplo da influência das mudanças climáticas no nível de mortalidade mundial até o ano de 2100.

A pesquisa, portanto, mostrou as evidências da interferência humana nas mudanças climáticas e, por meio de exemplos, como a sociedade sofrerá impactos econômicos cada vez mais significativos ao longo do século XXI. A partir dos indicativos demonstrados, pode-se apresentar aos gestores públicos meios eficientes de amenizar a dramática situação em que a humanidade se encontra. Lado outro, as repercussões e implicações relativas às mudanças climáticas alcançam e determinam litígios específicos.

Os litígios climáticos têm como fundamento de causa a ocorrência de dano climático, ou seja, de ações de emissão ilícita ou ilegítima de GEE que contribuirão para as mudanças climáticas. Além disso, atuações ilícitas que impliquem supressões ilegais ou ilegítimas de sumidouros de carbono também acarretam responsabilidade por dano climático, afinal, impedem ou prejudicam o exercício dos recursos ecossistêmicos de regulação do clima.

A categorização jurídica dos danos climáticos é implicação normativa direta, a atrair responsabilização civil reparatória aos agentes que, independentemente de culpa, atuaram com causalidade na emissão de GEE a partir de práticas ilícitas. A valoração da responsabilidade, em individualização, também pode ser obtida, concretizando todos os fatores de determinação do litígio e das implicações reparatorias. A aferição se dá por meio da estimativa de GEE ilicitamente ou ilegítimamente emitidos, valorada segundo o custo social do carbono e tendo em conta o estoque de carbono afetado.

Não se tem no litígio climático uma restrição ou delimitação que o faça confundir com o litígio ambiental clássico, relativo à reparação da área atingida. O dano climático vai além do dano ambiental material, implicando efeitos sobre o ecossistema como um todo, derivado das emissões de GEE em seu teor cumulativo e sinérgico. Os reflexos econômicos e socioeconômicos, além das implicações sobre a própria existência humana descritos e argumentados ao longo deste artigo, demonstram o teor de autonomia e

implicação própria dos danos climáticos, a amparar jurídica e tecnicamente pleitos reparatórios para imputação individualizada de responsabilidades.

REFERÊNCIAS

- AUFFHAMMER, M. Quantifying economic damages from climate change. *Journal of Economic Perspectives*, v. 32, n. 4, p. 33-52, 2018. Disponível em: <https://pubs.aeaweb.org/doi/pdfplus/10.1257/jep.32.4.33>. Acesso em: 15 out. 2023.
- BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 11 ago. 2025.
- BRASIL. Lei n. 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, p. 109, 29 dez. 2009. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm. Acesso em: 11 ago. 2025.
- BRASIL. Supremo Tribunal Federal. Ação Declaratória de Constitucionalidade n. 42. Rel. Min. Luiz Fux, Tribunal Pleno, julgado em 28 fev. 2018. *Diário da Justiça Eletrônico*, Brasília, DF, n. 175, publ. 13 ago. 2019. Disponível em: <https://pesquisadje-api.tjdft.jus.br/v1/diarios/pdf/2019/154.pdf#page=0>. Acesso em: 11 ago. 2025.
- BRASIL. Supremo Tribunal de Justiça. Recurso Especial 650.728/SC. Processual civil e ambiental. Natureza jurídica dos manguezais e marismas. Terrenos de marinha. Área de preservação permanente. Aterro ilegal de lixo. Dano ambiental. Responsabilidade civil objetiva. Obrigação propter rem.
- Nexo de causalidade. Ausência de prequestionamento. Papel do juiz na implementação da legislação ambiental. Ativismo judicial. Mudanças climáticas. Desafetação ou desclassificação jurídica tácita.
- Súmula 282/STF. Violação do art. 397 do CPC não configurada. Art. 14, § 1º, da Lei 6.938/1981. Recorrente: H Carlos Schneider s/a Comércio e Indústria e outro. Recorrido: Ministério Público Federal. Relator Min. Herman Benjamin, 23 de outubro de 2007. Disponível em: <https://www.stj.jus.br/websecstj/cgi/revista/REJ.cgi/ATC?seq=3463400&tipo=0&nreg=&SeqCgrm=aSessao=&CodigoOrgaoJgdr=&dt=&formato=PDF&salvar=false>. Acesso em: 11 ago. 2025.
- BROWN-WEISS, E. Climate change, intergenerational equity, and international law. *Vermont Journal of Environmental Law*, Vermont, v. 9, p. 615-627, 2008. Disponível em: https://scholarship.law.georgetown.edu/cgi/viewcontent.cgi?params=/context/facpub/article/2637/&path_info=Clima_te_change_Intergenerational_Equality_and_Intl_Law.pdf. Acesso em: 11 ago. 2025.

- CARLETON, T. et al. Valuing the global mortality consequences of climate change accounting for adaptation costs and benefits. *The Quarterly Journal of Economics*, v. 137, n. 4, p. 2037-2105, nov. 2022. Disponível em: <https://academic.oup.com/qje/article/137/4/2037/6571943>. Acesso em: 15 out. 2023.
- EYRING, V. et al. Human influence on the climate system. In: MASSON-DELMOTTE, V. et al. (ed.). *Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. p. 423-552. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter03.pdf. Acesso em: 25 out. 2023.
- GALOR, O. *A jornada da humanidade: as origens da riqueza e da desigualdade*. Tradução Antenor Savold Jr. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2023.
- GARBACCIO, G.; BANDEIRA, G. N. C. S. M.; D'ISEP, C. F. M. Climat: un patrimoine commun de l'humanité. *Revista Jurídica – UNICURITIBA*, Curitiba, v. 1, n. 50, p. 147-184, 2018. Disponível em: <http://revista.unicuritiba.edu.br/index.php/RevJur/article/view/2567/371371372>. Acesso em: 11 out. 2024.
- GLOBAL GDP over the long run. *Our World In Data*, 2024. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/global-gdp-over-the-long-run?time=earliest..2023#sources-and-processing>. Acesso em: 9 ago. 2025.
- HISTORICAL GHC emissions. *Climate Watch*, 2021. Disponível em: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?chartType=area&end_year=2018&start_year=1990. Acesso em: 15 out. 2023.
- HUNTER, D. B. The implications of climate change litigation for international environmental law-making. *American University Washington College of Law, Washington College of Law Research Paper*, n. 2008-14, 2008. Disponível em: <http://ssrn.com/abstract=1005345>. Acesso em: 11 ago. 2025.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. In: EDENHOFER, O. R. et al. *Climate change 2014: mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers.pdf. Acesso em: 26 nov. 2023.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. In: MASSON-DELMOTTE, V. et al. (ed.). *Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. p. 3-32. Disponível em: https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/8E7A4E3AE6C364220F3B76A189CC-4D4C/stamped-9781009157889pre2_3-32.pdf/summary-for-policymakers.pdf. Acesso em: 19 nov. 2023.

- KOKKE, M.; WEDY, G. Litigância climática no plano internacional: análises comparativas. *Revista dos Tribunais*, São Paulo, v. 110, n. 1023, p. 39-58, jan. 2021.
- LEE, H.; ROMERO, J. (ed.). *Climate change 2023: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.
- MATHIEU, E.; RODÉS-GUIRAO, L. What are the sources for Our World in Data's population estimates? *Our World In Data*, 2022. Disponível em: <https://ourworldindata.org/population-sources>. Acesso em: 15 out. 2023.
- NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. About us. Disponível em: <https://www.nationalacademies.org/about>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- NOAA GLOBAL MONITORING LABORATORY. Global atmospheric CO₂ concentration. *Our World In Data*, 2025. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/global-co2-concentration>. Acesso em: 9 ago. 2025.
- REIS, E. M. B.; KOKKE, M.; COUTO, M. J. Aplicação interdisciplinar e transdisciplinar nos espaços administrativos decisórios em matéria ambiental. *Veredas do Direito*, Belo Horizonte, v. 19, n. 44, p. 153-181, maio/ago. 2022. Disponível em: <http://www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/view/2315>. Acesso em: 10 mar. 2025.
- RICHER, H.; ROSER, M.; ROSADO, P. CO₂ and greenhouse gas emissions. *Our World In Data*, 2020. Disponível em: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>. Acesso em: 9 ago. 2023.
- ROSA, R. S. M. *Dano climático: conceito, pressupostos e responsabilização*. São Paulo: Tirant lo Blanch, 2023.
- ROSER, M. et al. Economic growth. *Our World In Data*, 2023. Disponível em: <https://ourworldindata.org/economic-growth>. Acesso em: 9 ago. 2023.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Fact sheet: climate change science – the status of climate change science today. Bonn: UNFCCC, 2011. Disponível em: https://unfccc.int/files/press/backgrounders/application/pdf/press_factsh_science.pdf. Acesso em: 25 out. 2023.
- WEDY, G. *Climate legislation and litigation in Brazil*. New York: Sabin Center for Climate Change Law, 2017. Disponível em: <http://columbiaclimatelaw.com/files/2017/10/Wedy-2017-10-Climate-Legislation-and-Litigation-in-Brazil.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2025.

SOBRE OS AUTORES

Émilien Vilas Boas Reis

Pós-doutor em Filosofia pela Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP), Porto, Portugal. Doutor em Filosofia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Porto Alegre/RS, Brasil. Mestre em Filosofia pela PUCRS. Especialista em Meio Ambiente e Sustentabilidade pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), Rio de Janeiro/RJ, Brasil. Graduado em Filosofia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Graduado em Economia pela FUMEC, Belo Horizonte/MG, Brasil. Professor adjunto, em nível de graduação e pós-graduação (Mestrado/Doutorado), no Centro Universitário Dom Helder, Belo Horizonte/MG, Brasil.

Marcelo Kokke

Pós-doutor em Direito Público – Ambiental pela Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Espanha. Doutor e Mestre em Direito pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RIO), Rio de Janeiro/RJ, Brasil. Especialista em Ecologia e Monitoramento Ambiental pela Universidade de Araraquara (UNIARA), Araraquara/SP, Brasil. Especialista em Processo Constitucional pelo Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix (IMI), Belo Horizonte/MG, Brasil. Graduado em Direito pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte/MG, Brasil. Professor do Doutorado e Mestrado Acadêmico em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Centro Universitário Dom Helder, Belo Horizonte/MG, Brasil. Procurador Federal da Advocacia-Geral da União (AGU), Belo Horizonte/MG, Brasil.

Participação dos autores

Ambos os autores contribuíram igualmente para a elaboração deste artigo.

Disponibilidade de dados

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo foi publicado no próprio artigo.

Como citar este artigo (APA):

Reis, Émilien V. B., & Kokke, M. (2025). CLIMATE DAMAGE AND REPARATORY VALUE. *Veredas Do Direito*, 22(1), e222930. <https://doi.org/10.18623/rvd.v22.2930>