

NOTA TÉCNICA: sobre a exigibilidade e a quantificação do dano climático no âmbito da responsabilidade civil por desmatamento ilegal da vegetação nativa¹

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS MEMBROS DO MINISTÉRIO PÚBLICO DE MEIO AMBIENTE – ABRAMPA, entidade civil que congrega membros do Ministério Público brasileiro com atuação na defesa jurídica do meio ambiente, inscrita no CNPJ sob o nº 02.322.438/0001-11, com sede na Rua Araguari, 1795, Santo Agostinho, Belo Horizonte/MG – CEP 30.190-111, e o **INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA – IPAM**, inscrito no CNPJ sob o nº 00.627.727/0001-01, com sede na Av. Rômulo Maiorana nº 700 – Sala 1011, Bairro Marco, Belém/PA, CEP 66.093-110 cumprindo os seus objetivos institucionais, vêm, por meio da presente Nota Técnica, apresentar as suas contribuições técnicas e jurídicas para que se possa exigir, com segurança, a responsabilização pelos danos causados ao sistema climático, em especial a sua quantificação, no âmbito do regime de responsabilidade civil ambiental por desmatamento ilegal da vegetação nativa.

Sumário: **1.** Introdução; **2.** A emergência climática e os impactos climáticos do desmatamento ilegal; **3.** A responsabilização pelo dano ao sistema climático; **3.1.** O sistema climático como bem jurídico tutelado pelo Direito; **3.2.** O nexo causal entre a supressão da vegetação e o dano ao sistema climático; **3.3.** O dever de reparação integral do dano ambiental; **4.** A valoração da dimensão climática do dano ambiental; **4.1** A quantificação do dano ao sistema climático; **4.2.** A precificação do dano climático; **5.** Conclusões e direcionamentos técnicos.

¹ Nota técnica de autoria da ABRAMPA e do IPAM, elaborada sob a coordenação de Alexandre Gaio (ABRAMPA e MPPR) e de Paulo Moutinho (IPAM), com a participação da equipe jurídica do projeto ABRAMPA pelo Clima, por meio das advogadas Vivian Maria Pereira Ferreira (OAB/SP nº 313.405), Camila Barros de Azevedo Gato (OAB/SP nº 174.848) e Raquel Frazão Rosner (OAB/SP nº 464.689) e das pesquisadoras do IPAM Lívia Loureto e Rebecca Maranhão. O texto contou com a revisão técnica de Vinícius Lameira Bernardo (Coordenador Técnico do Núcleo de Capacitação do Projeto Abrampa pelo Clima), e de Ivan Carneiro Castanheiro (MPSP) e Carlos Alberto Valera (MPMG) (Diretores de Publicações Técnico-Jurídicas da ABRAMPA).

1. Introdução

A ciência reconhece como verdade incontroversa que as emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera são responsáveis pela atual crise climática (IPCC, 2023). Entre as principais atividades emissoras está a supressão da vegetação nativa, que também é a maior fonte de emissões brutas do Brasil (TSAI et al, 2023). Isso ocorre porque as árvores, que absorvem carbono da atmosfera e o armazenam em suas estruturas, quando são derrubadas ou queimadas, deixam de funcionar como sumidouros de carbono e liberam-no em grande quantidade na atmosfera.

Assim, reagir contra o desmatamento é reagir contra a emergência climática. Nesse cenário, ganham centralidade os esforços preventivos e repressivos em prol da preservação das florestas e demais formas de vegetação nativa, o que inclui as medidas de responsabilização pelos danos produzidos ao sistema climático em casos de desmatamento. A presente Nota Técnica busca contribuir para a efetividade dessas medidas, aprofundando os pressupostos técnicos e jurídicos para que se possa exigir, com segurança e rigor técnico, a responsabilização do infrator por danos climáticos em casos de desmatamento ilegal.

De fato, observa-se, no Brasil, o crescimento das demandas judiciais que buscam a responsabilização individual do desmatador pelos danos ocasionados ao sistema climático em casos de desmatamento ilegal. Todavia, embora o princípio da reparação integral do dano ambiental obrigue que se exija a reparação de tais danos, a metodologia para a sua valoração ainda carece de consolidação. Sob tal perspectiva, o Conselho Nacional de Justiça (CNJ) vem buscando estabelecer critérios que norteiem a atuação do Poder Judiciário em relação aos danos ambientais com repercussões climáticas.²

Considerada a importância do tema, e imbuídos do propósito de contribuir com esse debate, a Associação Brasileira de Membros do Ministério Público de Meio

² A Resolução CNJ nº 433/2021 determinou que, na condenação por dano ambiental, cabe ao Poder Judiciário contemplar, além de outros parâmetros, o impacto desse dano na mudança climática global. Audiência pública, transmitida pelo *youtube* em 27 de julho de 2023, buscou coletar manifestações que contribuíssem técnica e juridicamente para a fixação e quantificação dos danos ambientais decorrentes da atividade poluidora (disponível em: <<https://tinyurl.com/mu5xm5a2>> e <<https://tinyurl.com/2s4kwsvn>>). Em consulta pública anterior, que subsidiou a audiência pública, a ABRAMPA contribuiu com o tema, apresentando alguns parâmetros de quantificação de danos climáticos decorrentes de desmatamento.

Ambiente (ABRAMPA) e o Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) apresentam, na presente Nota Técnica, elucidações técnicas e jurídicas para a quantificação dos danos climáticos decorrentes do desmatamento de vegetação nativa. Nesse contexto, explicita-se que os danos causados ao bem jurídico sistema climático sujeitam o poluidor à responsabilização civil objetiva, isto é, independentemente de apuração de culpa. Além disso, destaca-se que o nexo de causalidade entre as atividades que projetam GEE e o aquecimento global já está inequivocamente estabelecido pela Ciência. Assim, consumada a supressão ilegal de vegetação nativa, o poluidor deverá responder pela integralidade da lesão causada ao patrimônio ecológico, isto é, por toda a dimensão dos danos causados ao meio ambiente, incluído o dano ao sistema climático, com base no princípio da reparação integral do dano.

A presente Nota Técnica apresenta alternativas para operacionalizar a valoração do dano climático em casos de desmatamento ilegal de vegetação nativa, de forma a facilitar a sua inclusão nos processos extrajudiciais ou judiciais que envolvam o referido ilícito. Para tanto, sugere-se a utilização da plataforma Calculadora de Carbono (CCAL)³, desenvolvida pelo IPAM, que calcula, de forma rápida e simples, a partir da identificação do polígono desmatado, a quantidade de carbono estocado na área. Com tal dado, é possível estimar o volume de CO₂ liberado na atmosfera pela supressão da vegetação nativa em um determinado bioma, quantificando, assim, o dano climático. Por fim, são apresentadas as alternativas existentes para a precificação do carbono a fim de que as emissões identificadas possam ser convertidas em valores indenizáveis.

Com esta proposta, busca-se sistematizar o conhecimento disponível para que o dano causado ao sistema climático em casos de desmatamento ilegal de vegetação nativa possa ser apurado autonomamente. Espera-se, assim, apoiar os atores legitimados a pleitear a responsabilização civil por dano climático e fornecer direcionamentos técnicos e jurídicos que contribuam para a efetividade das suas ações.

³ Plataforma disponível em: <<https://carboncal.org.br/>>.

2. A emergência climática e os impactos do desmatamento ilegal

É consensual, na comunidade científica, que vivemos em uma era de emergência climática. Como consequência da ação humana, que há mais de um século vem intensificando a emissão de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, assistimos a um aumento sem precedentes da temperatura global e da frequência e intensidade dos fenômenos climáticos extremos (IPCC, 2023).

Ações antrópicas⁴, como o desmatamento de vegetação nativa, a queima de combustíveis fósseis e o uso insustentável da energia e da terra, emitem gases como o CO₂⁵, que retêm a energia do sol. O aumento na concentração desses gases na atmosfera conduz ao agravamento do efeito estufa e, assim, à elevação da temperatura média global⁶, afetando o clima de maneira complexa e tornando-o menos previsível e mais hostil. Atualmente, as concentrações de CO₂ são maiores do que em qualquer momento anterior se considerarmos pelo menos os últimos dois milhões de anos (IPCC, 2023).

Segundo o Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (IPCC), criado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pela Organização das Nações Unidas (ONU) para fornecer avaliações científicas sobre as mudanças climáticas⁷, entre os anos de 2011 e 2020, a temperatura da superfície do planeta já se elevou em 1,1°C desde a era Pré-Industrial (IPCC, 2023). O fenômeno tem provocado o derretimento de calotas polares, o agravamento da erosão litorânea, o aumento do nível

⁴ “Praticamente toda a atividade humana e todos os setores da economia emitem gases de efeito estufa: na agricultura, por meio da preparação da terra para plantio e aplicação de fertilizantes; na pecuária, por meio do tratamento de dejetos animais e pela fermentação entérica do gado; no transporte, pelo uso de combustíveis fósseis, como gasolina e gás natural; no tratamento dos resíduos sólidos, pela forma como o lixo é tratado e disposto; nas florestas, pelo desmatamento e degradação de florestas; e nas indústrias, pelos processos de produção, como cimento, alumínio, ferro e aço”. (BRASIL, s.d.)

⁵ No âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e do Protocolo de Quioto, consideram-se gases de efeito estufa o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), o hexafluoreto de enxofre (SF₆), acompanhados por duas famílias de gases, hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs).

⁶ O efeito estufa é um fenômeno atmosférico natural, responsável pela manutenção da temperatura no planeta. Ao capturar o calor da atmosfera terrestre, o efeito estufa age como um cobertor, permitindo a passagem da radiação solar (na forma de luz), mas evitando a liberação da radiação infravermelha (na forma de calor). Sem o efeito estufa, não seria possível a vida na Terra, pois a temperatura média do planeta seria muito baixa (IPAM, s.d.a). A emergência climática, por sua vez, está relacionada com o agravamento do efeito estufa, que provoca o aquecimento do planeta.

⁷ O IPCC é um comitê composto por centenas de cientistas do mundo todo, que tem o propósito de avaliar o conhecimento científico sobre as mudanças do clima, publicando, periodicamente, os Relatórios de Avaliação, que refletem o consenso científico sobre o tema.

dos mares e oceanos e da frequência e intensidade de eventos extremos. Ondas de calor, precipitações intensas, secas prolongadas, incêndios florestais e ciclones tropicais trazem impactos adversos para a segurança alimentar e hídrica, para a saúde humana e para a economia. Tais eventos climáticos impactam de forma desproporcional justamente as comunidades vulnerabilizadas, que, historicamente, menos contribuíram para a mudança do clima atual (IPCC, 2023).

A comunidade científica aponta que, entre 2030 e 2035, o aumento na temperatura do planeta ultrapassará a marca de 1,5°C, aproximando-nos de um ponto irreversível a partir do qual as consequências desse processo atingirão gravosamente a todos, presentes e futuras gerações (IPCC, 2023). As projeções indicam que, para retornar a uma temperatura abaixo desse limiar até o final deste século, são necessárias ações ambiciosas de redução de emissões de GEE em todos os setores da economia. Isso significa que, até 2030, tais emissões deverão ser mundialmente reduzidas, em média, em 43%, e, até 2050, em 84% (IPCC, 2023).

Segundo os dados globais mais recentes, o Brasil ocupa a sexta posição dentre os maiores poluidores climáticos, com 3% das emissões do total global, ficando atrás apenas de China, EUA, Índia, Rússia e Indonésia (TSAI et al, 2023). No Brasil, as mudanças no uso da terra foram responsáveis pela emissão de 1,12 bilhão de toneladas de CO₂ em 2022, o que representou 48% do total nacional e consolidou o setor, por mais um ano, como a maior fonte de emissões brutas de GEE do país. Das emissões setoriais, 97% decorreram do desmatamento de vegetação nativa, correspondendo a 1,081 bilhão de toneladas de CO₂, concentradas principalmente na Amazônia (75%, ou seja, 837 milhões de toneladas de CO₂)⁸ (TSAI et al, 2023). De fato, a Amazônia é o bioma brasileiro que historicamente mais tem emitido GEE (NOBRE et al, 2021), sobretudo em razão do avanço da pecuária sobre as florestas, o que, em grande medida, vem ocorrendo de forma ilegal (ABRAMPA, IPAM, 2023; TSAI et al, 2023). Em 2022, as emissões brutas da Amazônia foram cinco vezes maiores do que as do Cerrado, devido à maior área desmatada e ao maior estoque de carbono nas florestas (TSAI et al, 2023).

⁸ O Cerrado foi o segundo bioma com mais emissões (14% das emissões; 159 milhões MtCO₂e), seguido pela Mata Atlântica (7% das emissões; 77 MtCO₂e), pelo Pampa (2% das emissões; 24MtCO₂e), pelo Pantanal (1% das emissões; 11 MtCO₂e) e pela Caatinga (1% das emissões; 9 MtCO₂e) (TSAI et al, 2023).

A emissão de GEE pela supressão da vegetação nativa ocorre porque esta armazena grandes quantidades de carbono tanto em sua estrutura quanto no solo. Somente na Amazônia, por exemplo, há um estoque estimado de 90 a 100 bilhões de toneladas de carbono (MOUTINHO et al, 2022). Assim, quando florestas são derrubadas ou queimadas para o estabelecimento de pastagem, agricultura ou outra forma de uso da terra, ocorre a liberação de uma grande quantidade de CO₂ (IPAM, s.d.b).

Ademais, o desmatamento de vegetação nativa e a exploração madeireira também alteram estruturalmente a dinâmica ambiental e contribuem para a contínua emissão de GEE. No caso da Amazônia, por exemplo, tais atividades diminuem a quantidade de água que a vegetação libera para a atmosfera (evapotranspiração) e, conseqüentemente, reduzem o volume das chuvas na região desmatada. Com menos chuvas, há maior possibilidade de ocorrência de incêndios florestais que, por sua vez, provocam a mortalidade de árvores e a geração de mais emissões de GEE. Além disso, a fumaça produzida pelas queimadas (em campos agrícolas e pastagens) e pelos incêndios florestais interfere nos mecanismos de formação das nuvens, dificultando a precipitação (IPAM, s.d.b). Portanto, o desmatamento da vegetação nativa impacta negativamente os processos ambientais e os serviços ecossistêmicos de forma cíclica e contínua, além de contribuir ainda mais para o agravamento das mudanças climáticas.

O desmatamento na Amazônia se mostra ainda mais preocupante, uma vez que as florestas tropicais são particularmente densas e apresentam pouca flutuação sazonal no fluxo de carbono, constituindo-se como importantes estoques de carbono que contribuem para a estabilidade do clima global (BRASIL, 2016). Com quase 20% de todas as espécies de seres vivos do planeta, ao absorver altas taxas de carbono, produzir chuva e reduzir as temperaturas, a Amazônia garante as chuvas nas regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste do Brasil, atuando como um mecanismo de amortecimento das mudanças climáticas:

A floresta amazônica tem sido considerada o berço da biodiversidade planetária. Um ecossistema-chave para a manutenção do regime climático regional e global devido ao volume de carbono que armazena (cerca de 90-100 bilhões de toneladas) a quantidade de umidade que emite para atmosfera. Estima-se que esta imensa cobertura florestal abrigue 20% da biodiversidade planetária e 10% (30.000) das espécies de plantas conhecidas pela ciência (Steege et al. 2013). Somente a riqueza de espécies de árvores pode chegar a 300 espécies/ha, uma

densidade bem superior àquela encontrada, por exemplo, na América do Norte (25 espécies/ha) (Steege et al. 2013). Cada árvore chega a lançar cerca de 500 litros de água para atmosfera, contribuindo para manter o regime de chuvas na região e fora dela (Coe et al. 2018). Uma boa parte desta imensa riqueza está contida na Amazônia brasileira. (MOUTINHO et al, 2022, p. 6)

Embora fundamental para a estabilidade do regime climático global, a Amazônia segue em um processo de destruição. Mesmo com a recente queda no desmatamento do bioma a partir de 2022, a destruição da floresta é ainda altíssima. Em 2023, mais de 454 mil hectares de floresta foram destruídos (LAMA et al, 2024). Além disso, observamos um aumento nos incêndios florestais na região: 107.572 km² foram queimados no bioma Amazônia em 2023, número 36% maior do que a área queimada no mesmo período de 2022 (GUARALDO, 2024). Nesse cenário, medidas preventivas e repressivas contra a destruição do bioma amazônico fazem-se urgentes, sobretudo diante do risco de alcançarmos o ponto de não retorno ou de inflexão, momento em que a floresta perderá sua capacidade de regeneração natural, sendo desencadeado um processo irreversível de degradação (BOLTON, LENTON, BOERS, 2022; LAPOLA et al, 2023).

O panorama de destruição não é exclusivo da Amazônia. Os dados mais recentes do MapBiomas indicam que o desmatamento ainda é uma realidade em todos os biomas brasileiros. Em 2023, o desmatamento de vegetação nativa no Pantanal, na Caatinga e no Cerrado, que já vinha crescendo, intensificou-se ainda mais. Tais biomas apresentaram, respectivamente, um aumento do desmatamento na ordem de 59,2%, 43,3% e 67,7% entre 2022 e 2023 (LAMA et al, 2024). Preocupam, também, os incêndios florestais, especialmente no Pantanal, que já teve quase 60% da sua área queimada nos últimos 39 anos, e no Cerrado, que concentrou mais de 40% das queimadas nacionais no mesmo período (MAPBIOMAS, 2024). Já no que diz respeito à Mata Atlântica e ao Pampa, embora dados recentes indiquem a redução do seu desmatamento, a sua contínua exploração preocupa, principalmente porque, após longo período de degradação, esses biomas encontram-se deteriorados, descaracterizados, fragmentados e fragilizados (HISSA, 2022; MARCUZZO, 2022).

3. A responsabilização pelo dano ao sistema climático

O Brasil tem muito a contribuir para a estabilização do clima em escala global, seja pela redução das suas volumosas emissões de GEE, seja pela preservação da sua vegetação nativa e das suas funções ecossistêmicas. Para tanto, são necessários esforços estratégicos, preventivos e repressivos, notadamente contra “o desmatamento criminoso, especulativo e descolado da economia real” (TSAI et al, 2023, p. 7), que origina a maior parte das emissões do país.

Nesse panorama, ganha destaque o instrumento da responsabilidade civil ambiental, que permite a adoção de medidas extrajudiciais e judiciais para exigir a reparação do dano climático decorrente do desmatamento ilegal de vegetação nativa. Isso porque o desmatamento acarreta dano ambiental de diversas ordens, incluindo-se não apenas o dano específico à flora, decorrente da supressão da vegetação que deverá ser recomposta, mas também outras espécies de danos, como aqueles causados à fauna, ao fluxo gênico, à coletividade (os sociais e morais coletivos) e ao próprio sistema climático.

De fato, o desmatamento da vegetação nativa impacta negativamente os serviços ecossistêmicos, aumenta o risco de ocorrência de incêndios florestais e de escassez hídrica em determinadas regiões e de precipitação pesada em outras, com prejuízos associados para a agricultura, para a produção de energia e para a sociedade brasileira como um todo. Trata-se, sem dúvida, de impactos que afetam até mesmo gerações futuras, uma vez que, mesmo sendo eventualmente possível recuperar plenamente a área desmatada, a perturbação climática permanecerá ativa por um longo período. É importante frisar que, além de todos os mencionados danos, o desmatamento de vegetação nativa acarreta a liberação de GEE, agrava as mudanças climáticas e provoca um desequilíbrio ecológico de longo prazo.

Sob a égide de nosso ordenamento jurídico, trata-se de adequadamente aplicar os artigos 225, parágrafo 3º, da Constituição da República, e artigo 14, parágrafo 1º da Lei Federal nº 6.938/1981 (Política Nacional de Meio Ambiente), que impõem ao poluidor, independentemente da existência de culpa, o dever de indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade. Nessa linha de raciocínio, o desmatamento (ato comissivo ou omissivo), ao gerar emissões de GEE (nexo

causal), agrava o aquecimento global e as mudanças climáticas (dano) e esse impacto é qualificável e quantificável e, portanto, indenizável (valoração).

Vale mencionar que o Superior Tribunal de Justiça (STJ), no Tema 681, julgado sobre o rito de precedente qualificado, firmou a seguinte tese:

A responsabilidade por dano ambiental é objetiva, informada pela teoria do risco integral, sendo o nexo de causalidade o fator aglutinante que permite que o risco se integre na unidade do ato, sendo descabida a invocação, pela empresa responsável pelo dano ambiental, de excludentes de responsabilidade civil para afastar a sua obrigação de indenizar.

Para além do efeito coercitivo, exigir dos desmatadores a reparação integral dos danos ambientais por eles provocados termina por funcionar, também, como instrumento de dissuasão de ilícitos e prevenção de danos futuros, o que reforça ainda mais a sua relevância.

3.1. O sistema climático como bem jurídico tutelado pelo Direito

Tendo em vista que o desmatamento de vegetação nativa produz desdobramentos climáticos relevantes, entende-se que, no âmbito da responsabilidade civil por danos ambientais, tais impactos devem ser abordados de maneira específica, a fim de que sejam adequadamente mapeados, quantificados e reparados e/ou indenizados.

A premissa básica dessa atuação é o fato de que o sistema climático é um bem jurídico objeto de proteção normativa. Sobre o tema, cabe ressaltar que o ordenamento jurídico brasileiro, a partir da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, assinada em Nova Iorque, em maio de 1992, assimilou o conceito de sistema climático. Porém, mesmo antes disso, a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Federal nº 6.938/1981), já adotara um conceito amplo de meio ambiente, que o define como “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas” (art. 3º, I). Ao tratar a degradação da qualidade ambiental como a “alteração adversa das características do meio ambiente” (art. 3º, II) e a poluição como “a degradação da qualidade ambiental” (art. 3º, III), a legislação também incorporou tais conceitos com grande amplitude.

A Constituição Federal recepcionou os termos da Lei Federal nº 6.938/1981 e, repetindo tal solução, também adotou um conceito amplo de bem jurídico ambiental ou ecológico como direito à integridade do meio ambiente, de modo a contemplar tanto fatores bióticos e abióticos quanto as interações entre eles. De fato, o artigo 225 da Constituição Federal veicula um direito fundamental que assegura a todos o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Dada a abrangência do conceito de meio ambiente no ordenamento jurídico brasileiro, não há dúvidas de que o sistema climático integra tal categoria. Nesse exato sentido, ensinam Sarlet, Wedy e Fensterseifer:

O sistema climático (ex.:a atmosfera planetária ou global) não deixa de caracterizar um elemento integrante da categoria meio ambiente natural. Aliás, o próprio direito climático tem por fundamento limitar a intervenção do ser humano na integridade, segurança e estabilidade do clima, de modo a que os processos ecológicos e naturais correlatos ao regime climático se imponham de forma a salvaguardar o seu equilíbrio em termos sistêmicos e planetários. (SARLET, WEDY e FENSTERSEIFER, 2023, p. 62)

Desdobramento lógico do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, o princípio do poluidor-pagador está contido no artigo 225, parágrafo 3º, da Constituição Federal, o qual dispõe que “as condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados”.

Ao assegurar que haja a reparação ambiental pelo responsável direto ou indireto pela atividade causadora de degradação ambiental, independentemente da existência de culpa, tais dispositivos normativos lançam as bases fundamentais para a exigência de reparação dos danos acarretados ao sistema climático em decorrência da supressão da vegetação nativa. Como bem elucidada Sarlet:

(...) um direito fundamental à proteção e promoção de condições climáticas íntegras e estáveis (...) tem seu fundamento no próprio artigo

225 da Constituição, como elemento nuclear do direito e dever à proteção de um ambiente equilibrado e saudável. (SARLET, 2020, s.p.)

Posteriormente, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, promulgada no Brasil pelo Decreto Federal nº 2.652/1998, foi a primeira pactuação internacional a tratar das mudanças climáticas e reconhecer expressamente o sistema climático como objeto de proteção para as presentes e futuras gerações. A referida Convenção-Quadro, ao incorporar o conteúdo científico apresentado pelo IPCC, estabeleceu uma série de definições e preconizou o objetivo de estabilização das concentrações de GEE na atmosfera para o resguardo do interesse da humanidade.

No âmbito da Convenção-Quadro, em 2015, foi assinado o Acordo de Paris. Partindo do reconhecimento de que uma elevação média da temperatura do planeta na ordem de 2°C daria causa a graves desastres ambientais, todos os países signatários passaram a se comprometer formalmente com metas nacionalmente determinadas (NDCs) de redução de emissões de GEE, que devem ser periodicamente revistas, de maneira a se tornarem cada vez mais ambiciosas.

Entre outros compromissos assumidos pelo Brasil com a assinatura do Acordo de Paris, vale mencionar:

- (i) A adoção de medidas para conservar e fortalecer, conforme o caso, sumidouros e reservatórios de gases de efeito estufa, incluindo florestas (art. 5º); e
- (ii) A adoção de medidas que abordem políticas e incentivos positivos para as atividades relacionadas à redução de emissões por desmatamento e degradação florestal, o papel da conservação do manejo sustentável de florestas e o aumento dos estoques de carbono florestal (art. 5º).

De acordo com a última atualização de sua contribuição nacionalmente determinada (NDC), em 2023 (BRASIL, 2023a), o país assumiu o compromisso de:

- (i) Reduzir as emissões de GEE em 48,4% abaixo dos níveis de 2005, até 2025;
- (ii) Reduzir as emissões de GEE em 53,1% abaixo dos níveis de 2005, até 2030;
- (iii) Alcançar a neutralidade climática até 2050.

Internalizado no ordenamento jurídico brasileiro pela promulgação do Decreto Federal nº 9.073/2017, o Acordo de Paris é norma interna e cogente. De fato, os tratados internacionais de Direitos Humanos se incorporam ao ordenamento jurídico brasileiro na condição de normas supralegais, conforme já reconhecido pelo Supremo Tribunal Federal ao decidir a Arguição de Descumprimento de Preceito Fundamental nº 708, ocasião na qual explicitou que os tratados sobre o direito ambiental, como é o caso do Acordo de Paris, caracterizam-se como tratados de Direitos Humanos e, assim, integram o ordenamento jurídico acima das leis ordinárias. Nos termos do voto do Ministro Luís Barroso:

(...) a Constituição reconhece o caráter supralegal dos tratados internacionais sobre direitos humanos de que o Brasil faz parte, nos termos do seu art. 5º, § 2º. E não há dúvida de que a matéria ambiental se enquadra na hipótese. Como bem lembrado pela representante do PNUMA no Brasil, durante a audiência pública: ‘Não existem direitos humanos em um planeta morto ou doente. (STF, ADPF 708, Rel. Min. Luís Roberto Barroso, julgado em 04/07/2022, DJe 28/09/2022)

É importante lembrar ainda que, desde 2009, o Brasil conta com uma Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), estabelecida pela Lei Federal nº 12.187/2009. A norma define a mudança do clima como a mudança “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” (art. 2º, VIII). Os efeitos adversos da mudança do clima, por sua vez, são identificados como as “mudanças no meio físico ou biota resultantes da mudança do clima que tenham 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).

A PNMC também prescreve a todos o dever de atuação para mitigar os impactos decorrentes das interferências humanas sobre o sistema climático, com a adoção de medidas para prever, evitar ou minimizar as causas das mudanças climáticas no território nacional (art. 3º, I e II). Além disso, com o objetivo de mitigar o desmatamento, a norma

prevê a elaboração de planos de prevenção e controle para todos os biomas, de modo que o Decreto Federal nº 9.578/2018, que regulamenta a Política Nacional, exige a elaboração de planos, em especial para os biomas Amazônia e Cerrado (art. 17)⁹.

Ainda no plano da legislação federal, também a Lei de Vegetação Nativa (Lei Federal nº 12.651/2012) tutela expressamente o sistema climático ao dispor que desenvolvimento sustentável no Brasil tem como parâmetro o comprometimento com a preservação das suas florestas e demais formas de vegetação nativa, além da biodiversidade, do solo, dos recursos hídricos e da integridade do sistema climático, para o bem-estar das gerações presentes e futuras.

Por sua importância para a sobrevivência e a continuidade da espécie humana, a proteção ao sistema climático originou uma série de compromissos nacionais e internacionais, assim como o estabelecimento de deveres e obrigações com o objetivo de protegê-lo. A verdade é que todo o conjunto normativo brasileiro - seja ele decorrente da Constituição Federal, seja ele fruto dos tratados internacionais, ou ainda das normas legais e infralegais - assegura a proteção do sistema climático, incorporado ao ordenamento como bem jurídico dotado de proteção normativa.

Trata-se de verdadeiro direito fundamental ao clima estável, ao qual corresponde o dever de manutenção da estabilidade climática, sob pena de responsabilização dos atores responsáveis por violações a tal bem jurídico. Assim, nos casos de supressão da vegetação nativa, o dano ambiental contempla, também, um dano climático, consistente na emissão de CO₂ e na remoção de sumidouros de carbono, dando azo à responsabilização do poluidor a partir de sólida e robusta base normativa.

3.2. O nexa causal entre a supressão da vegetação nativa e o dano ao sistema climático

A garantia à proteção do meio ambiente ecologicamente equilibrado exige de todo o sistema de justiça um comportamento estritamente vinculado aos saberes derivados da

⁹ O Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) e o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Bioma Cerrado (PPCerrado) foram renovados em 2023 e estão, respectivamente, na 5ª e 4ª fase de implementação (BRASIL, 2023b; BRASIL, 2023c). Os planos para os demais biomas ainda estão em fase de elaboração e não foram implementados.

melhor ciência. E o que a ciência aponta é que a elevação da temperatura global e o agravamento da crise climática têm como causa a alteração na concentração de GEE na atmosfera provocada pela ação humana (IPCC, 2023). Trata-se, hoje, de uma certeza incontestável, fruto da conclusão das centenas de cientistas que compõem o Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (IPCC), comitê criado pela Organização das Nações Unidas para reunir estudos científicos relacionados às mudanças climáticas.

Os Relatórios de Avaliação publicados pelo IPCC são uma referência entre a comunidade científica e refletem o consenso mundial sobre o tema. As conclusões dos trabalhos desenvolvidos pelo IPCC são dotadas da mais alta confiabilidade e certeza, de maneira que suas afirmações a um só tempo consolidam a base científica para o conhecimento das mudanças climáticas e necessariamente devem nutrir e respaldar todo e qualquer pronunciamento jurídico e político sobre a matéria.

Entre as atividades humanas que alteram a concentração de GEE na atmosfera está a mudança do uso da terra, que se origina principalmente do desmatamento da vegetação nativa. No Brasil, trata-se do setor que responde pela maior parte das emissões de GEE (TSAI et al, 2023).

Assim, a liberação de GEE decorrente da supressão da vegetação nativa configura o incontestável nexo causal entre o ato do desmatamento de vegetação nativa e o dano climático, vale dizer, o agravamento das mudanças climáticas. Cuida-se de um dano cumulativo, que resulta de um somatório individualizável de emissões, como explica Rosa:

Quanto ao dano climático direto, atual e consumado, deve-se consignar sobremaneira que se trata de um dano em curso, de nítido efeito cumulativo e progressivo, que se acresce a cada nova emissão. Este dano possui fonte causal já conhecida e identificada como fato estabelecido. O dano climático direto é, por conseguinte, o resultado de um somatório individualizável de emissões e de supressões de sumidouros, que obviamente ocorrem em diferentes espaços e sob distintas jurisdições, sendo o seu nexo causal aclarado de modo escorreito pela robusta informação científica à disposição de todos, inclusive dos operadores jurídicos (ROSA, 2023, p. 377-378).

Esta certeza científica resolve e assenta o primeiro nível ou modalidade de causalidade jurídica, mais precisamente a causalidade do dano difuso e transindividual, aqui nominado como dano climático direto, porque

diretamente sofrido pelo macrobem jurídico sistema climático, e indiretamente pela humanidade, que de sua funcionalidade depende como premissa elementar de existência (...) Esta é uma causalidade jurídica de etapa única porque ela afere uma única relação de causa/efeito, ora dada como fato estabelecido pela comunidade científica. Como dito, são as emissões antrópicas de gases de efeito estufa que causam o aquecimento do sistema climático e causam, portanto, o quadro danoso atual em sua funcionalidade” (ROSA, 2023, p. 370-371).

Embora a relação causal entre os impactos ao sistema climático e a projeção antrópica de GEE desde sempre tenha sido afirmada pelo IPCC, tal relação se consolidou como um fato estabelecido com a evolução dos estudos. Entre o primeiro ciclo do Relatório de Avaliação do IPCC, de 1990 (AR1), e o sexto ciclo de avaliação, de 2021 (AR6), confirmou-se o fenômeno de causa e efeito entre as emissões cumulativas de GEE e o aquecimento global (IPCC, 2023), ocasionando cada vez mais eventos extremos.¹⁰

O Relatório Síntese de 2023 elaborado pelo IPCC expõe que:

As atividades humanas, principalmente através das emissões de gases de efeito estufa, inequivocamente causaram o aquecimento global, com a temperatura da superfície global atingindo um valor 1,1°C mais alto entre 2011-2020 do que no período de 1850-1900. As emissões globais de gases de efeito estufa continuaram a aumentar no período de 2010 a 2019, com contribuições históricas e correntes desiguais decorrentes do uso insustentável de energia, do uso da terra e da mudança no uso da terra, dos estilos de vida e dos padrões de consumo e produção entre regiões, entre países e dentro deles, e entre indivíduos (alta confiança). As mudanças do clima causadas pelo homem já estão afetando muitos extremos meteorológicos e climáticos em todas as regiões do mundo. Isso levou a impactos adversos difundidos na segurança alimentar e hídrica, na saúde humana, na economia e na sociedade, bem como perdas e danos relacionados à natureza e às pessoas (alta confiança). As comunidades vulneráveis que historicamente menos contribuíram para a mudança do clima atual são desproporcionalmente afetadas (alta confiança). (IPCC, 2023, p. 60)¹¹

¹⁰ Desde 1990, o IPCC já indicava evidências da influência humana na mudança do clima, mas, com o desenvolvimento dos estudos, o comitê apontou que a ação antrópica seria “provável”, depois “altamente provável”, até que, em 2021, confirmou definitivamente que a mudança do clima é decorrente da ação humana (IPCC, 2023).

¹¹ Vale apontar que os relatórios especiais do IPCC foram traduzidos para o português pelo governo brasileiro em um esforço para ampliar o acesso à informação, o que é de grande valia para facilitar a busca

Em razão das aludidas conclusões, qualquer contestação quanto aos danos causados pela ação humana ao sistema climático soa como claro e inadmissível negacionismo. Assim, se até alguns anos atrás a resposta àqueles que refutavam o nexo de causalidade entre as emissões antrópicas de GEE e os danos ao sistema climático apoiava-se no princípio da precaução, atualmente, a partir do conhecimento científico consolidado, o próprio princípio da prevenção pode e deve ser invocado.

Portanto, o vínculo que une as emissões antrópicas de GEE aos danos ao sistema climático já é, hoje, irrefutável e, exatamente nesses termos, deve ser considerado pelos aplicadores do Direito. Trata-se de nexo causal que se assenta, do ponto de vista jurídico, na causalidade entre a ação humana e o dano difuso e transindividual.

3.3. O dever de reparação integral do dano ambiental

A supressão da vegetação nativa provoca uma multiplicidade de danos ao meio ambiente, que pode incluir prejuízos aos serviços de provisão (como a perda de produtos florestais), aos serviços de suporte (como perda de abrigo para a fauna e a dispersão de frutos ou sementes), aos serviços culturais (como a perda de um local sagrado para os povos indígenas), dentre outros. Além dessas lesões e de outras eventualmente apuradas no caso concreto, a supressão da vegetação nativa provoca, ainda, o dano específico ao sistema climático, associado à emissão de GEE e à perda de serviços de regulação (CNMP, 2021; UNFCCC, s.d.).

O acúmulo de GEE na atmosfera agrava o aquecimento global, de modo que as emissões decorrentes do desmatamento da vegetação nativa podem ser diretamente vinculadas ao agravamento das mudanças climáticas, espécie de dano ambiental da mais alta gravidade. O dano provocado ao clima pela destruição da vegetação nativa não se confunde com o dano provocado por tal atividade aos demais bens jurídicos tutelados, tais como à fauna e à flora. Assim, identificado o ato que acarreta o dano climático e o nexo causal, exsurge o dever de reparação e indenização.¹²

de informações científicas, a fim de caracterizar o nexo de causalidade em ações de responsabilidade climática.

¹² Nos termos da Súmula nº 629 do STJ: “quanto ao dano ambiental, é admitida a condenação do réu à obrigação de fazer ou à de não fazer cumulada com a de indenizar”.

Tendo em vista que o dano climático é uma das facetas do dano ambiental, incidem sobre ele os mesmos princípios e regras aplicáveis à responsabilidade civil ambiental, tais como:

- (i) A natureza objetiva da responsabilização (art. 14, §1º, da Lei Federal nº 6.938/1981), caracterizada pela desnecessidade da verificação de culpa do agente, bastando a presença dos elementos autoria,nexo causal e dano;
- (ii) A natureza solidária da responsabilização, caracterizada pela atribuição de responsabilidade a todos que, por meio da ação ou da omissão, contribuam para o dano¹³⁻¹⁴;
- (iii) A adoção da teoria do risco integral, que impede a aplicação das excludentes de ilicitude para isentar o poluidor ambiental de sua responsabilização;
- (iv) A inversão do ônus probatório (SARLET, WEDY, FENSTERSEIFER, 2023);
- (v) A natureza *propter rem* da obrigação, sendo admissível cobrá-la do proprietário ou possuidor atual e/ou dos anteriores, à escolha do credor¹⁵.

Destaca-se, ainda, o princípio da reparação integral do dano ambiental, previsto no artigo 225, parágrafo 3º, da Constituição Federal, e no artigo 14, parágrafo 1º, da Lei Federal nº 6.938/1981. Dele decorre o dever de reparação integral do dano, do modo mais completo possível, consideradas todas as suas dimensões e contemplados todos os fatores que comprometam a integridade dos processos ecológicos.

¹³ “A solidariedade é outra característica fundamental do regime da responsabilidade civil ambiental. Isso significa, na prática, que toda a cadeia de agentes (privados ou públicos) que estão no bojo da relação causal geradora do dano ecológico podem ser responsabilizados. Independentemente da sua conduta ser comissiva ou omissiva ou mesmo direta ou indiretamente responsável pela ocorrência da degradação ecológica, tal agente (privado ou público) coloca-se no raio de cobertura do regime jurídico da responsabilidade civil ambiental, caracterizando o nexo causal.” (SARLET, FENSTERSEIFER, 2023, p. 634)

¹⁴ Em complemento, é importante, ainda, lembrarmos da Súmula 652 do STJ: “A responsabilidade civil da Administração Pública por danos ao meio ambiente, decorrente de sua omissão no dever de fiscalização, é de caráter solidário, mas de execução subsidiária.”

¹⁵ Nos termos da Súmula nº 623 do STJ: “As obrigações ambientais possuem natureza *propter rem*, sendo admissível cobrá-las do proprietário ou possuidor atual e/ou dos anteriores, à escolha do credor”.

Dada a essencialidade do bem jurídico ecológico para a existência do indivíduo e da sociedade, a reparação integral do dano ambiental revela-se como um princípio nuclear no âmbito da responsabilidade civil ambiental, com funções pedagógicas e dissuasórias:

O princípio da reparação integral, para além de ser um princípio geral do instituto da responsabilidade civil, revela-se como um princípio nuclear e com conotações bastante especializadas no âmbito do regime jurídico da responsabilidade civil ambiental. A devida compreensão do conteúdo do princípio da reparação integral deve necessariamente estar associada ao bem jurídico ecológico e sua relevância de conotação existencial não apenas para o indivíduo, mas, em especial, para o conjunto da sociedade. Ademais, o instituto da responsabilidade civil em matéria ambiental tem por premissa e função não apenas a “reparação” numa perspectiva pontual, ou seja, de determinado caso concreto, mas também possui funções pedagógicas e dissuasórias, no sentido de desestimular a repetição de práticas predatórias da Natureza. Por essa ótica, a reparação integral do dano ecológico deve ser compreendida da forma mais ampla possível (dano ecológico difuso ou transindividual, danos ambientais individuais ou conexos, dano moral ambiental etc.), ainda que sua premissa básica tenha por escopo a recuperação in natura e reestabelecimento do status quo ante e, assim, a salvaguarda da integridade ecológica no local impactado pela ação ou omissão predatória. (SARLET, FENSTERSEIFER, 2023, p. 692)

É importante destacar, ainda, que os danos climáticos são, por sua natureza, difusos, cumulativos e seus impactos muitas vezes são verificáveis apenas *a posteriori*, por exemplo, quando se verificam eventos extremos, a exemplo das inundações, secas, e incêndios em determinadas regiões, com implicações para a saúde pública, para a moradia, para a indústria, para a produção de alimentos, para a qualidade de vida nas cidades, entre outras consequências danosas. Ainda assim, tais danos deverão ser devidamente reparados:

(...) a degradação ambiental pode ser resultado de ações cumulativas e efeitos sinérgicos ao longo do tempo, manifestando-se em concreto somente em momento futuro. São os chamados danos ambientais futuros, (...) peculiaridade [que] torna necessária a ampliação do conceito de dano reparável por meio da responsabilidade civil, de modo a abarcar as consequências danosas futuras dos riscos ambientais atuais. A mesma lógica que levou à construção da teoria do risco e à objetificação da responsabilidade civil no contexto da sociedade

industrial (...) deve conduzir a conformação da responsabilidade civil às características da sociedade pós-industrial (sociedade de risco), (...) [na qual] os efeitos danosos podem ser transtemporais, globais e catastróficos. (...) A transição de uma sociedade industrial para uma sociedade de risco demanda, portanto, a evolução de uma teoria do risco concreto para outra, pautada no risco abstrato, que leve em conta as consequências futuras, mesmo que incertas, das interferências humanas no meio ambiente. (...)

O dano ambiental futuro, decorrente da 'constatação da alta probabilidade ou probabilidade determinante de comprometimento futuro da função ecológica, da capacidade de uso humano dos bens ecológicos ou da qualidade ambiental', passa a ser dano passível de tutela por meio da responsabilidade civil, ensejando a condenação do agente às medidas preventivas necessárias (obrigações de fazer ou não fazer), a fim de evitar a concretização dos danos ou minimizar as consequências futuras daqueles já efetivados. (MOREIRA, 2015, 265-266)

Dessa forma, em todas as hipóteses nas quais se identifique a emissão não autorizada de CO₂, como consequência da supressão da vegetação nativa, deve-se contemplar, no âmbito da responsabilização civil, o impacto autônomo ao bem jurídico sistema climático por força do princípio da reparação integral do dano ambiental.

Exatamente nesse contexto, a fim de dar cumprimento ao princípio da reparação integral do dano ambiental, o Conselho Nacional de Justiça (CNJ) editou a Resolução CNJ nº 433/2021, que instituiu a Política Nacional do Poder Judiciário para o Meio Ambiente, consistente “na atuação estratégica dos órgãos do sistema de Justiça para a proteção dos direitos intergeracionais ao meio ambiente” (art. 1º). No seu artigo 14, estabeleceu-se que:

Na condenação por dano ambiental, o(a) magistrado(a) deverá considerar, entre outros parâmetros, o impacto desse dano na mudança climática global, os danos difusos a povos e comunidades atingido e o efeito dissuasório às externalidades ambientais causadas pela atividade poluidora.

Partindo-se de tal premissa, os processos de responsabilização dos agentes vinculados à supressão da vegetação nativa devem exigir, como primeiro esforço, além da cessação da atividade danosa, a reparação *in natura* do bem lesado, por meio da

recuperação ambiental da área destruída. De fato, a priorização da reparação *in natura* representa a coluna dorsal do sistema de responsabilidade civil ambiental e, a partir de uma perspectiva climática, é capaz de, com o tempo, restabelecer os sumidouros de carbono perdidos, e mitigar em parte o dano climático ocasionado. Caso a recuperação *in natura* do bem jurídico lesado não seja possível, deve-se substituir tal medida pela compensação ecológica, ou, subsidiariamente, pela aplicação de indenização em pecúnia com a finalidade de substituição.

Todavia, a reparação *in natura* não será suficiente para contemplar todos os danos climáticos produzidos pela supressão da vegetação nativa, pois há prejuízos impassíveis de reparação imediata, relacionados aos aspectos transitórios e residuais, que também deverão ser indenizados pelo infrator, de modo cumulativo¹⁶.

Sem dúvida, as emissões de GEE decorrentes da supressão da vegetação geram uma perturbação no sistema climático que persistirá no tempo, pelo menos até o momento em que haja o efetivo e adequado restabelecimento da vegetação nativa e das suas funções ecossistêmicas. Trata-se do dano climático interino, relacionado ao lapso temporal entre o dano e o pleno restabelecimento do meio ambiente.

Ademais, mesmo que efetuada a reparação *in natura* do meio ambiente, é objetivamente impossível que a área recuperada volte a desempenhar exatamente os mesmos serviços ecossistêmicos na sua integralidade. Existe uma parcela dos danos climáticos que são potencialmente irreversíveis, que subsistem independentemente dos esforços de reparação, o que a doutrina convencionou chamar de dano residual.

Assim, paralelamente à reparação *in natura*, para que haja a responsabilização integral do poluidor, esta deverá contemplar os danos transitórios e residuais em relação a todos os processos ecológicos, inclusive os climáticos. O Superior Tribunal de Justiça, aliás, já consolidou a sua jurisprudência no sentido de que a reparação integral do dano ambiental depende da cumulação entre a obrigação de fazer, de não fazer e de indenizar pelos danos residuais e transitórios:

Processual Civil. Ação Civil Pública. Dano Ambiental. Possibilidade de cumulação de obrigação de fazer (reparação da área degradada) e de

16 Súmula 629 do STJ: “Quanto ao dano ambiental, é admitida a condenação do réu à obrigação de fazer ou à de não fazer cumulada com a de indenizar.”

pagar quantia certa (indenização) 1. A jurisprudência do STJ está firmada no sentido de que a necessidade de reparação integral da lesão causada ao meio ambiente permite a cumulação de obrigações de fazer e indenizar. 2. Com efeito, a cumulação de obrigação de fazer, não fazer e pagar não configura *bis in idem*, porquanto a indenização não é para o dano especificamente já reparado, mas para os seus efeitos remanescentes, reflexos ou transitórios, com destaque para a privação temporária da fruição do bem de uso comum do povo, até sua efetiva e completa recomposição, assim como o retorno ao patrimônio público dos benefícios econômicos ilegalmente auferidos. 3. Agravo Interno não provido. (STJ, AgInt no REsp 1770219 / MG, rel. Min. Herman Benjamin, Segunda Turma, DJ 23.05.2019)

Dessa forma, uma vez que a supressão da vegetação causa uma multiplicidade de danos a diferentes bens jurídicos, em nome do princípio da reparação integral do dano ambiental, as ações que busquem a responsabilização do infrator pelo ilícito devem contemplar o pedido de condenação em relação a todos os prejuízos, inclusive em relação àqueles causados ao sistema climático.

4. A valoração da dimensão climática do dano ambiental

A Ciência já permite, com relativa tranquilidade, quantificar as emissões de CO₂ - que é um GEE - decorrentes do desmatamento da vegetação nativa, possibilitando, assim, mensurar de forma objetiva o dano climático e a dimensão da responsabilidade do poluidor.

Sobre o tema, como apontam Sarlet, Wedy e Fensterseifer (2023), o aprimoramento do regime jurídico da responsabilidade civil do poluidor reflete a evolução do conhecimento científico sobre a realidade climática e sobre os riscos inerentes ao aquecimento global. A Ciência climática - mais precisamente a Ciência da atribuição - vem desenvolvendo métodos que permitam vincular emissores específicos ao impacto à estabilidade climática como forma de responsabilizá-los em juízo por sua contribuição individual para o dano ao clima (SARLET, WEDY, FENSTERSEIFER, 2023).

A associação da quantificação dos GEE emitidos por determinada atividade à sua precificação viabiliza definir um valor de indenização correspondente ao dano climático. Com efeito, já existem demandas em trâmite no Poder Judiciário que valoram o dano ao

sistema climático a partir do quantitativo de CO₂ lançado na atmosfera em consequência da supressão da vegetação.

A título de exemplo, na Ação Civil Pública ajuizada pelo Ministério Público Federal contra Dauro Parreira Rezende¹⁷ para responsabilizá-lo pelo desmatamento de uma extensa área de floresta nativa na Amazônia, no Município de Boca do Acre/AM, o autor calculou, com base em Nota Técnica do IPAM, que a área desmatada resultou na emissão de 406.718,25 toneladas de carbono, ou de 1.492.655,97 de toneladas de gás carbônico. Essas emissões foram classificadas como danos materiais residuais e intermediários climáticos.

Na Ação Civil Pública ajuizada pelo Ibama contra Dirceu Krueger¹⁸ para responsabilizá-lo pela destruição de 5.600 hectares de Floresta Amazônica a partir do uso ilegal do fogo, o autor pediu a condenação do réu à reparação pelo dano climático decorrente da emissão de 901.600 toneladas de carbono lançadas ilegalmente, nos seguintes termos:

- (i) Danos à atmosfera (regulação climática) contemplando o dano ambiental climático (quantitativo de GEE projetado na atmosfera) e o dano interino climático. Em ambos os casos os danos deverão ser reparados por meio de compensação ecológica, com a implantação de sumidouros e de medidas de remoção da atmosfera do quantitativo projetado e fixação dos GEEs, liquidado por meio do custo de reposição coordenada com custo de oportunidade de conservação, além da compensação financeira, calculada a partir do custo social do carbono;
- (ii) Danos relacionados à vulnerabilidade climática, a serem reparados por compensação ecológica, por meio de planos e projetos que possibilitem, por exemplo, acesso à água, com base na NBR 14.653-6, e por compensação financeira com base no custo do carbono; e

17 Processo nº 1005885-78.2021.4.01.3200, Justiça Federal da 1ª Região.

18 Processo nº 1037196-19.2023.4.01.3200, Justiça Federal da 1ª Região. Decisão do Juízo de primeiro grau de jurisdição, em 12 de julho de 2024, concedeu parcialmente a tutela de urgência pleiteada pelo autor para, entre outras providências, determinar a indisponibilidade dos bens do réu, até o limite de R\$ 292.118.400,00 e determinar que o réu promova a implementação de sumidouros de carbono, devendo-se considerar para esse fim a emissão de 901.600 toneladas de carbono.

- (iii) Danos relacionados aos desastres decorrentes das mudanças climáticas, a serem reparados por indenização fixada pelo juízo, com base na razoabilidade e na proporcionalidade.

Por sua vez, na Ação Civil Pública promovida pela Advocacia-Geral da União em face da Siderúrgica São Luiz Ltda. e de Geraldo Magela Martins¹⁹, o autor também calculou o dano ao sistema climático a partir da liberação de GEE na atmosfera. Todavia, pediu a condenação do réu a reparar:

- (i) O dano ambiental climático, quantificado a partir das emissões de GEE, precificado de acordo com o custo social do carbono e reparado com a conversão desse valor em sumidouros de GEE; e
- (ii) O dano ambiental climático residual, a ser apurado conforme dispõe a NBR 14.653-6, adotando-se as metodologias do custo de reposição e do custo de oportunidade de conservação.

Como se vê dos três exemplos acima, ainda não há uniformidade nos pedidos feitos em tais demandas. Os autores se utilizaram de técnicas jurídicas diversas para exigir a condenação dos réus aos danos ao sistema climático, seja no que se refere à forma de responsabilização (por compensação ecológica ou por indenização em pecúnia, ou por ambos cumulativamente), seja no que se refere à classificação do dano (como dano residual, interino ou direto), ou ainda em relação às repercussões do dano advindo da quantificação (atribuição de dever de indenização específica para cada elemento do dano climático). De qualquer forma, em todos esses casos, os autores construíram de forma robusta seus pedidos de reparação do dano ao sistema climático a partir da quantificação e da precificação do carbono lançado na atmosfera como consequência da supressão da vegetação nativa.

4.1. A quantificação do dano ao sistema climático

Já existem metodologias que permitem a quantificação do dano climático a partir da identificação do volume de emissões decorrente de uma dada atividade (BRAGANÇA

¹⁹ Processo nº 1010603-35.2019.4.01.3800, Justiça Federal da 6ª Região.

et al, 2021). À vista disso, o IPAM desenvolveu a plataforma Calculadora de Carbono (CCAL)²⁰, uma plataforma *online* que permite estimar a quantidade de carbono estocada na vegetação nativa e embasar os posteriores cálculos do CO₂ lançado na atmosfera em decorrência do seu desmatamento. O cálculo é feito a partir dos valores do estoque médio de carbono contido na vegetação nativa.

A aludida ferramenta desenvolvida pelo IPAM, que fornece dados para quantificar as emissões e para mensurar o dano climático, pode ser utilizada para fundamentar a cobrança da sua reparação em ações judiciais de responsabilidade civil ou em termos de ajustamento de conduta.

Como se antecipou, ainda não existe uma uniformidade quanto à representação do dano climático com base no quantitativo de GEE liberados na atmosfera, até mesmo porque se trata de tema novo e ainda em fase de consolidação. De todo modo, apresenta-se consensual a possibilidade de quantificação desse dano com base na quantidade de CO₂ projetada na atmosfera. A partir da área de vegetação nativa suprimida - cuja extensão pode ser comprovada pela utilização de dados de sensoriamento remoto e de informações obtidas por satélite, conforme a Resolução CNJ n° 433/2021 e Nota Técnica elaborada pela ABRAMPA (ABRAMPA, 2022) -, identifica-se a quantidade de CO₂ lançada na atmosfera²¹.

Os passos a serem seguidos para realizar o cálculo por meio da plataforma são descritos sinteticamente a seguir, mas poderão ser verificados de modo pormenorizado no Anexo 1:

²⁰ Plataforma disponível em: <<https://carboncal.org.br/>>.

²¹ Os debates ocorridos por ocasião da audiência pública promovida pelo CNJ para coletar manifestações que contribuíssem técnica e juridicamente para quantificação dos danos climáticos (disponível em: <<https://tinyurl.com/mu5xm5a2>> e <<https://tinyurl.com/2s4kwsvn>>) reforçaram a necessidade de utilização dos seguintes critérios para tal aferição: (i) área desmatada: principal variável para calcular o impacto sobre o clima, especialmente em relação às florestas nativas; (ii) biomassa: a perda de biomassa vegetal e sua contribuição para as emissões de gases de efeito estufa; (iii) cobertura vegetal: o tipo e a densidade da vegetação removida são considerados para calcular as funções ecossistêmicas perdidas; (iv) tempo de recuperação: o tempo que levará para a área se regenerar naturalmente, ou os esforços para restaurá-la, para fins de se avaliar a gravidade do dano e o montante necessário de compensação.

1. Identifica-se a área desmatada (polígono no formato *shapefile*);
2. Carrega-se o polígono na calculadora de carbono CCAL (opção “Carbono por Área”) e, em seguida, clica-se em “Faça upload de um polígono”;
3. Ainda na plataforma CCAL, ao clicar no polígono, seleciona-se a opção “Calcular Carbono” e, em seguida, “QCN (MAPBIOMAS + PRODES)”;
4. Ao abrir a aba de resultados, na opção “Cálculo até o ano”, seleciona-se o ano **anterior** ao registro do desmatamento;
5. Na nova aba de resultados, agora compreendendo o ano anterior à data do desmate, na opção “Estoque de carbono” considera-se o valor “Carbono da vegetação nativa”, dado apresentado em toneladas (ton/ha)²²;
6. Multiplica-se o valor do estoque total da área desmatada (obtido no passo 5) por 3,67, um fator de conversão para CO₂;
7. Multiplica-se o resultado do cálculo anterior pelo valor da tonelada de carbono, de acordo com o método de precificação adotado. A presente Nota Técnica orienta que se utilize, no mínimo, o valor proposto pelo Fundo Amazônia (US\$5,00 por tonelada de CO₂). O resultado do cálculo resultará no custo das emissões de CO₂.

Vale dizer que, nas ações de responsabilidade civil, a apresentação, já na petição inicial, do quantitativo e precificação do CO₂ lançado na atmosfera poderá favorecer a máxima efetividade da prestação jurisdicional, com a prolação de sentença líquida, assegurando-se, assim, a duração razoável dos processos e os meios que garantam a celeridade de sua tramitação (art. 5º, LXXVIII, CRFB/1988) e atendendo-se à Recomendação CNJ nº 76/2020²³, que orienta que as sentenças nas ações coletivas sejam, quando possível, líquidas. Também vale destacar que a calculadora CCAL também é de grande valia para subsidiar o valor relativo ao pedido de bloqueio de bens do poluidor em sede de tutela de urgência.

22 O cálculo aqui descrito assume que o desmatamento corresponde à área exata do polígono considerado (ou seja, todo o polígono foi desmatado). Quando o desmatamento for menor do que a área do polígono, em vez de usar o valor de “Estoque de Carbono”, deve-se considerar a “densidade de carbono da vegetação nativa” e multiplicar pela área total desmatada (em tal caso menor que a área total do polígono), resultando, assim, no valor exato de carbono estocado apenas na área que foi desmatada.

23 Recomendação CNJ nº 76/2020: “Art. 7º Recomendar que as sentenças nas ações coletivas sejam, quando possível, líquidas, inclusive, no caso de direitos individuais, no tocante ao que se compreender no respectivo núcleo de homogeneidade. O exame da situação particular dos beneficiários da sentença coletiva depende de ação de liquidação e cumprimento individual promovida pelo interessado”.

Ainda na esfera cível, se houver a possibilidade de resolução extrajudicial do conflito por meio da celebração de termo de ajustamento de conduta entre o órgão público legitimado e o responsável pelo desmatamento da vegetação nativa, nos termos do artigo 5º, parágrafo 6º, da Lei Federal nº 7.347/85, será possível incluir a quantificação do dano climático baseado na quantidade de CO₂ projetada na atmosfera e a correspondente quantia indenizatória.

A ferramenta é útil mesmo na esfera criminal. Uma vez que a Lei de Crimes Ambientais (Lei Federal nº 9.605/1998) determina que a sentença penal condenatória fixe, sempre que possível, o valor mínimo para reparação dos danos causados pela infração ao meio ambiente (art. 20, *caput*), o cálculo referente ao dano ao sistema climático poderá ser apresentado já na denúncia, com base na calculadora CCAL. Assim, assegurados a ampla defesa e o contraditório, o valor poderá ser executado após o trânsito em julgado da sentença condenatória (art. 20, § único).

Dessa forma, a busca pela responsabilização do infrator ambiental pelos danos climáticos decorrentes da supressão da vegetação tende a ganhar efetividade a partir da quantificação das emissões.

4.2. A precificação do carbono

Estabelecida a possibilidade de identificação de quantas toneladas de carbono foram liberadas na atmosfera pela supressão da vegetação nativa em uma dada área, é preciso precificar o carbono para que se possa alcançar um valor correspondente à indenização devida pelo poluidor em razão dos danos causados ao sistema climático. Todavia, embora o quantitativo de carbono estocado na vegetação antes do desmatamento seja facilmente mensurado pela calculadora CCAL, atribuir um valor monetário ao dano causado ao sistema climático é tarefa dotada de certa complexidade.

Idealmente, a valoração dos danos climáticos deveria espelhar todas as consequências negativas decorrentes do comprometimento da funcionalidade do sistema climático, a fim de contemplar os impactos sofridos pelo conjunto da sociedade e pelo patrimônio ecológico. Isso inclui, como se sabe, extremos meteorológicos em todas as regiões do mundo, precipitações intensas, ondas de calor, secas, ciclones tropicais, impactos adversos para a segurança alimentar e hídrica, para a saúde humana e para a

economia (IPCC, 2023). Ademais, o dano ao sistema climático, como qualquer dano ambiental, é um fenômeno que se projeta no tempo, de forma cumulativa, atingindo não apenas as presentes gerações como também as futuras, o que torna complexa a sua valoração em pecúnia.

A precificação do carbono no âmbito da reparação dos danos causados ao sistema climático depende da adoção de um preço-sombra. Do ponto de vista econômico, trata-se de estimar o preço que um bem ou serviço teria sem distorções de mercado, como externalidades ou impostos (BRASIL, 2021, p. vii). Há, basicamente, três formas de calcular o preço-sombra do carbono: (i) pelos preços de mercado; (ii) pelo custo social do carbono (SSC – *social cost of carbon*); e (iii) pelos preços baseados em resultados específicos (*goals-driven analysis*) (Ibidem, p. 50).

A utilização do preço do carbono praticado no mercado voluntário de carbono não parece adequada como forma de subsidiar o valor de indenização dos danos causados ao sistema climático. Isso porque tais valores são formados segundo a lógica de mercado, e, portanto, sujeitam-se à forte oscilação e à demasiada instabilidade, dada a interação entre oferta e demanda. Mesmo nos mercados de carbono regulados, em que há mecanismos estatais de estabilização de preços, existem significativas variações do custo da tonelada de carbono. Além disso, ainda não há no Brasil legislação que estabeleça um sistema de comércio de emissões no mercado regulado (FERREIRA, BORGES, NORAT, 2023). Com isso, a precificação do carbono para fins de indenização dependeria dos parâmetros ditados pelos mercados regulados estrangeiros, implicando grande inconveniente para o sistema de justiça brasileiro.

Por sua vez, a adoção de um preço-sombra que leve em consideração o custo social do carbono (SCC – *social cost of carbon*) contempla o custo imposto à sociedade pela emissão de GEE, isto é, reflete o valor econômico dos danos que a sociedade sofrerá em razão dos impactos ocasionados ao sistema climático ao longo do tempo, transferindo para o poluidor a obrigação de arcar com a indenização. Já na análise dirigida a objetivos - ou preços baseados em resultados específicos (*goals-driven analysis*) -, o valor do carbono reflete o custo de mitigação das emissões de carbono, levando em consideração as metas pactuadas internacionalmente por um país, como aquelas submetidas ao Acordo de Paris (FERREIRA, BORGES, NORAT, 2023).

É possível debater a adequação de cada uma dessas metodologias que, de alguma forma, parecem mais adequadas para atender aos objetivos de reparação de danos climáticos. Todavia, no Brasil, ainda não há definição oficial de um valor que expresse o custo social do carbono ou a análise dirigida a objetivos para estimar as externalidades negativas da emissão de GEE.

Na ausência de uma precificação oficial, produzida a partir de critérios técnicos e científicos, que contemple as implicações causadas pelas emissões de GEE, as ações climáticas que atualmente tramitam no Poder Judiciário com o objetivo de buscar a indenização pelos danos ao sistema climático em razão da supressão de vegetação utilizam-se de parâmetros distintos para precificar o dano ao sistema climático.

Há casos, como a Ação Civil Pública ajuizada pelo Ministério Público Federal contra Dauro Parreira Rezende, em que o autor precificou o carbono com base no valor de US\$5,00 (cinco dólares americanos) por tonelada de CO₂, definido pelo Fundo Amazônia. Há outros, como as Ações Cíveis Públicas movidas contra Dirceu Krueger e contra a Siderúrgica São Luiz, em que o autor precificou o carbono com base no custo social na perspectiva da OCDE, de €\$60 (sessenta euros) por tonelada.

Atualmente, a única regulamentação nacional para o valor do carbono corresponde a US\$5,00 (cinco dólares americanos) por tonelada de CO₂, estabelecido pelo Fundo Amazônia. Criado pelo Decreto Federal n° 6.527/2008 e gerido pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o Fundo Amazônia tem como seu principal objetivo captar doações para investimentos não reembolsáveis em ações de prevenção, monitoramento e combate ao desmatamento e de promoção da conservação e uso sustentável no bioma amazônico²⁴. O valor de US\$5,00/tCO₂ foi arbitrado a partir de acordo entre o Brasil e as partes doadoras, tendo por base a prevenção do desmatamento.

Ao levar em consideração a prevenção do desmatamento, o valor de US\$5,00/tCO₂ não contempla as externalidades negativas causadas pela emissão de GEE na atmosfera, que, conforme as avaliações existentes sobre o custo social do carbono,

²⁴ Trata-se de um mecanismo proposto pelo governo brasileiro durante a COP-12, visando à contribuição voluntária de países em desenvolvimento para a redução de emissões de gases de efeito estufa resultantes do desmatamento e da degradação das florestas (REDD) (IPAM, s.d.c).

correspondem a um valor muito maior. Trata-se, no entanto, do único parâmetro de precificação até hoje definido pelo Estado brasileiro.

Nesse cenário, entende-se que a utilização do valor US\$5,00/tCO₂ é adequada e segura, uma vez que se trata de patamar referencial mínimo fixado no Fundo Amazônia, além de ser o único parâmetro de precificação de carbono até agora adotado oficialmente pelo Estado brasileiro²⁵, sem prejuízo da posterior utilização de outro referencial oficial a ser definido por estudos interdisciplinares para a precificação do carbono, com ampla participação da sociedade civil, e que contemple suficientemente os danos ecológicos, sociais e intergeracionais causados pelas emissões de CO₂.

5. Conclusões e direcionamentos técnicos

O ordenamento jurídico e a certeza científica quanto à existência do nexo de causalidade entre a supressão da vegetação nativa e os danos ao sistema climático exigem que, para o cumprimento do princípio da reparação integral do dano ambiental e para a efetiva tutela ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, os agentes responsáveis por emissões de GEE arquem com todas as externalidades negativas causadas pela supressão da vegetação nativa, o que inclui os prejuízos causados ao clima.

Conforme demonstrado, é possível quantificar o CO₂ lançado na atmosfera como consequência do desmatamento da vegetação nativa. Para tanto, a utilização da calculadora CCAL, desenvolvida pelo IPAM, apresenta-se como uma alternativa segura e eficiente, que fornece o dado básico (neste caso, o estoque de carbono da vegetação nativa) para que se quantifique a emissão de CO₂ e se precifique o dano climático por meio de cálculos simples, realizados a partir de dados fornecidos pela ferramenta.

No âmbito do referido cálculo, entende-se adequado e seguro que se utilize, no mínimo, o valor de US\$5,00/tCO₂ definido pelo Fundo Amazônia para a cobrança das medidas de responsabilização pelo dano climático relacionado ao desmatamento de vegetação nativa.

De modo conclusivo, sugere-se:

²⁵ Tal posição já foi defendida, em primeira mão, por Bragança et al (2021).

- Que os autores das ações judiciais e os legitimados para a celebração de termos de ajustamento de conduta, ao tratarem da responsabilização dos agentes em casos de supressão ilegal da vegetação nativa, exijam, além da reparação dos danos causados aos demais processos ecológicos, a reparação dos danos causados ao sistema climático;
- Que se utilize, para o fim de dimensionar os danos causados ao sistema climático, a calculadora CCAL, desenvolvida pelo IPAM, que viabiliza o cálculo da quantificação de CO₂ lançado na atmosfera como consequência do desmatamento da vegetação nativa e a precificação do dano climático;
- Que seja considerado, em termos de precificação do carbono, o valor mínimo de US\$5/tCO₂, fixado pelo Fundo Amazônia, até que sobrevenha o estabelecimento de outro referencial oficial com base em estudos interdisciplinares e que contemple suficientemente os danos ecológicos, sociais e intergeracionais causados pelas emissões de CO₂;
- Que, nos casos de ações judiciais, os autores busquem apresentar, já na petição inicial, o quantitativo de CO₂ lançado na atmosfera, fazendo uso de instrumentos como a CCAL, desenvolvida pelo IPAM, a fim de favorecer a efetividade da prestação jurisdicional, com a prolação de sentença líquida, assim como a duração razoável do processo;
- Que o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima desenvolva, com a ampla participação da sociedade civil e da academia, um referencial oficial, a ser definido por estudos interdisciplinares, para a precificação do carbono, contemplando suficientemente os danos ecológicos, sociais e intergeracionais causados pelas emissões de CO₂.

Todos os elementos e critérios aqui expostos buscam orientar uma atuação mais efetiva do sistema de justiça em prol do meio ambiente ecologicamente equilibrado e do combate ao desmatamento ilegal da vegetação nativa, especialmente para o fim de tornar mais eficazes as políticas ambiental e climática no Brasil.

Belo Horizonte/Belém, 13 de setembro de 2024



Alexandre Gaio
Presidente da ABRAMPA
Promotor de Justiça do MPPR

Paulo Moutinho
Pesquisador sênior do IPAM

Referências bibliográficas

- ABRAMPA - Associação Brasileira dos Membros do Ministério Público de Meio Ambiente. **NOTA TÉCNICA DA ABRAMPA: Sobre a necessidade de priorizar as fiscalizações remotas e de atualizar o Cadastro Ambiental Rural para coibir o desmatamento ilegal e combater as mudanças climáticas.** ABRAMPA, 2022. Disponível em: . Acesso em: 28 mar. 2024.
- ABRAMPA - Associação Brasileira dos Membros do Ministério Público de Meio Ambiente; IPAM - Instituto de Pesquisa Ambiental na Amazônia. **Nota Técnica Conjunta ABRAMPA/IPAM nº 01/2023, de 24 de março de 2023: Nota Técnica sobre as medidas necessárias para que o Cadastro Ambiental Rural possa se tornar uma ferramenta efetiva na contenção do avanço da grilagem e do desmatamento em áreas públicas na Amazônia.** ABRAMPA e IPAM, 2023. Disponível em: <<https://tinyurl.com/4ncc7n74>>. Acesso em 11 jun.2024.
- ARTAXO, Paulo; RODRIGUES, Délcio. As bases científicas das mudanças climáticas. In: SETZER, Joana et. al. (org). **Litigância climática – novas fronteiras para o direito ambiental no Brasil.** São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2019.
- BOULTON, Chris A.; LENTON, Timothy M.; BOERS, Niklas. Pronounced loss of Amazon rainforest resilience since the early 2000s. **Nature Climate Change**, v. 12, p. 271-278, 2022. Disponível em: <<https://tinyurl.com/bdnth45w>>. Acesso em: 26 ago. 2024.
- BRAGANÇA, Ana Carolina Haliuc; MOUTINHO, Paulo; ROCHA, Rafael da Silva; ALENCAR, Ane; LAURETO, Livia; CASTRO, Isabel; RAMOS, Claudia Azevedo. Climate lawsuits could protect Brazilian Amazon. **Science**, 2021. Disponível em: <<https://tinyurl.com/nhk9h8cw>> Acesso em: 26 ago. 2024.
- BRASIL. **Efeito Estufa e Aquecimento Global.** Ministério do Meio Ambiente, s.d. Disponível em: <<https://tinyurl.com/bddmd7hk>>. Acesso em: 11 jun. 2024.
- BRASIL. **Florestas, Desmatamento e Mudança do Clima.** Ministério do Meio Ambiente, 2016. Disponível em: <<https://tinyurl.com/294wtxkc>>. Acesso em: 27 ago. 2024.
- BRASIL. **Guia geral de análise socioeconômica de custo-benefício de projetos de investimento em infraestrutura.** Brasília: Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura do Ministério da Economia, 2021. Disponível em <<https://tinyurl.com/3wvs4zw9>>. Acesso em: 11 jun. 2024.
- BRASIL. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC.** Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021. Disponível em: <<https://tinyurl.com/59adtzwb>>. Acesso em: 7 jul. de 2024.
- BRASIL. **Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) para o Acordo de Paris no âmbito da UNFCCC.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2023. Disponível em: <<https://tinyurl.com/ms7ycwaf>>. Acesso em: 27 ago. 2024.

- BRASIL. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): 5ª Fase (2023 a 2027)**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2023. Disponível em: <<https://tinyurl.com/4azstwzy>>. Acesso em: 27 ago. 2024.
- BRASIL. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Bioma Cerrado (PPCerrado): 4ª Fase (2023 a 2027)**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2023. Disponível em: <<https://tinyurl.com/2h5ccv2s>>. Acesso em: 27 ago. 2024.
- CNMP - Conselho Nacional do Ministério Público. **Diretrizes para valoração de danos ambientais**. CNMP, 2021. Disponível em <<https://tinyurl.com/mtp4t9wn>>. Acesso em 11 jun. 2024.
- FERREIRA, Vivian; BORGES, Caio; NORAT, Julia. Reparações por dano climático: desafios em valorar a tonelada do carbono em ações judiciais. **Jota**, 2023. Disponível em: <<https://tinyurl.com/38wrba89>>. Acesso em: 11 jun. 2024.
- GUARALDO, Lucas. Seca aumenta incêndios na Amazônia em 36%, apesar do desmatamento menor. **IPAM**, 28 jun. 2024. Disponível em: <<https://tinyurl.com/2t6bkax4>>. Acesso em: 27 ago. 2024.
- HISSA, Letícia de Barros Viana. O Código Florestal e os desafios para a conservação no bioma Mata Atlântica. In: OCF - Observatório do Código Florestal (org.). **O Código Florestal nos biomas: desafios e soluções**. 2022. Disponível em: <<https://tinyurl.com/4b8thb3b>>. Acesso em: 26 mar. 2024.
- IPAM - Instituto de Pesquisa Ambiental na Amazônia. **Efeito estufa**. Disponível em: <<https://tinyurl.com/2ku8y7py>>. Acesso em: 11 jun. 2024.
- IPAM - Instituto de Pesquisa Ambiental na Amazônia. **Como o desmatamento contribui para as mudanças climáticas?** Disponível em: <<https://tinyurl.com/5fvvuby3>>. Acesso em: 11 jun. 2024.
- IPAM - Instituto de Pesquisa Ambiental na Amazônia. **O que é o Fundo Amazônia?** Disponível em: <<https://tinyurl.com/59pj2vcz>>. Acesso em: 27 ago. 2024.
- IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. **Mudança do Clima 2023: Relatório Síntese**. IPCC, 2023. Disponível em: <<https://tinyurl.com/yc46466s>>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- LAPOLA, David. M. et al. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, n. 4, 2014. Disponível em: <<https://tinyurl.com/ycxs7j9u>>. Acesso em: 26 ago. 2024.
- LAMA, Carolina Del; ROSA, Marcos; AZEVEDO, Tasso; SHIMBO, Julia; TEIXEIRA, Lana; OLIVEIRA, Magaly; COELHO-JUNIOR, Marcondes. **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2023**. São Paulo: MapBiomass, 2024. Disponível em: <<https://tinyurl.com/2jurn2p9>>. Acesso em: 29 mai. 2024.
- MARCUZZO, Sílvia. Pampa: Desafios e oportunidades para a conservação do bioma. In: OCF - Observatório do Código Florestal (org.). **O Código Florestal nos biomas:**

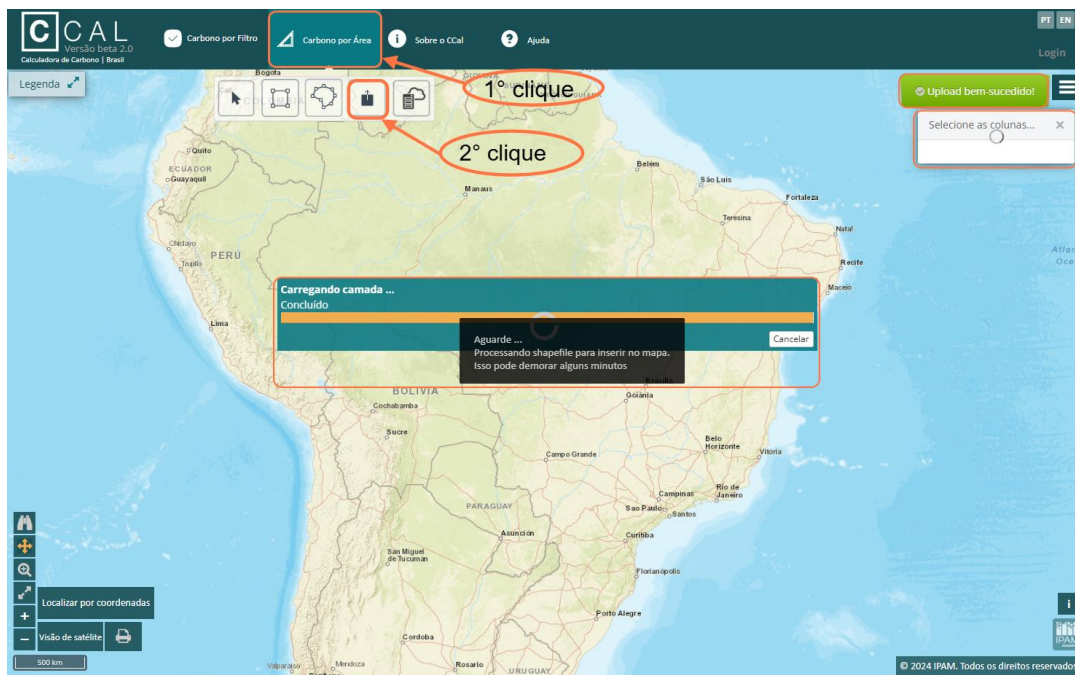
- desafios e soluções.** 2022. Disponível em: <<https://tinyurl.com/4b8thb3b>>. Acesso em: 26 mar. 2024.
- MOREIRA, Danielle de Andrade. **Responsabilidade ambiental pós-consumo: prevenção e reparação de danos à luz do princípio do poluidor-pagador.** São Paulo: Letras Jurídicas; Rio de Janeiro: Ed. PUC-Rio, 2015.
- MOUTINHO, Paulo et al. **Destinação de Florestas Públicas: Um meio de combate à grilagem e ao desmatamento ilegal na Amazônia.** Amazônia 2030, 2022. Disponível em: <<https://tinyurl.com/2w4wwte7>>. Acesso em: 11 jun. 2024.
- NOBRE, Carlos et al. **Science Panel for the Amazon: Executive Summary of the Amazon Assessment Report 2021.** United Nations Sustainable Development Solutions Network, Nova Iorque, 2021. Disponível em: <<https://tinyurl.com/5dmv27mt>>. Acesso em: 26 ago. 2024.
- ROSA, Rafaela Santos Martins. **Dano Climático: Conceito, Pressupostos e Responsabilização.** São Paulo: Tirant lo Blanch, 2023.
- SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de Direito Ambiental.** Rio de Janeiro: Forense, 4ª edição, 2023.
- SARLET, Ingo Wolfgang; WEDY, Gabriel; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de Direito Climático.** São Paulo: Revista dos Tribunais, 2023.
- SARLET, Ingo. Direito fundamental a um clima estável e a PEC 233/2019. **Consultor Jurídico - Conjur**, 14 dez. 2020. Disponível em: <<https://tinyurl.com/2kbhf3re>>. Acesso em: 26 ago. 2024.
- SILVÉRIO, Divino V. et al. Agricultural expansion dominates climate changes in southeastern Amazonia: The overlooked non-GHG forcing. **Environmental Research Letters**, n. 10, 2015. Disponível em: <<https://tinyurl.com/yc2dxw58>>. Acesso em: 26 ago. 2024.
- TSAI, David et al. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil - 1970-2020.** SEEG - Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa, 2023. Disponível em: <<https://tinyurl.com/mwsj83m4>>. Acesso em: 11 jun. 2024.
- MAPBIOMAS. “Um em cada quatro hectares do Brasil pegou fogo nas últimas quatro décadas”. **MapBiomass**, 18 jun. 2024. Disponível em: <<https://tinyurl.com/yr7hu483>>. Acesso em: 27 ago. 2024.
- UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. **Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF)**, s.d. Disponível em: <<https://tinyurl.com/57nyhd8a>>. Acesso em: 27 ago. 2024.

ANEXO 1

Passo a passo para o uso da Calculadora de Carbono – CCal²⁶

1º Passo: definição da área

1. Obtenha um arquivo georreferenciado em formato *shapefile* (.shp)²⁷ da área a ser analisada;
2. Acesse a plataforma carboncal.org.br;
3. Clique em “Carbono por Área” e selecione a opção “Faça upload de um polígono”²⁸ para inserir os arquivos. Todos os arquivos associados ao arquivo *shapefile* devem ser carregados também. Aguarde o carregamento.



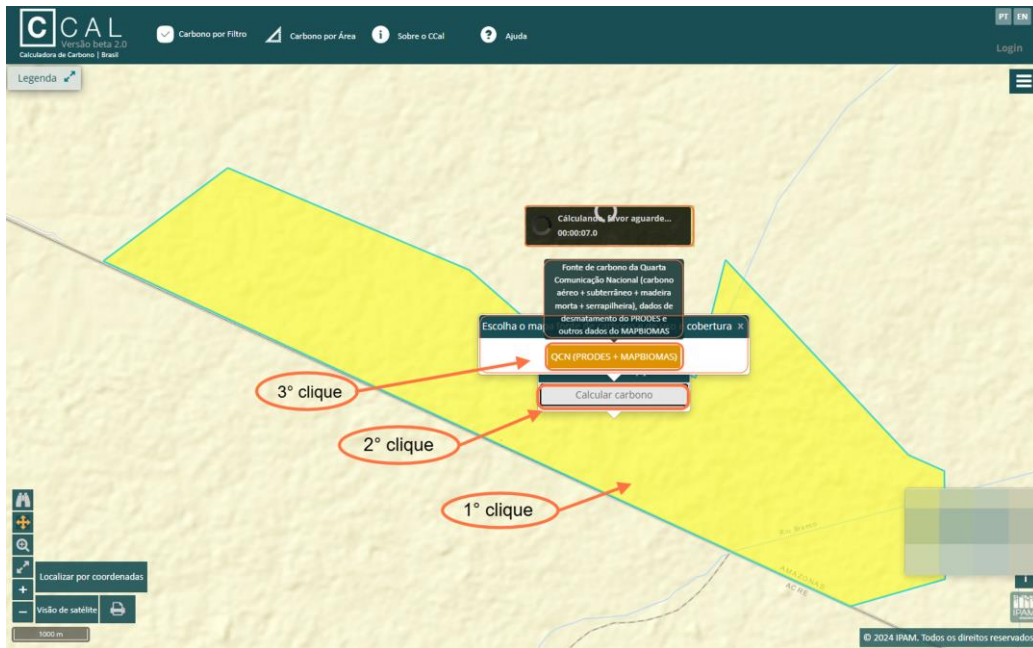
2º Passo: calcular o estoque de carbono na área

Clique no polígono inserido em destaque no mapa, acesse “Calcular carbono” e selecione a opção “QCN (PRODES + MAPBIOMAS)”. Aguarde o carregamento.

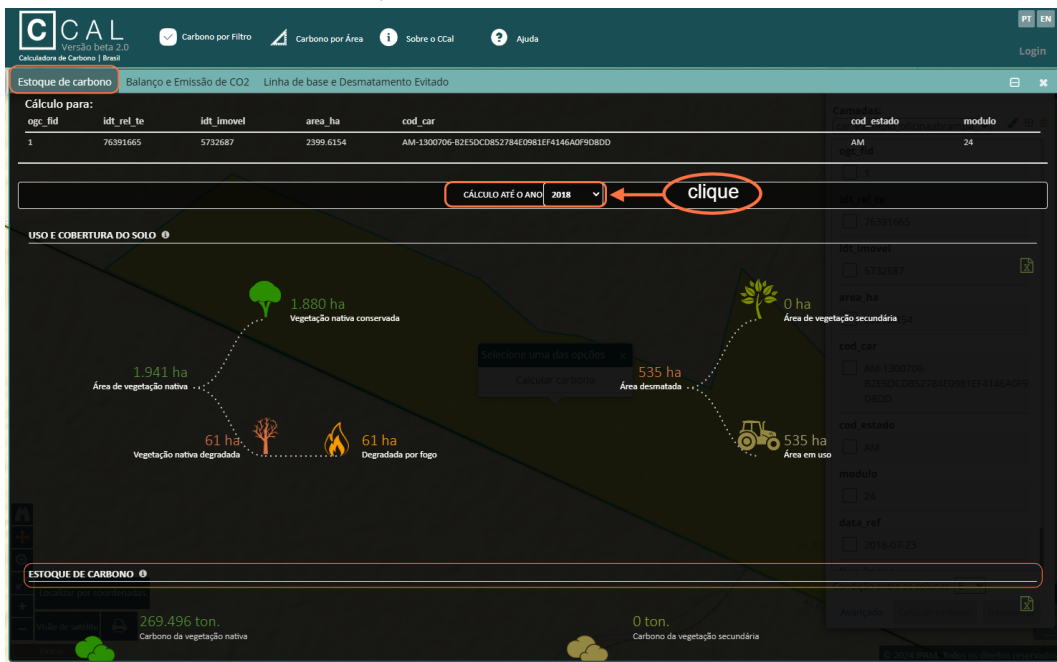
²⁶ Um vídeo demonstrando o passo a passo pode ser encontrado em: <https://drive.google.com/drive/folders/19Pk0fB09yLXUUnaBGH5On3wqvoQPx0r0?usp=sharing>.

²⁷ Shapefile é um formato de arquivo contendo um conjunto de informações geoespaciais, como a feição vetorial (ponto, linha ou polígono), localização geográfica e atributos associados.

²⁸ Polígono: tipo de feição vetorial.



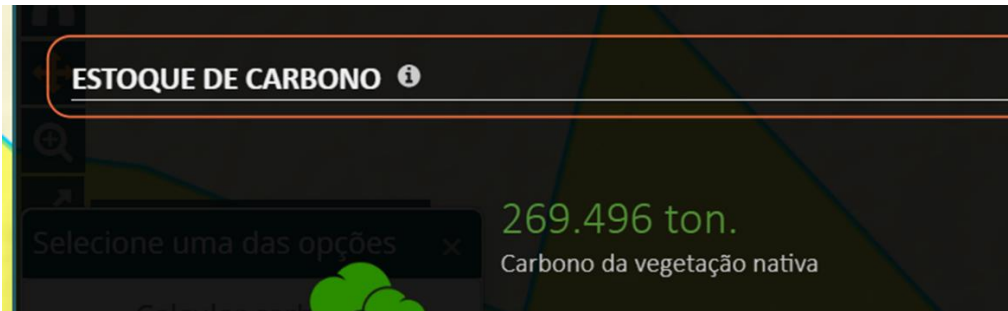
Em “Cálculo até o Ano” **selecione o ano anterior ao desmatamento**²⁹. Exemplo: Se o desmatamento ocorreu em 2019, selecione o ano de 2018.



²⁹ O valor de estoque e densidade de carbono podem variar dependendo do ano considerado, já que a perda de vegetação nativa por desmatamento, fogo ou mudanças de uso do solo são incorporadas pelo CCAL ano a ano. Selecionar o ano anterior ao desmate em questão é fundamental para garantir que seja capturado o valor mais próximo do real estoque e densidade de carbono existente na área ao ser desmatada.

Existem duas possibilidades na hora de calcular o estoque de carbono,³⁰ sendo:

- A. O desmatamento corresponde à área exata do polígono considerado**
Ou seja, todo o polígono foi desmatado. Neste caso, clique na opção “ESTOQUE DE CARBONO” e considere o valor “**Carbono da vegetação nativa**”², dado apresentado em toneladas (ton/ha);



- B. O desmatamento é menor do que a área do polígono**
Como, neste caso, apenas parte do polígono foi desmatado deve-se considerar a densidade de carbono (ou seja, quantas toneladas de carbono há em cada hectare) para que seja estimado o estoque correspondente apenas à área desmatada.

Desça o cursor para acessar a seção “Estoque de carbono”, escolha “**Densidade de carbono de vegetação nativa: ton/ha**”, e multiplique esse valor pela área total do polígono desmatado (maiores detalhes a seguir).



³⁰ O estoque de carbono corresponde à quantidade de carbono armazenada na vegetação nativa presente dentro da área do polígono selecionado. O valor do estoque de carbono varia conforme a fitofisionomia ou bioma considerado e também de acordo com densidade de árvores e o tamanho da área considerada.

O cálculo do estoque de carbono da área desmatada (ECD) é feito da seguinte forma:

$$\text{ECD} = \text{AD} \times \text{DC}$$

AD representa a área desmatada em hectares (ha).

DC representa a densidade de carbono de vegetação nativa em toneladas por hectare (ton/ha).

O polígono utilizado como exemplo, apresentou 1,3884 ton/ha. de densidade de carbono em 2018 e, em 2019, teve 300 ha de área desmatada.

$$\begin{aligned} \text{ECD} &= 300 \times 138,84 \\ \text{ECD} &= \mathbf{41.652 \text{ toneladas de estoque de carbono}} \end{aligned}$$

3º Passo: calcular emissão em CO₂ do desmatamento

Para calcular a emissão de CO₂ decorrente de um desmatamento, multiplica-se o valor do estoque total da área desmatada por 3,67³¹, um fator de conversão para CO₂.

$$\text{Em.CO}_2 = \text{ECD} \times 3,67$$

Em.CO₂ representa o volume das emissões de CO₂ decorrentes de um desmatamento.

Considerando o exemplo dado, temos:

$$\begin{aligned} \text{Em.CO}_2 &= 41.652 \times 3,67 \\ \text{Em.CO}_2 &= \mathbf{152.862,84 \text{ toneladas de CO}_2} \end{aligned}$$

³¹ O fator de conversão 3,67 representa a razão entre o peso molecular do CO₂ (44) e do carbono (12). Ou seja, 12 unidades de carbono produzem 44 unidades de CO₂. Assim, multiplicando-se o carbono estocado em toneladas pelo fator de conversão 3,67, o valor resultante representa a quantidade de CO₂ emitida na atmosfera.

4º Passo: monetização da emissão CO₂ do desmatamento

Tendo em mãos o resultado anterior, multiplica-se a quantidade de CO₂ emitida pelo valor da tonelada de carbono, resultando na valoração do dano climático decorrente da emissão de CO₂, de acordo com as seguintes variáveis:

$$\text{VDC} = \text{Em.CO}_2 \times \$$$

VDC representa a valoração do dano climático;

EmCO₂. representa o valor total de emissão CO₂ da área desmatada; e

\$ representa o valor monetário da tonelada de CO₂.

Adotando-se o valor proposto pelo Fundo Amazônia (US\$5.00 por tonelada de CO₂)³² o cálculo será o seguinte:

$$\begin{aligned} \text{VDC} &= 152.862,84 \text{ (ton.)} \times \text{US\$ } 5,00 \\ \text{VDC} &= \text{US\$ } 764.314,20 \end{aligned}$$

Na sequência, basta converter o valor de dólares para reais.

Um vídeo demonstrando o passo a passo para o uso da CCAL pode ser encontrado em:

<https://drive.google.com/drive/folders/19Pk0fB09yLXUUnaBGH5On3wqvoQPx0r0?usp=sharing>.

³² A ABRAMPA e o IPAM orientam a utilização do valor US\$5/tCO₂, uma vez que se trata de patamar referencial mínimo fixado no Fundo Amazônia, além de ser o único parâmetro de precificação de carbono até agora adotado oficialmente pelo Estado brasileiro, sem prejuízo da eventual utilização de outros referenciais definidos por estudos interdisciplinares para a precificação do carbono, e que contemplem os danos ecológicos, sociais e intergeracionais causados pelas emissões de CO₂.

ANEXO 2

Fundamentos técnico-científicos para a quantificação do estoque de carbono

A incorporação do pedido de condenação pelo dano climático em ações de responsabilidade ambiental que busquem a reparação pelo desmatamento está embasada no princípio da reparação integral do dano ambiental e na Resolução CNJ n° 433/2021³³. A seguir detalhamos os principais parâmetros científicos relacionados à quantificação e à precificação do dano climático.

Estoque de carbono na área desmatada

A perda de vegetação nativa incorre na consequente perda do carbono estocado nessas plantas. Mensurar a quantidade de carbono estocado na área desmatada é o passo inicial para se estimar o dano climático baseado na emissão de CO₂. Para isso, adotamos a plataforma CCal – Calculadora de Carbono (<https://carboncal.org.br/>), que estima o estoque de carbono na vegetação nativa em diferentes biomas brasileiros.

Os dados da plataforma apresentam valores médios de estoque de carbono da biomassa vegetal acima do solo dentro da área selecionada (seja um polígono, estado ou bioma inteiro), baseados nos dados do Quarto Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa² (Brasil, 2020), elaborado pelo Poder Executivo Nacional e apresentado ao Secretariado da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC),³⁴ conforme pormenorizado no Anexo 2.

³³ Artigo 14. na condenação por dano ambiental, o(a) magistrado(a) deverá considerar, entre outros parâmetros, o impacto desse dano na mudança climática global, os danos difusos a povos e comunidades atingido e o efeito dissuasório às externalidades ambientais causadas pela atividade poluidora” (Res. CNJ 433/2021, art. 14).

² Brasil, 2020. BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Quarta comunicação nacional do Brasil à UNFCCC. Brasília, DF: MCTI, 2020b. Disponível em: <https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/4782>. Acesso em: 29 nov. 2023

³⁴ As estimativas de estoque de carbono contidas no Quarto Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa levam em consideração os diferentes tipos de vegetação nativa (e.g.: florestas tropicais, subtropicais, temperadas, savanas). Mensurou-se a biomassa local por meio de inventários florestais, amostragem de campo e imagens de satélite (para obter informações sobre cobertura do solo, densidade da vegetação e mudanças ao longo do tempo). Em seguida, converteu-se a biomassa medida para carbono por

Os valores apresentados pela plataforma CCal – Calculadora de carbono representam o estoque total (em toneladas) ou a densidade de carbono (tonelada/hectare) dentro da área selecionada tanto para a vegetação nativa quanto para a vegetação secundária (valores apresentados separadamente).

Emissão de Dióxido de Carbono (CO₂)

Após o desmate, o carbono estocado na vegetação é convertido em CO₂ e emitido para a atmosfera como um dos principais gases do efeito estufa (GEE). Portanto, para quantificar o dano climático, é necessário que seja feita a conversão da quantidade de carbono estocada na área desmatada para o CO₂ emitido na atmosfera. Para isso, deve-se multiplicar o total de carbono estocado na área desmatada (valor em toneladas) por 3,67, fator de conversão em CO₂, que representa a razão entre o peso molecular do CO₂ (44) e do carbono (12). Ou seja, 12 unidades de carbono produzem 44 unidades de CO₂. O valor resultante representa, portanto, a quantidade de CO₂ emitida na atmosfera e causadora do dano climático em questão.

Precificação do Dano Climático

Para a precificação do CO₂, sugerimos que os autores das ações de responsabilidade ambiental utilizem-se, no mínimo, do valor estabelecido pelo Fundo Amazônia (atualmente US\$ 5,00 por tCO₂e). Apesar da grande variação nos valores praticados no mercado de carbono (geralmente em patamares superiores), a adoção de um valor mais conservador como o do Fundo Amazônia assegura que as ações envolvendo a precificação do dano climático tenham menores chances de serem contestadas pela aplicação de valores elevados. Ainda, tal escolha se sustenta no fato de o governo brasileiro não ter, até o momento, um valor definido para o custo social do carbono.

meio da multiplicação pelo fator de conversão 0,47 (i.e. 47% da biomassa seca é carbono). Para extrapolar os valores de estoque de carbono para áreas maiores, utilizaram-se modelos baseados em dados de campo e imagens de satélite. Fatores de emissão específicos para cada tipo de vegetação e parâmetros ambientais como solo e clima também foram considerados na estimativa do estoque de carbono. Finalmente, os dados foram validados por especialistas.

Ressalta-se, finalmente, que essa precificação considera apenas o dano climático causado pela emissão de CO₂, não contemplando, portanto, demais danos climáticos e/ou ambientais causados pelo desmatamento e consequente emissão de outros GEE.