



AMAZÔNIA
2030

CARBONO E O DESTINO DA AMAZÔNIA



JULIANO ASSUNÇÃO E JOSÉ ALEXANDRE SCHEINKMAN

SETEMBRO 2023

61

Nos últimos anos, o desmatamento na Amazônia tem preocupado os pesquisadores e formuladores de políticas públicas no Brasil e no mundo. Em 2022, a Amazônia brasileira já havia perdido cerca de 21% da sua floresta original. Além disso, mesmo parte da floresta remanescente encontra-se degradada pela extração ilegal de madeira e queimadas florestais. Tudo isso coloca a floresta perigosamente perto de um ponto crítico de não retorno. Se isso ocorrer, as consequências serão catastróficas para a estabilidade climática e a proteção da biodiversidade. Como resposta a essa ameaça, governos e grandes empresas em todo o mundo estão dispostos a comprar créditos de carbono florestal, especialmente via captura (restauração florestal) para neutralizar suas emissões.

Apesar do crescente interesse nos créditos de carbono, o preço real deste mecanismo ainda não é totalmente compreendido. Na Amazônia brasileira, onde a pecuária é um dos principais vetores do desmatamento, compreender essa dinâmica é fundamental. **Qual preço de carbono faria com que o governo e os produtores rurais trocassem a pecuária extensiva pela restauração florestal em larga escala na Amazônia?** Para responder a essa questão, é necessária uma abordagem integrada que considere os incentivos para o desmatamento, a aptidão agropecuária e a capacidade de regeneração da floresta em cada parte da Amazônia. Além disso, requer o estabelecimento de referências quantitativas para guiar o desenho de mecanismos de carbono e de políticas públicas.

Esta publicação⁽¹⁾ indica que preços de carbono superiores a US\$ 20 por tonelada de CO₂ capturado pela regeneração natural das áreas desmatadas na Amazônia transformariam a paisagem da região. As compensações pelo carbono capturado garantiriam a integridade da floresta, induzindo uma extensa restauração florestal e uma captura de 16 Gt CO₂ nos próximos 30 anos. Nesse cenário, a Amazônia deixaria de ser uma emissora líquida de carbono tornando-se uma região com enorme capacidade de capturar CO₂ em larga escala. O preço de US\$20 por tonelada de CO₂ capturado é uma referência base para negociação, um vez que permissões de emissão na Europa estão sendo negociadas a US\$90 por tonelada de CO₂. Com esse valor, seria mais vantajoso economicamente trocar a maior parte das áreas de pecuária em áreas destinadas ao restauro florestal via regeneração natural. A receita advinda do carbono (US\$ 320 bilhões em 30 anos) mais do que compensaria a perda de receita da pecuária. É uma análise que considera não apenas a incerteza sobre as variações do preço do gado, mas também a incerteza nas medidas utilizadas na calibragem dos parâmetros da modelagem.

A pesquisa apresenta um exercício de racionalidade econômica no qual o ciclo do carbono, a dinâmica agropecuária, a conservação da floresta em pé e a restauração florestal são tratadas conjuntamente. A análise oferece ainda mapas de prioridades para a conservação florestal e o desenvolvimento da atividade pecuária ao longo do tempo.

(1) Baseado em: Assunção, Juliano J., Lars P. Hansen, Todd Munson e José Scheinkman.

"Carbon Prices and Forest Preservation Over Space and Time in the Brazilian Amazon". SSRN. 2023. bit.ly/3EzpyxR

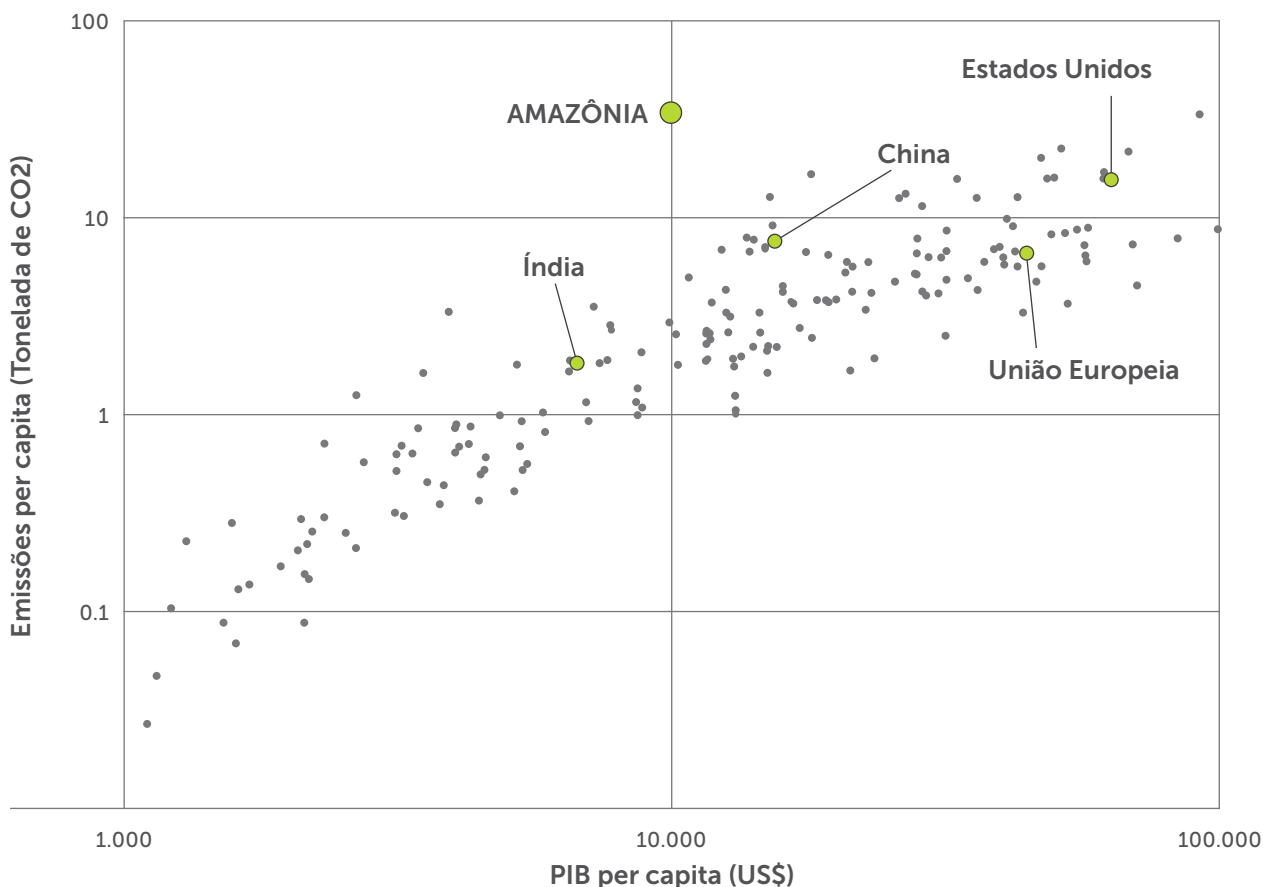
DESTAQUES

- Um preço de carbono de US\$ 20 por tonelada de carbono capturado liquidamente pelo bioma Amazônia faria com que o restauro florestal via regeneração natural se torne mais rentável do que a pecuária em praticamente toda a região. É um valor que estanca o desmatamento e promove a recomposição florestal, garantindo a integridade da floresta.
- O carbono associado ao mecanismo analisado é o de restauração florestal, o qual consiste em captura líquida de carbono como aqueles negociados nos mercados regulados de carbono. No primeiro semestre de 2023, o preço médio do mercado europeu foi aproximadamente US\$ 90 por tonelada de CO₂. Por outro lado, mecanismos associados ao pagamento por redução de desmatamento tendem a ter valores de carbono mais baixos. Nesse sentido, US\$ 20 por tonelada de CO₂ é um valor realmente baixo.
- Na ausência de um mecanismo robusto de pagamento pelo carbono florestal, a nossa análise revela que, mesmo com os esforços existentes de combate ao desmatamento, ainda haveria incentivos para o aumento do desmatamento via expansão da pecuária. O desmatamento na Amazônia tende a aumentar e deve atingir um ponto de não retorno em menos de duas décadas, emitindo aproximadamente 32 bilhões de toneladas de CO₂, ao longo dos próximos 30 anos.
- Mesmo focando apenas na captura de carbono via regeneração natural, a compensação de US\$ 20 por tonelada criará incentivos para o controle do desmatamento, o qual passa a ter um alto custo de oportunidade para o Brasil. De fato, como o mecanismo analisado considera a captura líquida de carbono, a emissão de carbono do desmatamento será descontada do montante capturado pela restauração florestal. Juntamente com a viabilização da recuperação da área florestada, os pagamentos promovem a interrupção do desmatamento.
- O efeito combinado do carbono capturado pela restauração florestal em larga escala, com o desmatamento evitado (emissão evitada) é de, aproximadamente, 48 bilhões de toneladas de CO₂ nos próximos 30 anos – 16 Gt CO₂ provenientes do restauro florestal e outros 32 Gt CO₂, do desmatamento evitado.

O ESTADO ATUAL DA AMAZÔNIA E O MERCADO DE CARBONO

Uma avaliação inicial da Amazônia mostra que a atividade econômica está muito desalinhada com suas emissões de carbono. Em âmbito nacional, a Amazônia brasileira contribui um pouco menos de 9% do PIB do país, porém participa com aproximadamente 50% das emissões de gases de efeito estufa⁽²⁾. Em um contexto internacional, a Figura 1 mostra que, se a Amazônia brasileira fosse um país, teria uma configuração muito atípica, gerando muita emissão per capita de carbono para um baixíssimo PIB per capita. São evidências que sugerem haver formas de redução de emissões com baixo custo de oportunidade em termos econômicos quando comparado a outras regiões do planeta.

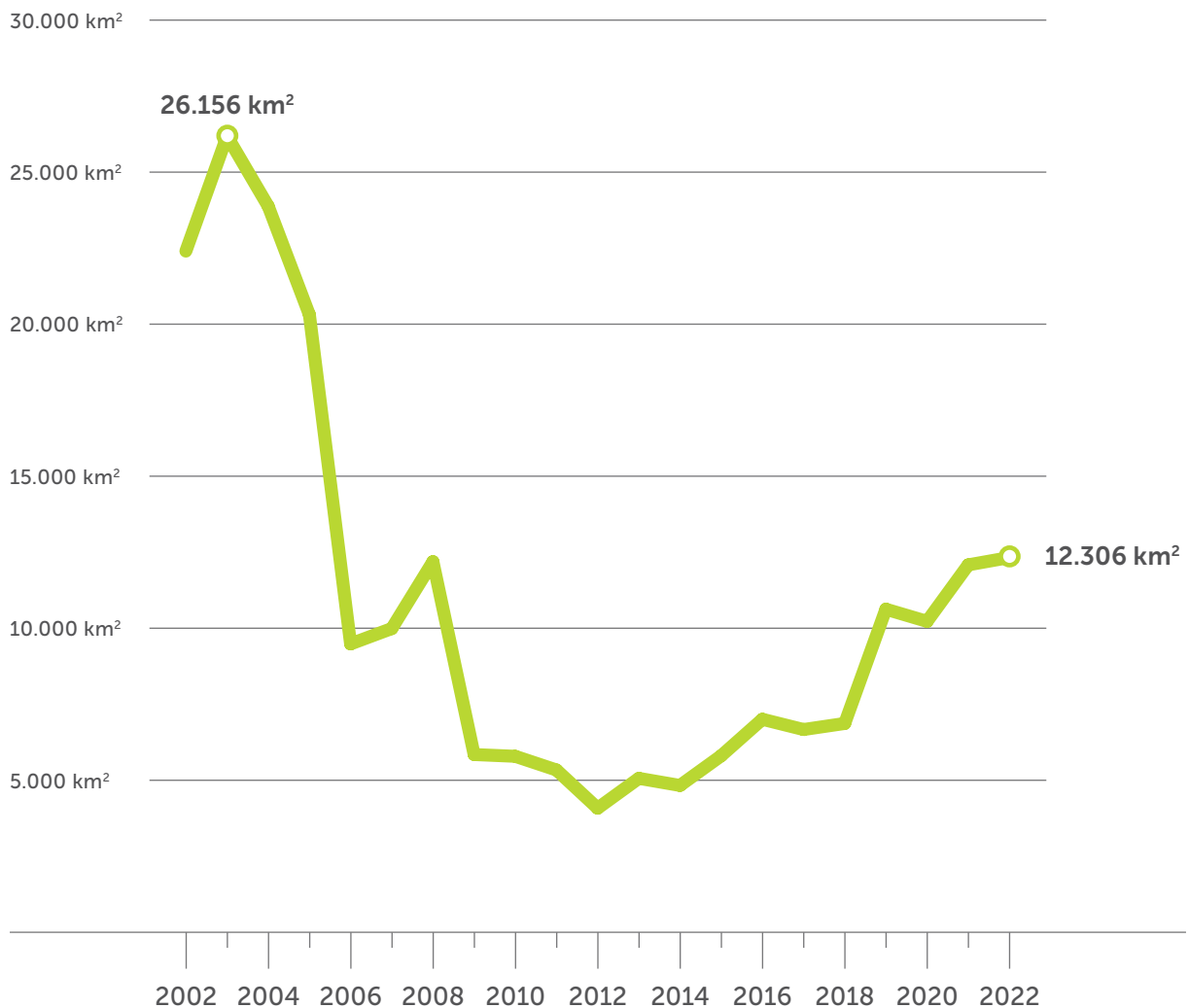
Figura 1. Relação entre Emissões de Gases de Efeito Estufa e PIB per capita, 2018



(2) Santos, Daniel, Manuele L. dos Santos e Beto Veríssimo. Fatos da Amazônia: meio ambiente e uso do solo. Amazônia 2030, 2022. bit.ly/3sOXGmK

As emissões de carbono da Amazônia estão, em larga medida, associadas ao desmatamento. A Figura 2 mostra que, após um pico em 2004, uma série de medidas de política pública foram implementadas e promoveram uma redução da ordem de 80% no desmatamento até 2012. Nesse mesmo período, o PIB agropecuário cresceu de forma substantiva⁽³⁾, o que também aponta para uma dissociação entre o desmatamento e a atividade econômica. Desde 2012, o desmatamento tem crescido continuamente, apesar de ainda estar bastante longe dos níveis de desmatamento observados em 2004.

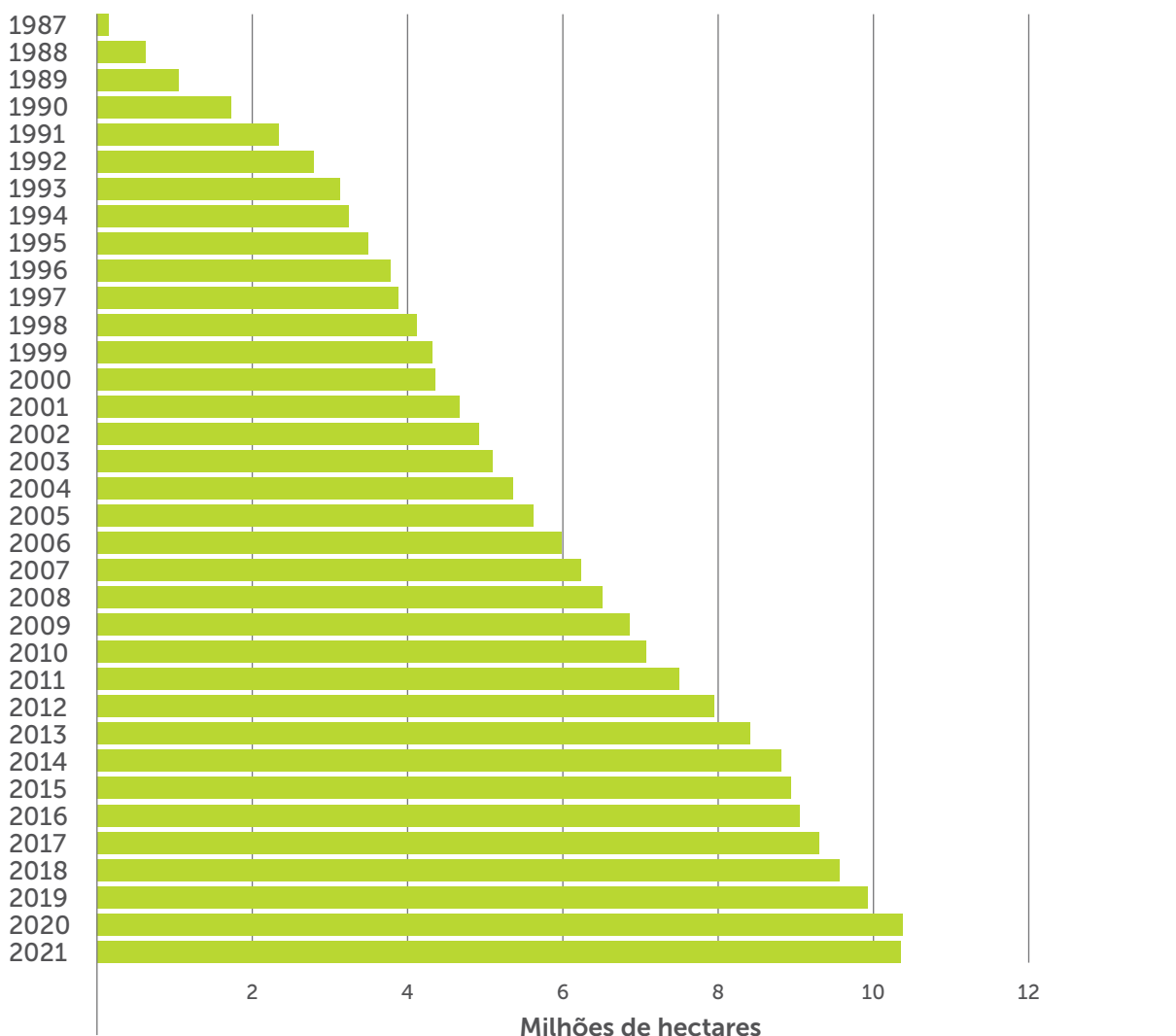
Figura 2. Desmatamento na Amazônia, 2000-2022



(3) Gandour, Clarissa. Políticas Públicas para Proteção da Floresta Amazônica: O que Funciona e Como Melhorar. Amazônia 2030, 2021. bit.ly/4669M9g

Finalmente, ao avaliar o que tem acontecido com as áreas desmatadas, constata-se uma recuperação expressiva de áreas degradadas via regeneração natural. A Figura 3 mostra que há 10 milhões de hectares em regeneração natural no Bioma Amazônia. Sabe-se ainda que há 7,2 milhões de hectares em processo avançado de regeneração com mais de seis anos⁽⁴⁾, o que revela uma boa capacidade de restauração florestal em áreas desmatadas que estavam abandonadas.

Figura 3. Regeneração Natural no Bioma Amazônia, 1987-2021



Fonte: Mapbiomas, coleção 7.1.

(4) Pinto, Andréia, Paulo Amaral, Rodney Salomão, Luís Oliveira Jr., Carlos Alexandre da Cunha et al. Restauração Florestal em Larga Escala na Amazônia: O Potencial da Vegetação Secundária. Amazônia 2030, 2021. bit.ly/3Ze2Ft0

A ABORDAGEM

A relação entre carbono e atividade agropecuária envolve uma análise detalhada sobre as mudanças no uso da terra. Como quase 90% da área desmatada do bioma Amazônia foram destinadas para a pecuária, a análise focará nessa atividade⁽⁵⁾. O desmatamento resulta na emissão do carbono associado à perda de biomassa, e a atividade pecuária a ser implantada gera um fluxo de renda advinda da produção que depende dos preços agropecuários. Há também um fluxo de emissões advindas da atividade pecuária. Por outro lado, áreas de pecuária podem ser abandonadas e colocadas em processo de regeneração natural. Nesse caso, há uma perda do fluxo de renda futura e o início de um processo de captura de carbono.

A avaliação do impacto de diferentes cenários de compensação por captura de carbono na Amazônia brasileira envolve alguns desafios metodológicos que extrapolam as principais abordagens disponíveis para problemas dinâmicos sob incerteza da ciência econômica.

Primeiro, a região, por sua extensão e complexidade, apresenta uma enorme heterogeneidade, seja no potencial da pecuária ou na capacidade de absorção/emissão de carbono. Para levar essa heterogeneidade em consideração, o bioma Amazônia é dividido em 1.055 células de aproximadamente 67.5km x 67.5km. A Figura 4 apresenta o potencial para absorção e estoque de carbono (Figura 4a) e produtividade pecuária (Figura 4b). As informações sobre o carbono consideram os mapas mais recentes de estimativas de biomassa acima do solo das florestas primárias identificadas pelo Mapbiomas⁽⁶⁾⁽⁷⁾. A produtividade da pecuária é obtida a partir da receita municipal da pecuária coletada pelo Censo Agropecuário de 2017, o levantamento mais recente disponível.

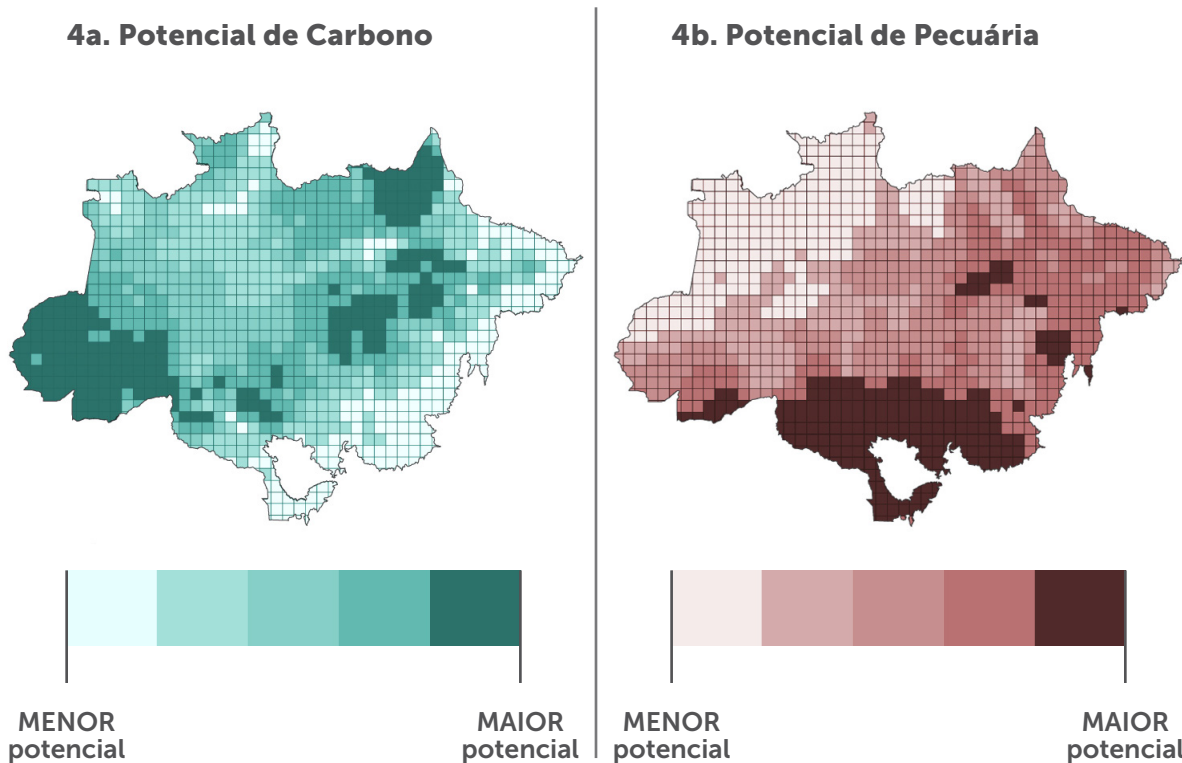
Segundo, a dinâmica temporal também é um elemento muito essencial. O horizonte de geração de renda da agropecuária é diferente do horizonte de captura de carbono. Enquanto as áreas dedicadas à pecuária oferecem uma receita permanente, flutuando apenas com o preço do gado, a receita gerada pelas áreas em regeneração depende do processo de captura de carbono, que varia na medida em que a floresta cresce. Dessa forma, ao avaliar a melhor alocação de cada área na Amazônia, para um cenário de preço de carbono, é importante considerar as expectativas sobre os preços futuros da pecuária juntamente com a dinâmica de captura do carbono. Considera-se uma taxa de desconto de 2% nas simulações de base.

(5) A incorporação de outras culturas, como soja, não afeta de forma expressiva os resultados sobre as implicações dos cenários de preços de carbono e tornaria a modelagem ainda mais complexa. A abordagem considera o que observamos na Amazônia atualmente.

(6) Santoro, Maurizio e Oliver Cartus. ESA Biomass Climate Change Initiative (Biomass cci): Global datasets of forest above-ground biomass for the years 2010, 2017 and 2018, v3. 2021. Data de acesso: 10 de maio de 2023.

(7) Souza, Carlos M., Julia Z. Shimbo, Marcos R. Rosa, Leandro L. Parente, Ane A. Alencar et al. "Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine". *Remote Sensing* 12, nº 17, 2735. bit.ly/466mpkL

Figura 4. Potencial de Carbono e Pecuária por área na Amazônia



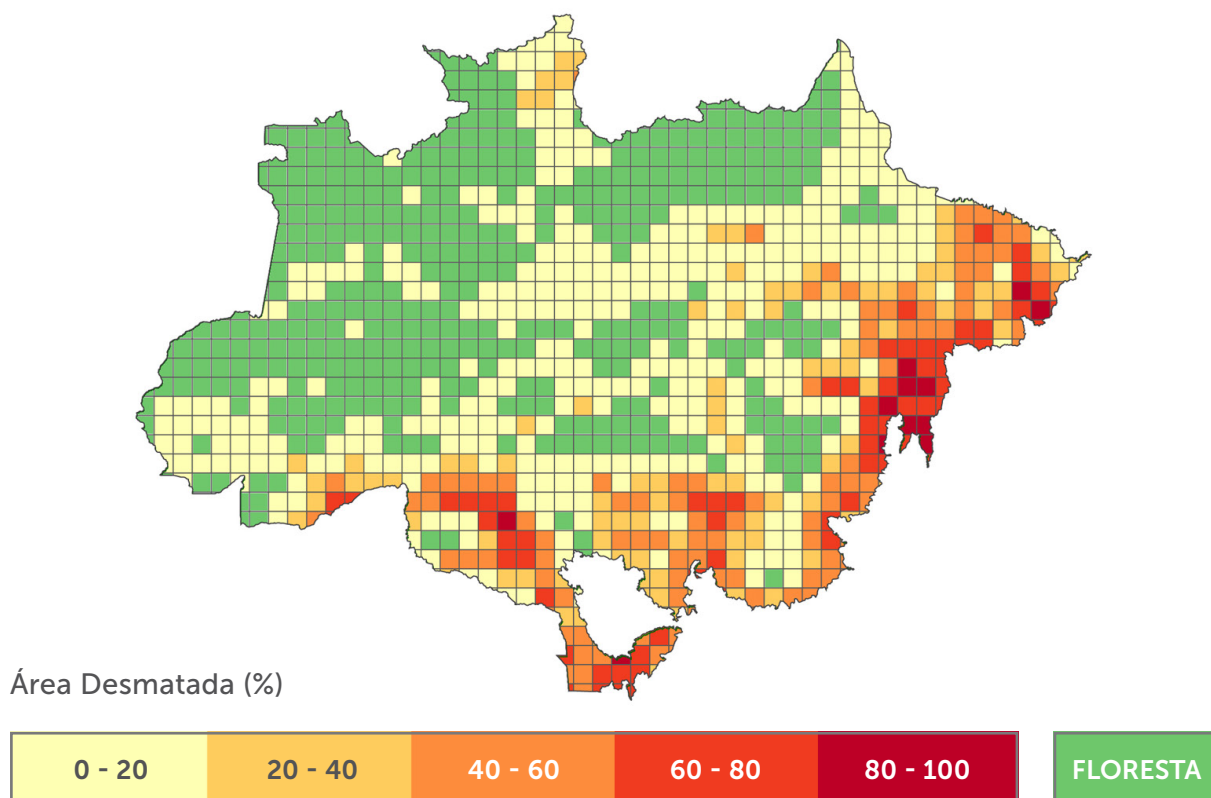
Terceiro, é preciso lidar com a incerteza. A incerteza sobre o preço do gado é capturada pela distribuição de preços (deflacionados) observada no período de 1995 até 2017. Considera-se uma distribuição de preços associada a um processo *Markoviano*. Além da incerteza dos preços que caracterizam o estado da economia em cada momento, considera-se também a incerteza sobre os parâmetros que representam os potenciais de captura de carbono e da produção de carne. Em ambos os casos, essas medidas estão sujeitas a imprecisões, e os resultados precisam ser robustos a esse tipo de incerteza.

O artigo desenvolve um modelo espacial dinâmico para examinar os complexos trade-offs no tempo e no espaço entre o uso de terras para pecuária e a restauração e conservação florestal. Como mencionado anteriormente, os métodos econômicos usuais não conseguem lidar com todas as questões envolvidas em uma modelagem desse tipo. Para a caracterização dos resultados, foi necessário estender técnicas do método conhecido como “Controle Preditivo Modificado”, desenvolvido originalmente para problemas de engenharia de larga escala. Além disso, foram adaptados métodos de Monte Carlo com Cadeias de Markov para derivar novas formas de quantificação de incerteza, adaptadas aos problemas de política de interesse.

RESULTADOS

O modelo adota, a utilização de área definida pelo Censo Agropecuário em 2017, que é o ano inicial da análise mais recente. A Figura 5 mostra que há uma relação entre as áreas desmatadas até 2017 e o potencial da pecuária exibido na Figura 4. Mas não é uma relação perfeita – há áreas de relativa baixa produtividade que foram desmatadas. Por outro lado, foram desmatadas áreas de grande potencial de absorção de carbono. Para cada preço de carbono, o modelo define o destino de cada área da Amazônia.

Figura 5. Ocupação de uso da terra na Amazônia em 2017



O destino de cada área da Amazônia é definido pela interação entre as aptidões físicas para absorção de carbono e a pecuária, o estado inicial do uso da terra e o preço de carbono. Caso o cenário de preço de carbono seja muito baixo, a atividade pecuária tende a continuar se expandindo, fazendo com que a área de floresta seja reduzida e que as emissões de carbono aumentem. No entanto, na medida em que o preço do carbono sobe, há uma queda na lucratividade relativa da pecuária e passa a valer a pena economicamente abandonar a pecuária em algumas áreas para deixar a floresta ser restaurada naturalmente.

Há dois movimentos simultâneos. Primeiro, o de ajuste no agregado das áreas que, a depender do preço de carbono, pode aumentar o desmatamento (preço baixo de carbono) ou reduzir a pecuária e promover o restauro florestal (preço alto de carbono). Segundo, há também uma alteração na distribuição espacial das atividades, promovendo melhor alinhamento entre o uso da terra e as potencialidades econômicas da Amazônia. Isso porque o processo de ocupação da região não observou o papel da floresta como sumidouro de carbono. É muito recente a mudança na percepção do valor do ciclo do carbono e sua relação com a floresta.

O VALOR DA FLORESTA PARA A SOCIEDADE BRASILEIRA SEGUNDO O MODELO

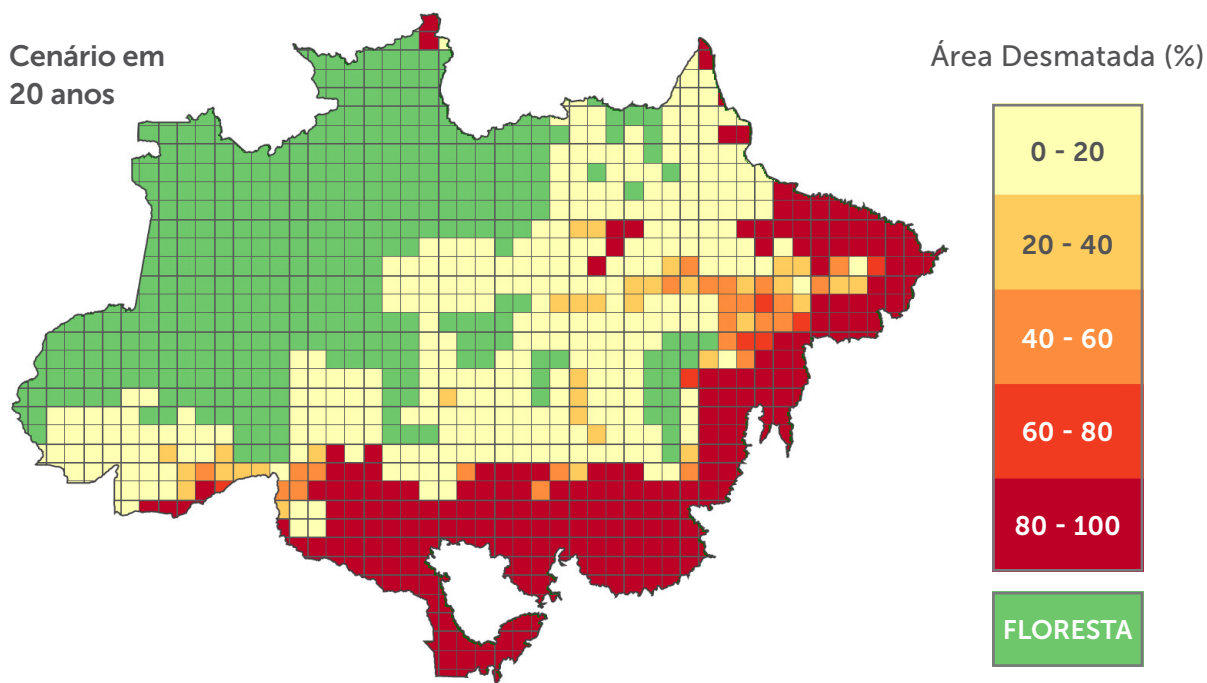
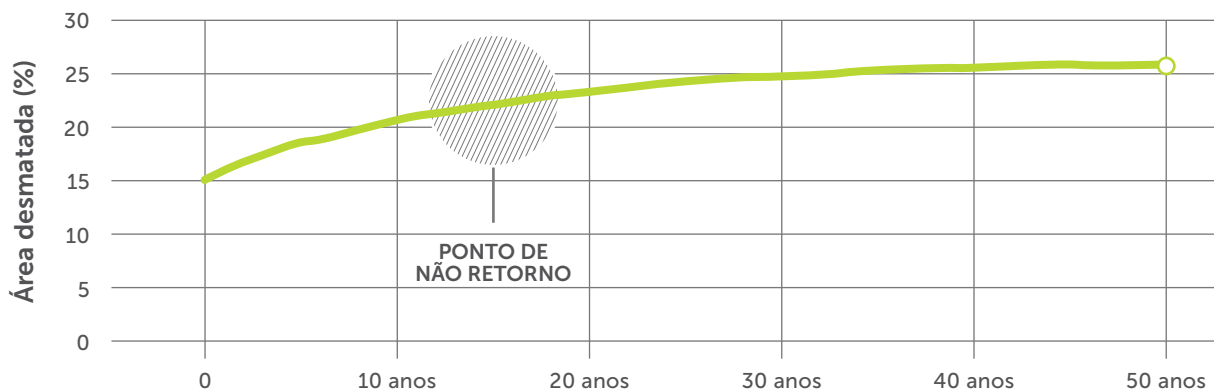
A primeira aplicação do modelo tem como base o desmatamento acumulado até 2008, ano de criação do Fundo Amazônia. Até aquele momento, o país tomava suas decisões sobre a ocupação ou a conservação da Amazônia de forma independente, sem a possibilidade de vender créditos de carbono de forma regular e em volumes expressivos. O ímpeto de exploração da região para a pecuária, motivado pelas receitas da atividade, foi contrabalançado por políticas de conservação florestal e combate ao desmatamento. A interação entre essas duas forças pode ser representada por uma valoração implícita de carbono sob a ótica do modelo.

A pergunta por trás desse primeiro exercício é: se o Brasil estivesse olhando para o valor da floresta apenas pela perspectiva do carbono, qual é o preço de carbono compatível com o desmatamento observado até 2008? Ou seja, qual é o preço de carbono que explica as políticas de ocupação e conservação da Amazônia observadas até 2008?

O valor revelado pela ótica do modelo é de US\$ 5.76 por tonelada de CO₂. Ou seja, se o preço do carbono tivesse sido maior do que esse valor, o Brasil teria desmatado menos do que foi verificado até 2008, segundo o modelo. Caso o preço do carbono tivesse sido menor do que esse valor, o Brasil teria desmatado mais do que foi constatado até 2008. O valor de US\$ 5.76 por tonelada de CO₂ pode ser interpretado como um valor médio de valoração da floresta pelo Brasil ao longo de sua história até 2008, considerando a oscilação das políticas públicas adotadas até então.

A Figura 6 projeta o que se deve esperar da Amazônia, caso a valoração da floresta seja equivalente a US\$ 5.76 por tonelada de CO₂. É um cenário dramático em que o desmatamento chega a 30%, atingindo em um pouco mais de uma década o ponto de não retorno de 20-25%, estimado pelos cientistas.

Figura 6. Evolução da Área de Pecuária sem Pagamentos por Carbono

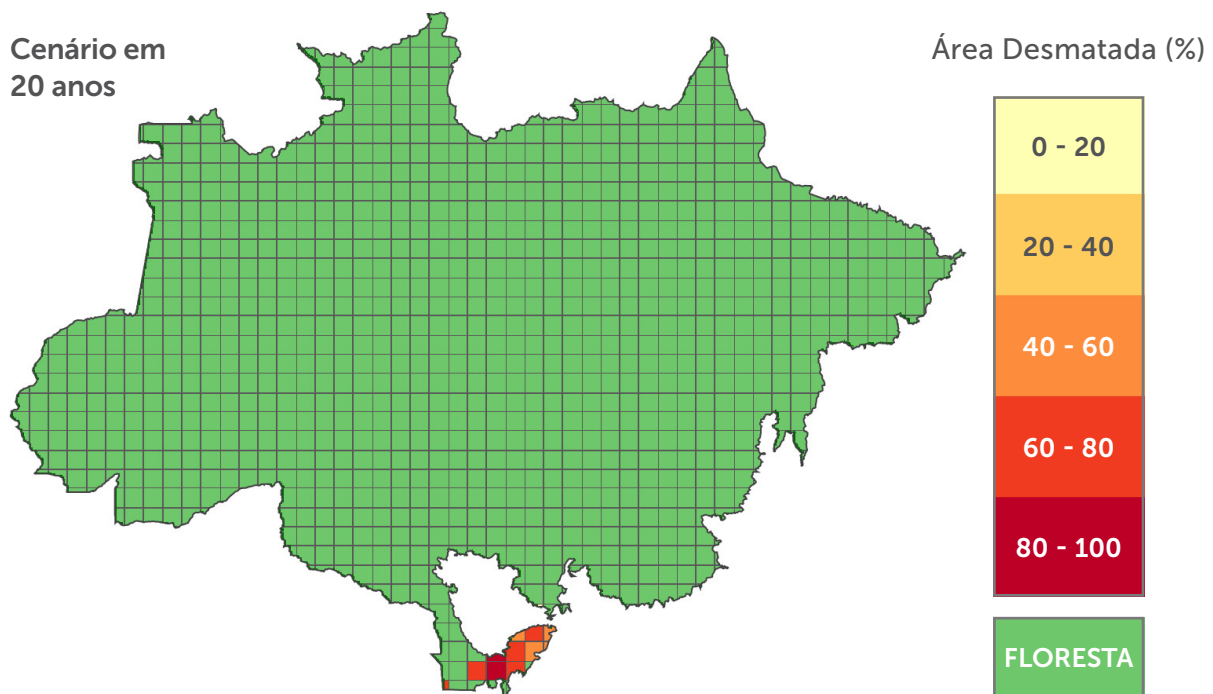
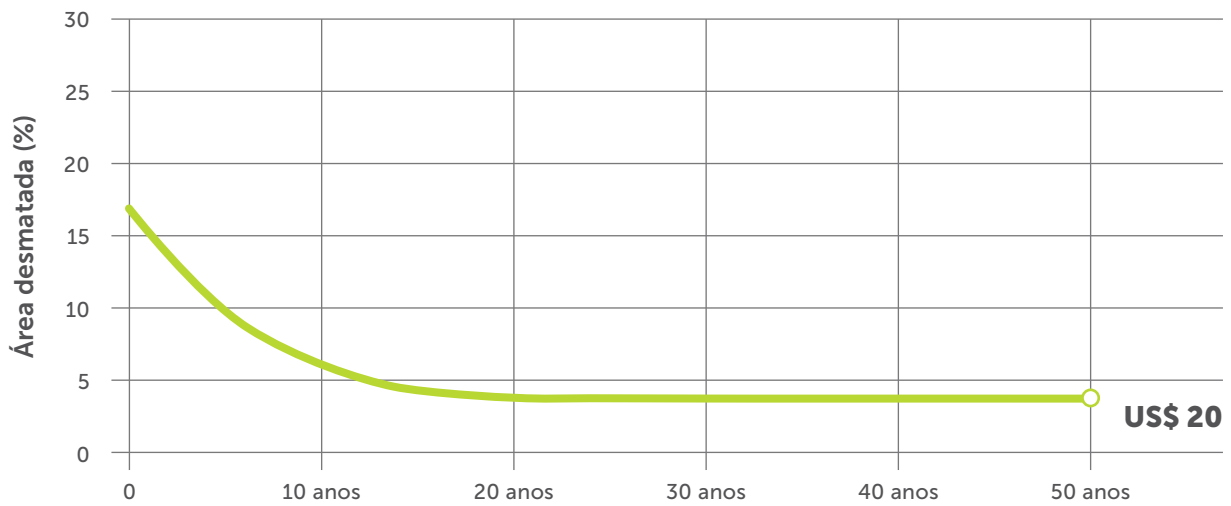


PAGAMENTOS POR CARBONO E O DESTINO DA AMAZÔNIA

Com base nas estimativas anteriores de que a sociedade tem valorado o equivalente a US\$ 5.76 por tonelada de CO₂, foi considerado um cenário com pagamento de US\$ 20 por tonelada de CO₂ capturado pela região. A ideia é que a cada ano apura-se a captura líquida de carbono da Amazônia (absorção de carbono via restauração florestal menos emissão por desmatamento) e realiza-se o pagamento referente ao que foi capturado efetivamente. A floresta será remunerada pelos US\$ 20 por tonelada de CO₂, advindos das transferências externas, mais os US\$ 5.76 por tonelada de CO₂, revelados pela sociedade brasileira.

Na Figura 7, identifica-se que os pagamentos são capazes de mudar o destino da floresta. Com um preço de US\$ 20 por tonelada de CO₂, a região se beneficia ao substituir em grande parte a pecuária pelo restauro florestal. É um cenário em que o restauro florestal se estabelece como a atividade mais rentável da Amazônia, exceto em áreas muito específicas da pecuária.

Figura 7. Evolução da Área de Pecuária Segundo Preço de Carbono

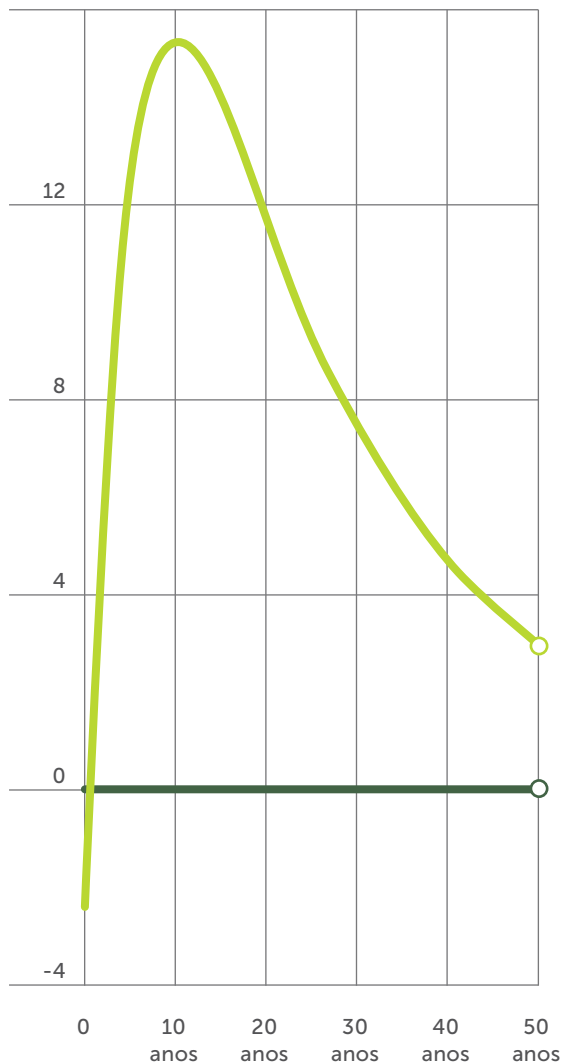


A Figura 8 mostra os fluxos financeiros para cada cenário. Com US\$ 20 por tonelada de CO₂, a Amazônia captura algo na ordem de 16 Gt CO₂ em 30 anos, gerando uma receita de US\$ 320 bilhões. Observa-se que é um cenário em que a atividade de restauro remunera melhor do que a pecuária, mesmo considerando que o restauro está associado a uma janela de oportunidade de aproximadamente três décadas.

Figura 8. Pagamentos esperados por preço de carbono

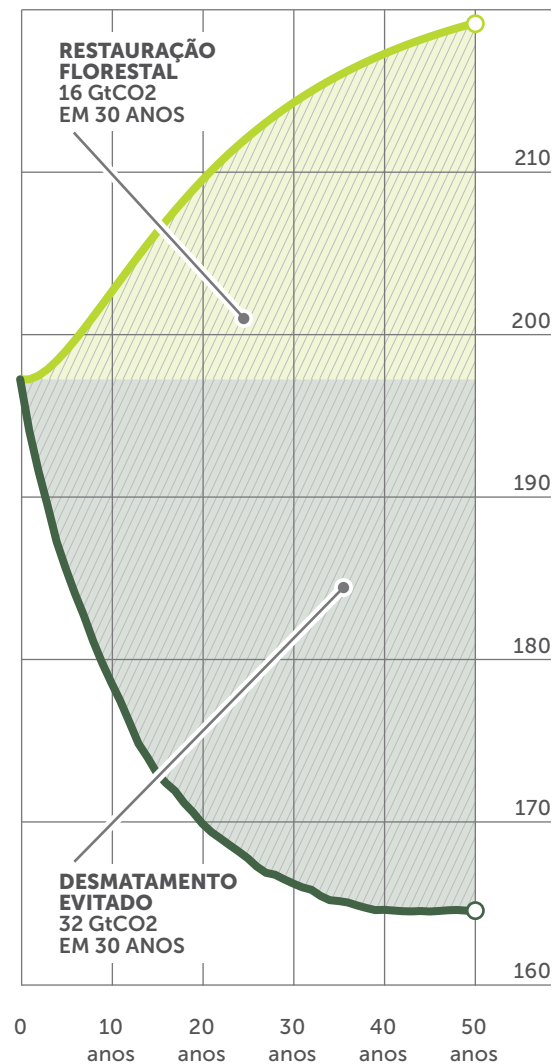
Total de transferência (bilhões US\$)

● US\$ 20 ● Sem pagamento



Estoque de carbono (bilhões CO₂)

● US\$ 20 ● Sem pagamento



A Figura 8 também mostra as trajetórias de carbono estocado na Amazônia. No cenário em que não há pagamentos externos por carbono, a continuidade das emissões associadas ao desmatamento determina uma perda de estoque de carbono na floresta de 32 Gt CO₂ em 30 anos. No cenário de US\$ 20 por tonelada de CO₂, por outro lado, há um aumento do estoque de carbono de 16 Gt CO₂ em 30 anos devido ao restauro florestal. Dessa forma, há uma ampliação do efeito do mecanismo de carbono pelo incentivo que produz sobre a eliminação do desmatamento, criando uma variação total em relação ao cenário sem transferências internacionais de 48 Gt CO₂ em 30 anos.

O QUE SIGNIFICA US\$ 20 POR TONELADA DE CO₂?

O mecanismo proposto está focado na remoção de carbono da atmosfera via restauração florestal, o que contribui diretamente com a agenda de mitigação climática. É uma operação de carbono que, pelo seu foco na captura e abordagem jurisdicional, produz efeitos comparáveis ao que está embutido nos mercados regulados de carbono, que têm objetivos semelhantes. É um arranjo que é bastante diferente de mecanismos como o Fundo Amazônia ou a Coalizão LEAF, por exemplo, que focam no carbono associado à redução de desmatamento e, portanto, na redução das emissões de gases de efeito estufa associadas.

Nesse sentido, a obtenção de um valor de US\$ 20 por tonelada de CO₂ capturado na simulação aponta para o grande potencial do restauro florestal em países tropicais como parte relevante da carteira de soluções para a crise do clima. Entre o valor de US\$ 20 e a faixa de US\$ 90 observados no mercado de *cap-and-trade* europeu, há enorme espaço de negociação. O potencial de captura de até 16 Gt CO₂ em 30 anos só no bioma Amazônia aponta que soluções com base na natureza podem, de fato, ajudar a equacionar o orçamento de carbono na mesma rapidez da transição energética. Provavelmente, há potenciais relevantes a custos viáveis em outros países tropicais.

CONCLUSÃO

A análise mostra que preços de carbono acima de US\$ 20 por tonelada de CO₂ podem desempenhar um papel vital na preservação da Amazônia, impedindo o desmatamento e estimulando a restauração florestal e a captura de 16 Gt CO₂, ao longo das próximas três décadas. Nesse cenário, a Amazônia passaria de uma fonte líquida de emissões para um removedor significativo de CO₂, com grande parte das áreas, anteriormente, destinadas à pecuária sendo, agora, direcionadas para a recuperação natural da floresta. O efeito total em relação ao cenário base é de 48 Gt CO₂, considerando também os 32 Gt CO₂ de reduções de emissões associadas ao desmatamento evitado. A receita proveniente da venda de créditos de carbono, totalizando US\$ 320 bilhões em 30 anos, ultrapassaria largamente as perdas da pecuária. Vale destacar que esses resultados resistem à incerteza tanto nos preços quanto nos parâmetros modelados. E que esse valor é um piso, principalmente, comparado aos US\$ 90 por tonelada de CO₂ negociados no mercado europeu.

Nesse processo, o mecanismo de carbono propicia uma reconexão da Amazônia com sua vocação florestal. Hoje em dia, a vasta maioria da população na região encontra-se em centros urbanos. O emprego agropecuário está caindo, e a bioeconomia tem ganhado fôlego com o desenvolvimento de vários produtos compatíveis com a floresta, com grande potencial de crescimento⁽⁸⁾. Ou seja, o restauro florestal em escala e os recursos associados podem catalisar uma transformação profunda na região, restaurando a integração das pessoas com a natureza, em um cenário de prosperidade socioeconômica.

(8) Coslovsky, Salo. Oportunidades para Exportação de Produtos Compatíveis com a Floresta na Amazônia Brasileira. Amazônia 2030, 2021. bit.ly/48qp9LV

AUTORES

Juliano Assunção
José Alexandre Scheinkman

O trabalho se beneficiou de comentários e sugestões de Beto Veríssimo, Camila Calado, Giovanna Miranda, Natalie Hoover El Rashidy, Salo Coslovsky e demais participantes das reuniões virtuais do projeto Amazônia 2030, a quem também agradecemos

Citação sugerida

Assunção, Juliano e Scheinkman, José Alexandre. Carbono e o Destino da Amazônia. Amazônia 2030, 2023

Este relatório contou com apoio financeiro do Instituto Clima e Sociedade (ICS)

Os dados e opiniões expressos neste trabalho são de responsabilidade dos autores e não refletem necessariamente a opinião dos financiadores deste estudo

PALAVRAS CHAVE

Amazônia, Desmatamento, Mercado de Carbono

SOBRE O AMAZÔNIA 2030

O projeto AMAZÔNIA 2030 é uma iniciativa de pesquisadores brasileiros para desenvolver um plano de desenvolvimento sustentável para a Amazônia brasileira. Nosso objetivo é oferecer condições para que a região possa alcançar um patamar maior de desenvolvimento econômico e humano e atingir o uso sustentável dos recursos naturais em 2030

ASSESSORIA DE IMPRENSA

O Mundo Que Queremos

amazonia2030@omundoquequeremos.com.br

Jornalistas responsáveis: Gustavo Nascimento/O Mundo Que Queremos e Camila Calado – CPI/PUC-Rio
Design e Infografia: Marco Vergotti/O Mundo Que Queremos

CONTATO

contato@amazonia2030.org.br

gustavo.nascimento@omundoquequeremos.com.br

SETEMBRO 2023



INSTITUIÇÕES PARCEIRAS

