


EMISSIONES DE CARBONO EM ÁREAS DEGRADADAS: FATORES, IMPACTOS E MITIGAÇÃO

CARBON EMISSIONS IN DEGRADED AREAS: FACTORS, IMPACTS AND MITIGATION

EMISIONES DE CARBONO EN ÁREAS DEGRADADAS: FACTORES, IMPACTOS Y MITIGACIÓN

 <https://doi.org/10.56238/arev7n11-070>

Data de submissão: 10/10/2025

Data de publicação: 10/11/2025

Odair José de Oliveira

Mestrando no PPGEAA

Instituição: Universidade Federal do Pará (UFPA) - Campus Castanhal

E-mail: odairoliveira@me.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-6950-3721>

Gabriel Brito Costa

Doutor em Ecologia Aplicada

Instituição: Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) - Campus Santarém

E-mail: gabrielbritocosta@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5254-489X>

André Luiz Pereira da Silva

Doutor em Agronomia (Ciência do Solo)

Instituição: Universidade Federal do Pará (UFPA) - Campus Castanhal

E-mail: andreengagronomo@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4793-4690>

José Guilherme dos Santos Fernandes

Doutor em Letras

Instituição: Universidade Federal do Pará (UFPA) - Campus Castanhal

E-mail: guilhermeprofufpa@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9946-4961>

Elizângela Maria Gonçalves Silva

Mestrando em Estudos Antrópicos na Amazônia

Instituição: Universidade Federal do Pará (UFPA) - Campus Castanhal

E-mail: elizangela.silva@castanhal.ufpa.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-1620-5436>

RESUMO

A emissão de dióxido de carbono (CO₂) proveniente de áreas degradadas constitui uma das principais fontes antrópicas de gases de efeito estufa, agravando as mudanças climáticas globais. Este artigo tem como objetivo analisar os fatores que influenciam a emissão de carbono em áreas degradadas, discutir seus impactos ambientais e climáticos, e apresentar estratégias de mitigação e recuperação. Por meio de uma revisão abrangente, identificou-se que atividades como desmatamento, queimadas e práticas

agrícolas insustentáveis são os principais vetores de degradação, transformando solos e vegetação, antes sumidouros de carbono, em fontes emissoras. Os impactos incluem perda de biodiversidade, alteração do regime hídrico e intensificação do efeito estufa. Como estratégias de mitigação, destacam-se a restauração ecológica, a adoção de práticas agrícolas sustentáveis (como ILPF e plantio direto) e a implementação de políticas públicas eficazes, como o Plano ABC+ e o Código Florestal. Conclui-se que a recuperação dessas áreas é crucial não apenas para a redução das emissões, mas também para a promoção da resiliência climática, conservação da biodiversidade e desenvolvimento socioeconômico sustentável.

Palavras-chave: Emissões de CO₂. Áreas Degradadas. Mudanças Climáticas. Restauração Ecológica. Mitigação.

ABSTRACT

The emission of carbon dioxide (CO₂) from degraded areas is one of the main anthropogenic sources of greenhouse gases, exacerbating global climate change. This article aims to analyze the factors influencing carbon emissions in degraded areas, discuss their environmental and climatic impacts, and present mitigation and recovery strategies. Through a comprehensive review, it was identified that activities such as deforestation, fires, and unsustainable agricultural practices are the main drivers of degradation, transforming soils and vegetation, once carbon sinks, into emission sources. The impacts include biodiversity loss, alteration of the water regime, and intensification of the greenhouse effect. Mitigation strategies highlighted include ecological restoration, the adoption of sustainable agricultural practices (such as ILPF and no-till farming), and the implementation of effective public policies, such as the ABC+ Plan and the Forest Code. It is concluded that the recovery of these areas is crucial not only for emission reduction but also for promoting climate resilience, biodiversity conservation, and sustainable socioeconomic development.

Keywords: CO₂ Emissions. Degraded Areas. Climate Change. Ecological Restoration. Mitigation.

RESUMEN

La emisión de dióxido de carbono (CO₂) procedente de zonas degradadas constituye una de las principales fuentes antropogénicas de gases de efecto invernadero, agravando el cambio climático global. Este artículo tiene como objetivo analizar los factores que influyen en las emisiones de carbono en áreas degradadas, discutir sus impactos ambientales y climáticos, y presentar estrategias de mitigación y recuperación. A través de una revisión integral, se identificó que actividades como la deforestación, los incendios y las prácticas agrícolas insostenibles son los principales vectores de degradación, transformando suelos y vegetación, antes sumideros de carbono, en fuentes de emisiones. Los impactos incluyen la pérdida de biodiversidad, el cambio en el régimen hídrico y la intensificación del efecto invernadero. Las estrategias de mitigación incluyen la restauración ecológica, la adopción de prácticas agrícolas sostenibles (como ILPF y siembra directa) y la implementación de políticas públicas efectivas, como el Plan ABC+ y el Código Forestal. Se concluye que la recuperación de estas áreas es crucial no sólo para reducir las emisiones, sino también para promover la resiliencia climática, la conservación de la biodiversidad y el desarrollo socioeconómico sostenible.

Palabras clave: Emisiones de CO₂. Áreas Degradadas. Cambio Climático. Restauración Ecológica. Mitigación.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o tema mudanças climáticas têm ganhado destaque. Quando o objeto é o clima, sua abordagem é feita nos mais diversos aspectos. É importante destacar que a Agenda 2030 incluiu o tema governança no ODS 13. Especificamente ao tema de pesquisa, pode-se afirmar que a governança climática, em sentido amplo, é um dos objetivos de desenvolvimento sustentável da Agenda 2030. Isso porque, ao trazer suas diretrizes, há “tomada de medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos” (Vasconcelos et al., 2025).

A emissão de dióxido de carbono (CO₂) é um dos principais fatores que impulsionam o aquecimento global e as mudanças climáticas, assunto em destaque no cenário nacional. O CO₂, enquanto gás de efeito estufa, está naturalmente presente na atmosfera, mas seu acúmulo em excesso, sobretudo por atividades antrópicas, tem causado desequilíbrios significativos no sistema climático terrestre (IPCC, 2021; Medeiros et al., 2025).

Tradicionalmente, florestas e solos têm funcionado como importantes sumidouros de carbono, absorvendo e armazenando esse elemento por meio da fotossíntese e da matéria orgânica do solo (LAL, 2004). No entanto, quando essas áreas são degradadas, seja por desmatamento, queimadas, uso intensivo do solo, mineração ou práticas agrícolas insustentáveis, ocorre a liberação de grandes quantidades de CO₂ na atmosfera (FAO, 2020).

Áreas degradadas, especialmente em regiões tropicais, representam um dos maiores desafios ambientais da atualidade. A perda da cobertura vegetal, a compactação e a erosão do solo, bem como a redução da biodiversidade, transformam essas regiões em fontes significativas de emissão de carbono. Estudos apontam que solos degradados podem perder entre 20% e 70% de seu carbono original, agravando ainda mais a crise climática global (Medeiros et al., 2025; Silva & Fernandes, 2025; Guo & Gifford, 2002; Don et al., 2011).

Diante desse cenário, compreender os mecanismos que regulam a emissão de CO₂ em áreas degradadas, bem como seus impactos ambientais e climáticos, é essencial para a formulação de políticas públicas eficazes e estratégias de restauração ecológica.

O objetivo do trabalho foi analisar os principais fatores que influenciam a emissão de carbono em áreas degradadas e discutir os impactos gerados, além de apresentar medidas mitigadoras que possam contribuir para a recuperação desses ecossistemas e a redução das emissões atmosféricas.

1.1 EMISSÃO DE CO₂ EM ÁREAS DEGRADADAS

A degradação ambiental, especialmente do solo e da cobertura vegetal, é uma das principais causas da liberação de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera. Áreas degradadas resultam, na

maioria dos casos, de atividades humanas como desmatamento, queimadas, agricultura intensiva, pecuária extensiva, mineração e urbanização desordenada (FAO, 2020; IPCC, 2021). Tais práticas provocam a perda de matéria orgânica no solo, a morte de microrganismos e plantas, além da exposição do solo à erosão e à radiação solar, o que acelera a oxidação do carbono armazenado.

No panorama nacional, foco principal tem recaído ao desmatamento essa causa. No entanto, evidências científicas recentes demonstram que a degradação se tornou uma fonte de emissões tão significativa quanto ou até maior que o corte raso em diversos anos. Um estudo seminal de Aragão et al. (2018) analisou o período de 2010 a 2016 e concluiu que a degradação florestal (por fogo e extração madeireira) foi responsável por mais de 70% das emissões brutas de carbono da Amazônia brasileira. Esta descoberta indica uma mudança profunda no perfil das emissões, sugerindo que mesmo com a queda nas taxas de desmatamento, as emissões totais podem permanecer altas devido à degradação crônica e aos incêndios.

A Amazônia é o epicentro deste fenômeno, onde a combinação de exploração madeireira predatória, ciclos de seca e o uso do fogo cria um ciclo vicioso de perda de carbono. Segundo Brasil (2025) o desmatamento por corte raso na Amazônia de agosto/24 a julho/25 atingiu seu menor patamar histórico, com queda de 8%. No entanto, o total de alertas (que inclui áreas queimadas) teve uma alta de 4%, impulsionada principalmente por incêndios florestais extremos, influenciados pelas mudanças climáticas.

Segundo O Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (2025) apresentou que a degradação na Amazônia apresentou uma diminuição notável no comparativo mensal entre julho de 2024 e julho de 2025, a tendência anual sugere uma estabilidade com um leve aumento geral. O Amazonas e o Pará continuam sendo os estados com a maior proporção de áreas degradadas

Os dados quantitativos para a região amazônica são alarmantes. Em uma análise de curto prazo, como a variação observada entre julho de 2024 e julho de 2025, detectamos uma redução expressiva de 45% na área degradada. Isso poderia ser interpretado como uma resposta positiva imediata à mitigação de fatores de estresse em diversos compartimentos do sistema, indicando um potencial fase de atenuação do impacto ou de recuperação ecológica pontual.

Ao estender a análise para uma escala temporal mais abrangente, como o ciclo anual de agosto de 2023 a julho de 2024 versus agosto de 2024 a julho de 2025, notamos que a área total degradada permaneceu em um patamar similar. Esta estabilidade ou discreto incremento no biomarcador de estresse em uma perspectiva anual sugere que, apesar das flutuações mensais favoráveis, o estresse crônico sobre o sistema persiste em níveis consideráveis.

1.2 SOLOS COMO FONTE DE CARBONO

Os solos brasileiros representam um dos maiores reservatórios terrestres de carbono orgânico do planeta, desempenhando um papel crítico tanto no balanço nacional de gases de efeito estufa quanto na saúde dos ecossistemas e na produtividade agropecuária. Dados recentes do projeto MapBiomass Solo, a iniciativa mais abrangente e tecnologicamente avançada de mapeamento de carbono no país, revisaram para cima as estimativas históricas, apontando para um estoque total de aproximadamente 71,5 Petagramas de carbono (Pg C) armazenados até um metro de profundidade. Este colossal reservatório está distribuído de forma heterogênea entre os biomas, com a Amazônia respondendo sozinha por 42,3 Pg C (59,2% do total nacional), seguida pelo Cerrado, com 15,5 Pg C (21,7%), e pela Mata Atlântica, com 6,3 Pg C (8,8%), evidenciando a preponderância dos biomas tropicais na regulação do ciclo do carbono no país (MAPBIOMASS SOLO, 2023).

A histórica trajetória de mudança do uso da terra no Brasil tem transformado esse reservatório em uma significativa fonte de emissões. A conversão de vegetação nativa para atividades agropecuárias, principalmente por meio do desmatamento, provoca a oxidação e a perda acelerada do carbono orgânico do solo (COS). Conforme demonstrado pelas edições do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), o setor de Mudança de Uso da Terra manteve-se como a principal fonte de emissões líquidas do Brasil, tendo liberado 1,2 Gt CO₂e (Gigatoneladas de CO₂ equivalente) em 2021 (OBSERVATORIO DO CLIMA, 2022).

O potencial de reversão desta lógica e a transformação dos solos agrícolas em sumidouros líquidos de carbono tornam-se estratégicos. O instrumento central para isso é o Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020-2030 (Plano ABC+), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Sua meta principal é expandir a adoção de tecnologias produtivas sustentáveis em 72,68 milhões de hectares até 2030, com foco específico na recuperação de 30 milhões de hectares de pastagens degradadas – uma das práticas mais efetivas para sequestrar carbono –, na ampliação do Sistema de Plantio Direto em 12,5 milhões de ha e na implementação de 4,0 milhões de ha de sistemas integrados, como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) (MAPA, 2022)

1.3 VEGETAÇÃO DEGRADADA E QUEIMADAS

A remoção da vegetação, principalmente por desmatamento e queimadas, libera de forma imediata e intensa o carbono armazenado na biomassa viva. As queimadas, em particular, representam um grande problema nas regiões tropicais, como a Amazônia e o Cerrado, onde a prática ainda é comum como método de “limpeza” de áreas para agricultura (ARAGÃO *et al.*, 2018). Além da

liberação direta de CO₂, as queimadas emitem outros gases de efeito estufa, como metano (CH₄) e óxidos de nitrogênio (NO_x), agravando ainda mais os impactos climáticos.

1.4 ANALISE COMPARATIVA ENTRE ÁREAS CONSERVADAS E DEGRADADAS

Estudos comparativos mostram que áreas florestais conservadas atuam como sumidouros líquidos de carbono, enquanto áreas degradadas atuam como fontes. Por exemplo, florestas tropicais maduras podem absorver entre 1,2 a 2,4 toneladas de CO₂ por hectare por ano, enquanto áreas degradadas podem emitir entre 4 a 7 toneladas de CO₂ por hectare por ano, dependendo do grau de degradação e do uso atual do solo (Pan *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2022).

Esses dados evidenciam que a degradação ambiental não apenas prejudica os ecossistemas locais, mas também contribui significativamente para as emissões globais de gases de efeito estufa, reforçando a necessidade de políticas públicas voltadas à preservação e recuperação ambiental.

1.5 IMPACTOS AMBIENTAIS E CLIMÁTICOS

A emissão de CO₂ proveniente de áreas degradadas gera uma série de impactos que vão além da elevação da temperatura global. Esses efeitos se manifestam em escalas local, regional e planetária, afetando diretamente o equilíbrio ecológico, a biodiversidade e os ciclos naturais do planeta. O aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE), principalmente o CO₂, intensifica o efeito estufa e acelera as mudanças climáticas, com consequências cada vez mais perceptíveis nas últimas décadas (IPCC, 2021).

1.5.1 Aumento do Efeito Estufa e Aquecimento Global

A contribuição das áreas degradadas para o aquecimento global é significativa. Quando solos e florestas perdem sua capacidade de armazenamento de carbono, transformam-se em fontes emissoras. Esse excesso de CO₂ na atmosfera impede que parte da radiação infravermelha emitida pela Terra escape para o espaço, resultando no aumento da temperatura média global. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021) aponta que a atividade humana já elevou a temperatura média global em cerca de 1,1 °C desde os tempos pré-industriais, sendo a degradação do solo e o desmatamento fatores-chave nesse processo.

1.6 PERDA DE BIODIVERSIDADE

A degradação ambiental está frequentemente associada à perda de habitats naturais, o que leva à redução da biodiversidade. Muitas espécies dependem de ecossistemas florestais e solos saudáveis para sua sobrevivência. Quando há destruição da vegetação nativa, a fauna e a flora locais perdem suas

condições ideais de existência, ocasionando extinções locais e desequilíbrios ecológicos (HANSEN *et al.*, 2013). Além disso, a perda de biodiversidade compromete serviços ecossistêmicos essenciais, como a polinização, o controle biológico de pragas e o ciclo de nutrientes.

1.7 ALTERAÇÃO DO MICROCLIMA E DOS REGIMES HÍDRICOS

A remoção da cobertura vegetal modifica significativamente o microclima local, aumentando a temperatura, reduzindo a umidade relativa do ar e alterando o regime de chuvas. Florestas atuam como reguladoras climáticas naturais ao promoverem a evapotranspiração, que contribui para a formação de nuvens e precipitações. Em áreas degradadas, esse ciclo é interrompido, tornando o clima mais seco e menos estável (ARAGÃO *et al.*, 2018; LENTZ *et al.*, 2019). Além disso, a diminuição da infiltração de água no solo agrava problemas como desertificação e escassez hídrica.

1.8 DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO E DA ÁGUA

A perda de matéria orgânica nos solos, associada à degradação, resulta em menor capacidade de retenção de água e nutrientes. Isso compromete a fertilidade do solo e a produtividade agrícola, aumentando a dependência de fertilizantes químicos e tornando os sistemas agrícolas menos sustentáveis (LAL, 2004). Por sua vez, a erosão e o carreamento de sedimentos e poluentes para corpos hídricos afetam a qualidade da água e os ecossistemas aquáticos.

1.9 ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO E RECUPERAÇÃO

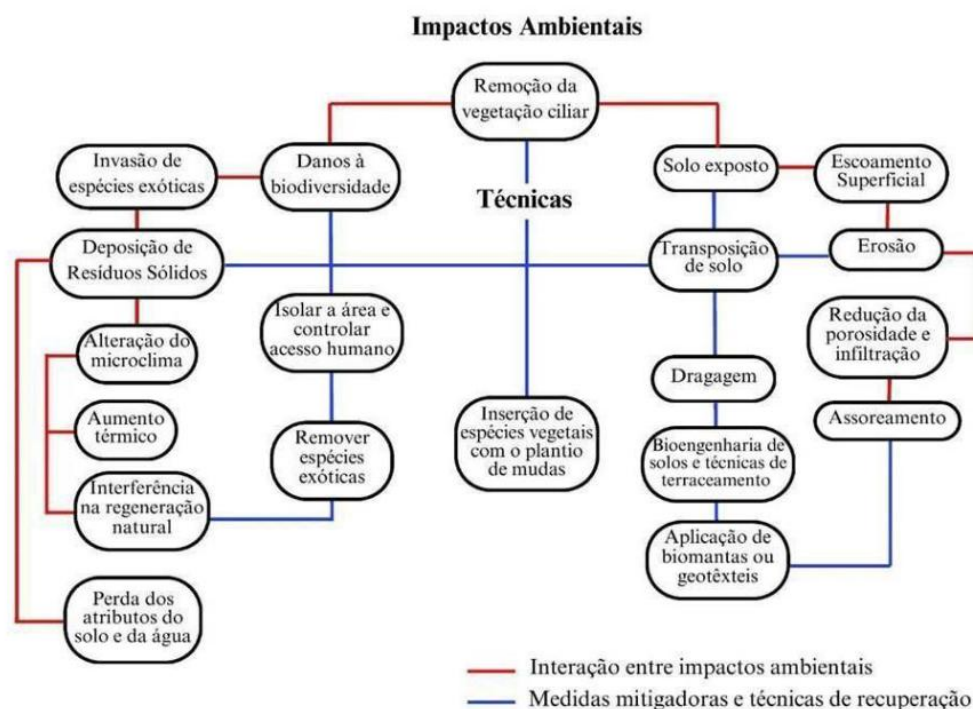
Diante da crescente emissão de dióxido de carbono (CO₂) em áreas degradadas e seus impactos ambientais e climáticos, torna-se essencial adotar estratégias de mitigação e recuperação que promovam a restauração ecológica e a captura de carbono atmosférico. Tais estratégias envolvem ações integradas que combinam tecnologias sustentáveis, políticas públicas e participação comunitária, buscando restabelecer os serviços ecossistêmicos, recuperar a fertilidade do solo e contribuir para a neutralização das emissões de gases de efeito estufa.

1.10 RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA E REFLORESTAMENTO

Uma das estratégias mais eficazes para mitigar as emissões de CO₂ é a restauração da vegetação nativa. O reflorestamento e a regeneração natural assistida contribuem para o aumento do sequestro de carbono atmosférico por meio da fotossíntese, ao mesmo tempo em que restauram habitats e melhoram a biodiversidade (CHAZDON, 2017). Iniciativas como o Desafio de Bonn, que visa restaurar 350 milhões de hectares de terras degradadas até 2030, demonstram o potencial global dessas práticas. No Brasil, o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg) tem como meta restaurar 12

milhões de hectares até 2030, contribuindo para o cumprimento do Acordo de Paris (MMA, 2017). A seguir está exemplificado os impactos causados no município de Imperatriz – MA,

Figura 1 -Impactos ambientais identificados no diagnóstico e medidas mitigadoras para restauração ecológica do trecho de mata ciliar do Rio Tocantins, Imperatriz –MA



Fonte: Oliveira et al., (2023).

1.11 PRÁTICAS AGRÍCOLAS SUSTENTÁVEIS E MANEJO DO SOLO

O uso de práticas agrícolas sustentáveis é essencial para restaurar o carbono do solo. Técnicas como plantio direto, rotação de culturas, adubação verde, sistemas agroflorestais e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) promovem a manutenção da matéria orgânica no solo e aumentam sua capacidade de retenção de carbono (LAL, 2004; CERRI *et al.*, 2007). Tais sistemas também reduzem a necessidade de desmatamento, melhoram a produtividade e fortalecem a resiliência dos agricultores frente às mudanças climáticas.

Quadro 1. - Estatística descritiva da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo, nos diferentes manejos: SPCR (Sem Preparo Com Resíduo), SPSR (Sem Preparo Sem Resíduo) e CPSR (Com Preparo Sem Resíduo).

Tratamento	Média	DP	EP	Mínimo	Máximo	CV %
Emissão de CO ₂ do solo (μmol m ⁻² s ⁻¹)						
SPCR	2,16	0,66	0,06	0,54	4,26	30,55
SPSR	2,90	1,59	0,15	0,19	11,89	54,83
CPSR	3,22	1,87	0,17	0,81	13,10	58,07
Temperatura do solo (°C)						
SPCR	24,28	0,76	0,07	22,90	29,00	3,13
SPSR	26,26	1,05	0,10	23,70	29,64	4,00
CPSR	26,54	1,53	0,14	23,34	31,54	5,76
Umidade do solo (% de volume)						
SPCR	44,13	9,04	0,83	27,00	67,00	20,48
SPSR	36,13	12,31	1,13	19,00	58,00	34,07
CPSR	27,50	8,58	0,79	14,00	66,00	31,20

n = 120; DP: desvio-padrão; EP: erro-padrão da média; e CV: coeficiente de variação.

Fonte: Moitinho *et al.*, (2013).

De acordo com o quadro 1, Varella *et al.* (2004) observaram resultados semelhantes em estudos desenvolvidos em solos com pastagem de braquiária em áreas de cerrado na região central do Brasil, onde o fluxo de CO₂ oscilou de 1,6 para 6,2 μmol m⁻² s⁻¹, depois da adição artificial de água no solo por simulação de chuvas. Panosso *et al.*, (2009), em estudos conduzidos em área de cana queimada, no interior do Estado de São Paulo, também observaram aumento significativo na FCO₂, após uma precipitação de 21 mm.

2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A emissão de dióxido de carbono (CO₂) em áreas degradadas representa uma das principais contribuições antrópicas para as mudanças climáticas globais. A degradação de solos e ecossistemas naturais, seja por desmatamento, queimadas, uso agrícola intensivo ou ocupação desordenada, compromete a capacidade dos ambientes de funcionarem como sumidouros de carbono, transformando-os em fontes emissoras.

Esses processos não apenas intensificam o efeito estufa e o aquecimento global, mas também causam perdas expressivas de biodiversidade, alterações no ciclo hidrológico e degradação da qualidade do solo e da água.

As evidências científicas demonstram que a restauração ecológica, o uso de práticas agrícolas sustentáveis, a formulação de políticas públicas eficazes e o monitoramento contínuo são estratégias viáveis e necessárias para mitigar os impactos da degradação ambiental.

A recuperação de áreas degradadas, além de reduzir as emissões de CO₂, contribui para a resiliência climática, o bem-estar humano e a conservação da biodiversidade. Diante da urgência imposta pelas mudanças climáticas, é fundamental que governos, instituições científicas, setor

produtivo e sociedade civil atuem de forma integrada na promoção da recuperação de ecossistemas e no combate à degradação ambiental.

Investir em restauração e manejo sustentável não é apenas uma ação ambiental, mas também uma estratégia de desenvolvimento socioeconômico e climático de longo prazo.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Estudos Antrópicos na Amazônia, laboratório de antropização – L'ANTRO vinculado a Universidade Federal do Pará, Campus Castanhal pela oportunidade de desenvolver o trabalho.

REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, L. E. O. C. et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*, v. 9, n. 1, p. 536, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Em 12 meses, desmatamento na Amazônia registra segunda menor taxa da série histórica e menor índice de corte raso da floresta. Brasília, 8 nov. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/em-12-meses-desmatamento-na-amazonia-registra-segunda-menor-taxa-da-serie-historica-e-menor-indice-de-corte-raso-da-floresta>. Acesso em: 8 ago. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020-2030 (Plano ABC+). 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-2022-2030>. Acesso em: 03 de ago 2025.
- CERRI, C. E. P. et al. Brazil's sugarcane ethanol: developments so far and challenges for the future. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, v. 1, n. 3, p. 270–282, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1002/bbb.32>.
- CHAZDON, R. L. Restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science*, v. 356, n. 6344, p. 1055–1056, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aan5610>.
- DON, A. et al. Land-use change to bioenergy production reduces carbon storage: a meta-analysis. *GCB Bioenergy*, v. 4, n. 2, p. 129–138, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01135.x>.
- ELISE ALVES VASCONCELOS, P.; VASCONCELOS, P. S. .; PEÑA DE MORAES, G. Transição energética como instrumento da tomada de decisão na governança climática. *Revista Interdisciplinar do Direito - Faculdade de Direito de Valença*, [S. l.], v. 23, n. 1, p. e20252305, 2025. DOI: 10.24859/RID.2025v23n1.1718. Disponível em: <https://revistas.faa.edu.br/FDV/article/view/1718>. Acesso em: 8 ago. 2025.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Global Forest Resources Assessment 2020 – Key Findings*. Rome: FAO, 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/forest-resources-assessment>. Acesso em: 28 maio 2025.
- GUO, L. B.; GIFFORD, R. M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, v. 8, n. 4, p. 345–360, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x>.
- HANSEN, M. C. et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, v. 342, n. 6160, p. 850–853, 2013.
- IMAZON. Boletim do Desmatamento (SAD) - Julho de 2025. [S. l.], ago. 2025. Disponível em: https://imazon.org.br/wp-content/uploads/2025/08/INFBoletimSAD_Jul2025_A3_420x297_ImpreGrafRapida.pdf. Acesso em: 10 ago 2025

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, v. 304, p. 1623–1627, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1097396>.

MAPBIOMAS SOLO. Coleção 1 dos Mapas de Estoque de Carbono Orgânico do Solo do Brasil. 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 07 de ago 2025.

MEDEIROS, M. E. N. O. de; SIMÕES, A. da S.; REGALA, P. D. S.; SOUZA, C. P. de. Cenários climáticos e fatores antropogênicos no semiárido brasileiro: emissão de CO₂, seca, desmatamento e queimadas. *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, [S. l.], v. 17, n. 5, p. e8291, 2025. DOI: 10.55905/cuadv17n5-018. Disponível em: <https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/view/8291>. Acesso em: 9 ago. 2025.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg). Brasília: MMA, 2017. Disponível em: <https://www.mma.gov.br>. Acesso em: 28 maio 2025.

OLIVEIRA, Railton Moraes; SOUZA, Argel Costa; GOMES, Gabriele Silva; RAABE, Joabel; SCHNEIDER, Chaiane Rodrigues; ANGELO, Dalton Henrique. Diagnóstico ambiental e proposta de restauração ecológica em mata ciliar no rio Tocantins. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, [S. l.], v. 17, p. e12285, 2024. DOI: 10.17765/2176-9168.2024v17n.Especial.e12285. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/12285>. Acesso em: 8 ago. 2025.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) - 8ª edição. 2022. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/>. Acesso em: 05 ago 2025.

PAN, Y. et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, v. 333, p. 988–993, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1201609>.

PANOSSO, A.R.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G.T. & LA SCALA JR., N. Spatial and temporal variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. *Soil Till. Res.*, 105:275-282, 2009.

SILVA, ALP da, & FERNANDES, JG dos S. (2025). Etnopedologia na Amazônia: saberes tradicionais e pedologia. *Revista De Gestão - RGSA*, 19 (8), e013136. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n8-037>

SILVA, R. F. da et al. Carbon fluxes in Amazon degraded lands: the role of soil and vegetation recovery. *Biogeosciences*, v. 19, p. 2027–2042, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-19-2027-2022>.

SANTOS, Daniel; LIMA, Manuele; VILHENA, Agatha; VERÍSSIMO, Beto; SILVA, Caíque. Fatos da Amazônia 2025: Desmatamento e Degradação Florestal na Amazônia Legal – Agosto 2024 a Julho 2025. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2025. Disponível em: <https://imazon.org.br/wp-content/uploads/2025/05/FatosAMZ2025.pdf>. Acesso em: 05 ago.2025.

VARELLA, R.F.; BUSTAMANTE, M.M.C.; PINTO, A.S.; KISSELLE, K.W.; SANTOS, R.V.; BURKE, R.A.; ZEPP, R.G. & VIANA, L.T. Soil fluxes of CO₂, CO, NO and N₂O an old pasture and from native savanna in Brazil. *Ecol. Applic.*, 14:221-231, 2004.