



UnB

Universidade de Brasília

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável - PPGCDS/UnB

Curso de Mestrado Acadêmico

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

O preço invisível do desmatamento no Cerrado: uma estimativa a partir da perda de biomassa na região do Matopiba.

Linha de pesquisa: Território, Meio Ambiente e Sociedade.

Mestranda: Briza da Silva Aguiar

Orientador: Gustavo Macedo de Mello Baptista

Brasília, dezembro de 2025.

Briza da Silva Aguiar

O preço invisível do desmatamento no Cerrado: uma estimativa a partir da perda de biomassa na região do Matopiba.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável, da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Desenvolvimento Sustentável.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista, UnB

Orientador

Dra. Cristiane Gomes Barreto, UnB

Examinadora Interna

Dr. Fabiano Toni, UnB

Examinador Interno

Dr. Rubens do Amaral, GDF

Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho não seria possível sem o apoio e contribuição de diversas pessoas. Por isso, manifesto meus agradecimentos:

À minha família, em especial à minha mãe e ao meu pai, por me ensinarem desde cedo a importância da educação e do conhecimento. O apoio incondicional deles foi o alicerce para a concretização desta jornada.

À minha companheira, por ser uma fonte constante de amor, apoio e compreensão. Tenho sorte de compartilhar a vida com você.

Ao meu orientador, prof. Dr. Gustavo Baptista, por sua fundamental orientação, incentivo e ensinamentos que se estendem desde a minha graduação. Sou profundamente grata pela paciência e pela vasta contribuição que o seu conhecimento teve para minha formação.

Aos colegas do CDS, pelas contribuições e orientações que auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas de trabalho e, em particular, ao meu chefe, por toda compreensão e flexibilidade em um período desafiador de conciliação entre as atividades de trabalho e pesquisa.

Aos amigos, os de longa data e os mais recentes, que, de perto ou longe, sabem de meu carinho e apreço, e de minha alegria em poder contar com a companhia e amizade.

À Briza criança, que sempre brincou de ser cientista.

“A utopia está lá no horizonte.
Me aproximo dois passos, ela se afasta dois passos.
Caminho dez passos e o horizonte corre dez passos.
Por mais que eu caminhe, jamais alcançarei.
Para que serve a utopia?
Serve para isso: para que eu não deixe de caminhar.”

- Fernando Birri (citado por Eduardo Galeano)

RESUMO

As mudanças climáticas representam um dos principais desafios globais da atualidade. Nesse contexto, o mercado de carbono é visto como uma solução para mitigar essas emissões, embora enfrente persistentes problemas de regulação e transparência. As discussões ocorridas na COP 21 impulsionaram o desenvolvimento de mecanismos e instrumentos financeiros atrelados a este mercado. Diferentemente de nações líderes em emissões de gases de efeito estufa, onde a maior parte provém da queima de combustíveis fósseis, no Brasil, atualmente o 6º no *ranking* global, as emissões são majoritariamente resultantes do setor de uso e mudanças na cobertura da terra, relacionados a atividades agropecuárias. Entre as áreas produtivas, o destaque está na região do Matopiba (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), que é englobada 91% pelo Cerrado. Esta região, considerada a fronteira agrícola mais ativa do país, é economicamente relevante, e líder em desmatamento no Cerrado e no Brasil. O presente estudo objetivou calcular o estoque e a perda de carbono, no período de 2022 a 2024, no Matopiba para avaliar seu potencial na geração de créditos de carbono e compará-los com a rentabilidade da produção agropecuária. Para isso, foram utilizados a base de dados CCI da ESA (2022), que mapeia a biomassa acima do solo, e dados do MapBiomas, processados na plataforma *Google Earth Engine*. Os resultados indicaram que o Matopiba possuía 11.595.526.193,35 tCO₂eq em 2022. O desmatamento ocorrido entre 2022 e 2024 resultou na emissão de 175.687.660,58 tCO₂eq. O preço desse desmatamento foi estimado em R\$ 10.849.522.618,34 em créditos de carbono da agropecuária, em R\$ 22.944.808.471,74 em títulos de CPR-Verde e R\$ 9.399.289.841,03 em projetos REDD+. Em contrapartida, uma estimativa simplificada mostrou que as principais culturas da região (soja, milho e algodão) geraram cerca de R\$ 51,3 bilhões em apenas uma safra. Essa diferença de valores aponta que o preço pago por tonelada de CO₂eq em projetos de sequestro ou redução de emissão é, em geral, muito baixo para que o Cerrado consiga competir com a rentabilidade das atividades agropecuárias. Considerando a relevância econômica da produção agropecuária, bem como o retrospecto legal e histórico do bioma, a discussão sobre carbono não deve ser utilizada como um fator de substituição da produção agrícola e nem

tampouco totalmente descartada, o mercado poderá ser eficaz se estruturado para subsidiar a transição para práticas sustentáveis em áreas produtivas da região.

Palavras-chave: MATOPIBA, biomassa, carbono, sensoriamento remoto, mercado de carbono.

ABSTRACT

Climate change represents one of the main global challenges today. In this context, the carbon market is viewed as a potential solution for mitigating these emissions, although it faces persistent issues concerning regulation and transparency. The discussions held at COP 21 spurred the development of mechanisms and financial instruments linked to this market. Unlike other nations that are leaders in GHG emissions, where the majority originates from the burning of fossil fuels, in Brazil, currently the 6th globally, emissions primarily result from land use and land cover change, closely associated with agricultural and livestock activities. Among the productive areas, the Matopiba region (Maranhão, Tocantins, Piauí, and Bahia) stands out, with 91% of its area encompassed by the Cerrado biome. This region is considered the most active agricultural frontier in the country, while economically relevant, it is also the leading area for deforestation in the Cerrado and in Brazil. The present study aimed to calculate the carbon stock and carbon loss in the Matopiba region during the 2022–2024 period to assess its potential for generating carbon credits and to compare these values with the profitability of agricultural production. The ESA CCI (2022) database, which maps above-ground biomass using radar imagery, and MapBiomass data, processed on the Google Earth Engine platform, were utilized for this purpose. The results indicated that Matopiba held 11.595.526.193,35 tCO₂eq in 2022. The deforestation that occurred between 2022 and 2024 resulted in the emission of 175.687.660,58 tCO₂eq. The estimated price of this deforestation was R\$ 10.849.522.618,34 (based on Embrapa's agricultural credit estimate), in addition to R\$ 22.944.808.471,74 in CPR-Verde titles and R\$ 9.399.289.841,03 in REDD+ projects. Conversely, a simplified estimation showed that the region's main crops (soybeans, corn, and cotton) generated approximately R\$ 51,3 billion in a single harvest. This valuation discrepancy suggests that the price paid per ton of CO₂eq in sequestration or emission reduction projects is generally too low for the Cerrado to compete with the profitability of agricultural activities. Considering the economic relevance of agribusiness, as well as the legal and historical context of the biome, the carbon discussion should not be framed as a factor for replacing agricultural production, nor should it be entirely dismissed, rather, the market may be effective if

structured to subsidize the transition to sustainable practices within the region's productive areas.

Keywords: biomass, carbon, carbon market, MATOPIBA, remote sensing.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Desmatamento em vegetação primária e secundária no Matopiba de 1987 a 2024.	65
Gráfico 2 - Alterações na cobertura da terra no Matopiba do ano de 1985 a 2024. .	66
Gráfico 3 - Série temporal do desmatamento no Matopiba do ano de 1985 a 2024.	67
Gráfico 4 - Área de vegetação natural no Matopiba em 1985 e 2024.	69
Gráfico 5 - Expansão das atividades agropecuárias no Matopiba do ano de 1985 a 2024.	70
Gráfico 6 - Expansão da soja na região do Matopiba de 1985 a 2024.....	71

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Localização do Matopiba no Brasil.....	46
Mapa 2 - Quantidade de CO ₂ eq na Biomassa Acima do Solo no Matopiba em 2022 (tCO ₂ eq/ha).....	54
Mapa 3 - Quantidade de CO ₂ eq na Biomassa Abaixo do Solo nas formações Florestais no Matopiba em 2022 (tCO ₂ e/ha).....	56
Mapa 4 - Quantidade de CO ₂ eq na Biomassa Abaixo do Solo nas formações Savânicas no Matopiba em 2022 (tCO ₂ e/ha).....	Erro! Indicador não definido.
Mapa 5 - Quantidade de CO ₂ eq na Biomassa Total no Matopiba em 2022 (tCO ₂ e/ha).	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Municípios e população do Matopiba por estado.	47
Tabela 2 - Massa total e CO ₂ eq na Biomassa Viva Acima do Solo no Matopiba para o ano de 2022.	53
Tabela 3 - Estatísticas da distribuição da Biomassa Acima do Solo no Matopiba para o ano de 2022.	55
Tabela 4 - Estoque total e CO ₂ eq na Biomassa Abaixo do Solo no Matopiba para o ano de 2022.	58
Tabela 5 - Estoque de Carbono Orgânico do Solo no Matopiba para o ano de 2022 e 2023.	59
Tabela 6 - Estoque de biomassa total de serapilheira e madeira morta no Matopiba para o ano de 2022.	60
Tabela 7 - Estoque total de CO ₂ eq na serapilheira e na madeira morta no Matopiba para o ano de 2022.	61
Tabela 8 – Estoque de Biomassa e CO ₂ eq no Matopiba para o ano de 2022.	62
Tabela 9 – Estoque total de CO ₂ eq em todos os compartimentos do Matopiba para o ano de 2022.	63
Tabela 10 - Estoque de CO ₂ eq total no Matopiba para o ano de 2022.	64
Tabela 11 - Área (hectares) e porcentagem do desmatamento no Matopiba em áreas de Cerrado em 2024.	68
Tabela 12 - Ganho de área de agropecuária e perda de área florestal na região do Matopiba, entre 2022 e 2024.	72
Tabela 13 – Mecanismo e estimativa dos preços do desmatamento no Matopiba de 2022 a 2024.	73
Tabela 14 - Estimativa dos valores brutos da produção agropecuária na Safra 2024/25.	74
Tabela 15 - Estimativa dos valores brutos e líquidos da produção agropecuária na Safra 2024/25.	75
Tabela 16 - Estimativa do preço do desmatamento no Matopiba de 2022 a 2024... 76	

LISTA DE ABREVIATURAS

ACB - Ativos de Conservação do Bioma.

AGB – Biomassa Acima do Solo (*Above Ground Biomass*).

APROSOJA – Associação Brasileira dos Produtores de Soja.

BGB – Biomassa Abaixo do Solo (*Belowground Biomass*).

CAR – Cadastro Ambiental Rural.

CNA – Confederação Nacional da Agricultura.

COS - Carbono Orgânico do Solo.

CO₂ - Dióxido de Carbono.

CO₂eq - Dióxido de Carbono Equivalente.

CPR-Verde - Cédula do Produtor Rural Verde.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

ESA - Agência Espacial Europeia.

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (*Food and Agriculture Organization*).

GEE - Gases de Efeito Estufa.

Gt – Gigatoneladas.

ILPF - Integração Lavoura-Pecuária-Floresta.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária.

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.

MAPA - Ministério da Agricultura e da Pecuária.

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

PIB - Produto Interno Bruto.

Plano ABC - Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura.

POLOCENTRO – Programa de Desenvolvimento dos Cerrados.

PRODECER – Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados.

PSA - Pagamentos por Serviços Ambientais.

REDD+ - Reduzir Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal.

SAR – Radar de Abertura Sintética.

SBCE - Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa.

SR - Sensoriamento Remoto.

SUDECO – Superintendência do Desenvolvimento do Centro-Oeste.

VBPA - Valor Bruto da Produção Agropecuária.

Sumário

1. Introdução	17
2. Marco conceitual-teórico	23
2.1 O bioma Cerrado	23
2.2 O Matopiba	28
2.3 Os números da produção agropecuária no Matopiba	30
2.4 Consumo de água na produção agropecuária	32
2.5 Estratégias de produção agrícola sustentáveis	34
2.6 Sensoriamento remoto e estudos de biomassa	38
2.7 Mercado de carbono e os instrumentos financeiros	40
3. Objetivo principal	45
3.1 Objetivos específicos	45
3.2 Hipótese	45
4. Material e Métodos	46
4.1 Área de Estudo	46
4.2 Procedimentos metodológicos	48
4.3 Estimativa monetária	50
5. Resultados e discussão	53
5.1 Biomassa Viva Acima do Solo	53
5.2 Biomassa Abaixo do Solo	56
5.3 Carbono Orgânico do Solo	58
5.4 Serapilheira e madeira morta	60
5.5 Estoque Total da Biomassa e do Carbono Equivalente presente no território do Matopiba em 2022	62
5.6 Mudanças na cobertura da terra no Matopiba	64
5.7 Estimativas monetárias do preço do desmatamento e da produção agropecuária	73

6. Conclusão	81
7. Referências bibliográficas	83

1. Introdução

As mudanças climáticas são caracterizadas por transformações a longo prazo nos regimes globais de temperatura e padrões meteorológicos. Tais mudanças são oriundas tanto por processos naturais, quanto por ações humanas. Contudo, desde o século XIX, a mudança climática no planeta tem sido amplamente atribuída às ações antrópicas (ONU, 2025).

Essas atividades abrangem a emissão de gases de efeito estufa (GEE) resultante da queima de combustíveis fósseis, do desmatamento, dos incêndios florestais e das mudanças no uso e cobertura da terra. Estas ações estão provocando danos crescentes e potencialmente irreversíveis nos ecossistemas do planeta, evidenciados pela intensificação de eventos climáticos extremos como secas, ondas de calor, inundações, tempestades e ciclones (IPCC, 2023).

Consequentemente, as alterações climáticas estão impulsionando a perda e fragmentação de habitats, o que resulta em eventos de mortalidade em massa das espécies. Adicionalmente, observa-se a alteração dos ciclos hidrológicos, impactando diretamente a disponibilidade hídrica. No setor agropecuário, as secas prolongadas e chuvas excessivas afetam as safras. A crise climática também favorece o surgimento de novas pragas e patógenos, elevando a pressão sobre os sistemas produtivos alimentares (IPCC, 2022).

Ainda, a crise climática tem um impacto direto sobre a saúde pública. Tais condições podem agravar doenças respiratórias e cardiovasculares, além de aumentar a incidência de doenças tropicais transmitidas por vetores, como a dengue e a malária. Esses impactos atingem de maneira desproporcional as populações socialmente vulneráveis. Nas áreas urbanas, o fenômeno das ilhas de calor é intensificado, onde o concreto e o asfalto absorvem e retêm calor (DI GIULIO et al., 2018; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2025).

A principal forma pelas quais as atividades humanas influenciam o sistema climático é por meio da combustão de combustíveis fósseis. No panorama internacional, as nações que lideram o *ranking* de emissores de gases de efeito estufa apresentam seus volumes de emissão majoritariamente atrelados ao emprego de carvão, petróleo e gás natural para a produção de energia elétrica e para demandas industriais (IPCC, 2023).

Embora o Brasil se posicione como o sexto maior emissor global de GEE, sua principal fonte de emissão é o setor de uso e mudança da terra, diferindo das grandes potências industriais, cuja emissão é dominada pelos combustíveis fósseis. Estima-se que, no ano de 2023, o país tenha liberado na atmosfera aproximadamente 2,3 bilhões de toneladas de GEE em função do desmatamento da vegetação nativa, volume que corresponde a 46% das emissões brutas totais (SEEG, 2024).

Dado esse contexto, a emergência climática configura-se como um dos principais desafios contemporâneos da humanidade, cujos efeitos impactam todos os aspectos da vida humana e natural. Em resposta, diversas estratégias de mitigação têm sido amplamente debatidas, incluindo o desenvolvimento de políticas de baixo carbono, a expansão do uso de energias renováveis e a implementação de instrumentos de mercado, como a precificação de carbono.

Inserido no debate sobre mudanças climáticas, o mercado de carbono começou a ser discutido na década de 1960 como uma importante ferramenta para redução dos gases de efeito estufa. Sua formalização ocorreu com o Protocolo de Quioto, um tratado internacional estabelecido em 1997 com o objetivo de controlar essas emissões (SOUZA et al., 2010).

Desde sua criação, o mercado de carbono tem sido, historicamente, alvo de críticas relativas à sua regulamentação, à falta de transparência, a esquemas de venda ilegal de créditos e à sua real eficiência no combate às mudanças climáticas. A Conferência do Clima de Paris, em 2015, marcou uma mudança no panorama mundial, estimulando o aprimoramento de instrumentos e ampliando o interesse de empresas e governos em investir neste mercado (MMA, 2015; THE WORLD BANK, 2020).

Este modelo de mercado impulsionou o desenvolvimento de outras políticas e mecanismos atrelados aos créditos de carbono, visando proporcionar benefícios econômicos e sociais mais vastos e equitativamente distribuídos. Isso culminou na criação de novos dispositivos capazes de oferecer compensação aos proprietários rurais que optam por manter a vegetação nativa preservada (IPCC, 2023; OECD, 2015).

Instrumentos como a Cédula do Produtor Rural Verde (CPR-Verde), o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e os Ativos de Conservação do Bioma (ACB) representam ferramentas relevantes para promover a conservação ambiental e mitigação da emissão de GEE.

A CPR-Verde oferece amparo legal e compensação financeira ao produtor rural que contribui para a preservação, direcionando o incentivo para ações que promovam a redução de GEE, o aumento do sequestro de carbono, a diminuição do desmatamento e a proteção da biodiversidade. Sua criação é reconhecida como um marco na formalização do mercado de compensação voluntária de carbono. Seu potencial como ferramenta de incentivo a serviços ambientais é relevante, com capacidade de certificar cerca de 1,5 bilhão de toneladas em créditos de carbono anualmente (IPEA, 2021; SOUZA, 2022).

O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) é um instrumento de mercado que se baseia na remuneração pela conservação, ou seja, aqueles que preservam um determinado bem ambiental recebem incentivos daqueles que o utilizam. Seu principal objetivo é a valoração dos bens e serviços ecossistêmicos, estimulando o detentor da área natural a proteger o patrimônio comum (TNC, 2022).

Os Ativos de Conservação do Bioma visam a precificação dos serviços ecossistêmicos, atribuindo valor financeiro ao bioma nativo. Este mecanismo assegura que os proprietários recebam compensação econômica pela preservação e manutenção desses serviços (FEO, 2023).

Conforme o Fórum Econômico Mundial (WEF, 2022), os créditos de biodiversidade configuram-se como instrumentos financeiros que podem ser adotados por nações, empresas e comunidades. Seu propósito é financiar a conservação de ecossistemas, oferecendo remuneração não apenas pelo sequestro de carbono, mas pela totalidade dos serviços ecossistêmicos. Neste modelo, as populações locais são consideradas os principais agentes de conservação.

No debate sobre mecanismos de mercado, a biomassa presente no Cerrado é de alta relevância para a geração de ativos ambientais e para o mercado de carbono. Suas formações vegetais possuem grande potencial para a estocagem do carbono, concentrando-o especialmente no sistema radicular e nos solos, indicando a importância do bioma no combate às mudanças climáticas (TERRA et al. 2023).

Devido ao seu estoque de carbono, o Cerrado desempenha um papel fundamental nas discussões sobre mudanças climáticas. No entanto, apesar de ser o segundo maior bioma brasileiro, ocupando cerca de 25% do território nacional e abrigar um terço da biodiversidade global, ele está entre os biomas mais ameaçados do país (KLINK & MACHADO, 2005).

Em 2024, o Cerrado foi responsável por mais da metade do desmatamento total no país, superando a Amazônia pelo segundo ano consecutivo, conforme a análise histórica de seis anos. No total da perda de vegetação nacional naquele ano, 52,5% concentraram-se neste bioma. O vetor principal do desmatamento é a destinação dessas áreas para as atividades agropecuárias, responsável pela conversão de 97% dessas áreas na série histórica. Tal cenário é agravado pela ausência de proteção legal à vegetação do bioma Cerrado (MAPBIOMAS, 2025).

A região do Matopiba, que compreende o Tocantins e partes dos estados do Maranhão, Piauí e Bahia, possui a vasta maioria de seu território coberta pelo Cerrado, cerca de 91%, e se destaca como a fronteira agrícola e de desmatamento mais ativa do país e do bioma (EMBRAPA, s.d.; MAPA, 2023).

A atividade agropecuária desenvolvida no Matopiba é caracterizada pela intensa produção de grãos. Na safra 2023/2024, a colheita de soja atingiu 32 milhões de toneladas, representando cerca de 19% da produção total brasileira (EMBRAPA, s.d.).

Os estados do Matopiba ultrapassaram a área desmatada dos estados da Amazônia. O Maranhão ocupa a primeira posição pelo segundo ano consecutivo, com a perda de 218.298 ha de vegetação nativa. Os quatro estados que compõem a região estão entre as cinco unidades federativas que mais desmataram em 2024 (MAPBIOMAS, 2025).

Os GEE provenientes da agricultura, silvicultura e outros usos da terra correspondem a aproximadamente 23% das emissões globais (IPCC, 2023). Dessa forma, a urgência climática impõe a necessidade de ações imediatas e eficazes para combater a crise planetária. A precificação de biomas nativos emerge, nessa discussão, como uma estratégia viável para esse fim.

É fundamental valorar monetariamente os recursos naturais do Cerrado como uma estratégia para a conservação do bioma, de modo a subsidiar a tomada de decisões em políticas públicas ao considerar o custo de oportunidade percebido pela mudança da cobertura da terra e uso do solo (NOGUEIRA; MEDEIROS; ARRUDA, 2000).

Nas discussões sobre carbono, uma das principais dificuldades reside na carência de dados de estoques de carbono, na falta de padronização nos métodos de quantificação e na ausência de monitoramento. Os dados de carbono do Cerrado são

cruciais para compreender a capacidade do bioma de mitigar as mudanças climáticas, atuando como um sumidouro natural de carbono (VAN DER GAAST et al., 2018).

Considerando essa limitação metodológica, o Sensoriamento Remoto (SR) fornece importantes ferramentas para superação desses desafios. O SR é uma ciência que permite gerar informações sobre alvos da superfície terrestre sem contato físico, por meio da radiação eletromagnética com materiais terrestres (JENSEN, 2009).

Através dos dados obtidos por SR é possível estimar a biomassa vegetal e o estoque de carbono em diferentes ecossistemas. Desse modo, o mapeamento de estoques de carbono e suas variações é considerado viável. O uso combinado de dados de inventário e a biomassa estimada por dados de satélite fornecem detalhes sobre estocagem de carbono e indicam suas mudanças ao longo do tempo (CAMPBELL, 1996; SAINT-ANDRÉ; HENRY, 2012).

A FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) indica que a composição total do carbono na vegetação de um ecossistema engloba: a AGB (componente vegetal composto por troncos, galhos, copa, sementes e folhas), a BGB (componente vegetal composto por raízes vivas, com diâmetros maiores que dois milímetros), a madeira morta (biomassa lenhosa morta, madeira caída no solo e raízes mortas), a serapilheira (composto por biomassa morta com diâmetro inferior a dez centímetros, em vários estágios de decomposição por cima do solo mineral ou orgânico) e o solo (composto por solos minerais e orgânicos).

Assim, essa conjuntura abre oportunidades para o debate de novas práticas, políticas de conservação sustentáveis e instrumentos de resiliência territorial, estimulando o financiamento e apoio a projetos de conservação e descarbonização da economia.

Essas oportunidades, no entanto, são limitadas pela ausência de metodologia para o mercado de ativos da biodiversidade, pela escassez de estudos que indiquem o potencial dos biomas nativos para a geração de ativos e na inexistência de uma base de dados sobre o preço dos créditos da biodiversidade.

Dessa forma, no presente estudo avalia-se qual foi o custo financeiro do desmatamento na região do Matopiba entre os anos de 2022 e 2024, quantificando o potencial perdido na geração de ativos ambientais e créditos de carbono.

O presente estudo visa, portanto, a indicar uma metodologia para a avaliação do custo do desmatamento de biomas nativos, contribuindo para a elaboração de uma base de dados sobre o preço de ativos ambientais e créditos da biodiversidade.

2. Marco conceitual-teórico

2.1 O bioma Cerrado

Detentor de uma extensa área, cerca de 25% do país, o Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul. Além da sua proporção continental, o bioma é a savana mais biodiversa do planeta devido a sua diversidade biológica e pelo elevado grau de endemismo. O bioma exibe uma grande variedade e complexidade em suas formações vegetais, apresentando alto grau de heterogeneidade, além da importância ecológica na segurança hídrica do Brasil.

A importância do Cerrado transcende sua rica biodiversidade, consolidando-se como a principal fonte hídrica do país. Os lençóis freáticos do bioma são responsáveis por alimentar seis das oito maiores bacias hidrográficas brasileiras, com destaque para as bacias do São Francisco, Paraná e Araguaia-Tocantins. Classificado como um dos “*hotspots*” mundiais para a conservação, o bioma detém numerosas espécies endêmicas de fauna e flora, concentrando cerca de 33% da biodiversidade brasileira (HOGAN et al, 2002; SAWYER, 2002).

A elevada heterogeneidade das formações vegetais do bioma resulta em diferentes fitofisionomias. Essa diversidade é atribuída a uma combinação de fatores ambientais e do solo, incluindo a drenagem, profundidade do solo e do lençol freático, origem geológica, fertilidade e textura do solo, entre diversos outros (SOARES et al., 2015).

A vegetação do bioma apresenta onze tipos principais de fitofisionomias que se distribuem em: formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado stricto sensu, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre). No contexto das mudanças climáticas, o bioma possui um relevante estoque de carbono, embora sua quantificação careça de estudos devido à dificuldade inerente à mensuração da biomassa vegetal nas diferentes fitofisionomias (RIBEIRO e WALTER, 2008).

Essas distintas fitofisionomias da vegetação são influenciadas por diversos fatores como drenagem, origem geológica, profundidade do solo e do lençol freático. Consequentemente, a distribuição da biomassa no bioma varia conforme a composição e a estrutura da fitofisionomia, bem como a proporção entre a biomassa

aérea (troncos, galhos e folhas) e a biomassa subterrânea (raízes) (ROQUETTE, 2018).

O sistema radicular e a matéria orgânica são um dos componentes que representam alta relevância nos estoques de carbono. Embora o bioma possua menor quantidade de biomassa em sua superfície, seus solos antigos, profundos e ácidos tornam o bioma conhecido como “floresta invertida”. Assim, grande parte da sua biomassa está alocada em seu subsolo (OLIVEIRA et al., 2005).

O solo constitui o maior e mais importante estoque de carbono do Cerrado, superando a quantidade estocada nas raízes. Estima-se que cerca de 8,1 gigatoneladas (Gt) de carbono estejam armazenadas em seu solo, com um estoque médio de Carbono Orgânico do Solo (COS) de 41 t/ha (MAPBIOMAS, 2023).

Em 2021, as áreas naturais do Cerrado armazenavam 4,3 Gt de COS e as áreas antrópicas armazenavam 3,8 Gt de COS, demonstrando o impacto e a relevância das atividades agrícolas na região. A Formação Savânica apresentou estoque médio de aproximadamente 39 t/ha, em contrapartida, nas áreas de agricultura observou-se um estoque médio de 49 t/ha (MAPBIOMAS, 2023).

Devido à sua vasta área, rica biodiversidade e alta relevância hídrica, o Cerrado possui grande importância para a qualidade ambiental do país, fornecendo serviços ambientais essenciais como a conservação da água, abastecendo grandes bacias hidrográficas brasileiras, estocagem de carbono, regulação do clima e conservação da biodiversidade, entre outros (BRASIL, 2011).

Apesar da sua importância biológica, o bioma destaca-se historicamente por um processo de ocupação predatória. Este processo se iniciou no período colonial, quando a região central do Brasil era percebida como um território a ser conquistado e desenvolvido. A exploração começou no século XVI com a busca de minerais preciosos e a escravização de populações indígenas. No século XVIII, foram estabelecidos os primeiros assentamentos para a exploração de ouro. Com o esgotamento dos recursos minerais, a atividade econômica mudou para a agricultura e pecuária (KLINK & MOREIRA, 2002).

Ainda assim, a região era caracterizada por baixa densidade populacional e vastas áreas não ocupadas. No século XIX, a pecuária e a lavoura ganharam maior relevância econômica e fomentaram um povoamento mais regular. Dada as condições naturais favoráveis, a expansão da pecuária ocorreu de maneira extensiva (HEES et al. 1987).

Somente na década de 1930 houve um incentivo governamental para a ocupação populacional do Centro-Oeste, por meio de uma política criada no governo de Getúlio Vargas para promover o progresso regional e a interiorização da economia (ALMEIDA, 2006).

Apesar disso, no final da década de 1930, a região ainda apresentava baixa ocupação. Com a construção de Brasília, durante o governo de Juscelino Kubitschek, houve um aceleração da migração para a região, além de investimentos em infraestrutura e a implantação da malha rodoviária ligando a região ao restante do país (ALMEIDA, 2006).

O esgotamento das terras disponíveis para a ocupação agropecuária nas regiões Sul e Sudeste, nos anos 1960, motivou mudanças nas políticas de integração e desenvolvimento regional, direcionando o foco para os cerrados como nova fronteira para a expansão agropecuária (OLIVEIRA, 2002).

Durante a Ditadura Militar, do ano de 1964 a 1985, foi instituída a Superintendência do Desenvolvimento do Centro Oeste (SUDECO) em 1967, visando coordenar o desenvolvimento regional e mapear seu potencial econômico (OLIVEIRA, 2002). Foi a SUDECO que formulou o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO), cujo objetivo era incorporar a região Centro-Oeste ao espaço econômico nacional, incentivando a adoção de tecnologia pelos produtores rurais (PIRES, 2000).

O principal instrumento de incentivo do POLOCENTRO foi o crédito rural subsidiado, com a finalidade de estabelecer a fronteira econômica no Centro-Oeste, promovendo a substituição da agricultura de subsistência e da policultura pela monocultura comercial (OLIVEIRA, 2002; ABREU, 2004).

Em 1979, o Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER) foi criado para atrair produtores e empresas, visando a incorporação produtiva das áreas de Cerrado e estabelecendo laços econômicos com o Japão. Este programa é considerado o mais impactante, pois estabeleceu a maior fronteira agrícola do século XX no Brasil e promoveu as maiores transformações nos territórios do Cerrado, impulsionando o avanço da fronteira, o incentivo à produção de grãos, a mecanização e o aumento do uso de fertilizantes e agrotóxicos (CARIBÉ, 2016).

Portanto, a ocupação foi uma ideia estabelecida no período colonial, e nas décadas subsequentes, políticas e programas foram criados para incentivar a

exploração agropecuária por meio de investimentos em infraestrutura, concessão de crédito rural, e incentivos ao uso de tecnologia e insumos agrícolas (KLINK & MOREIRA, 2002; ALMEIDA, 2006).

Apesar da sua grande relevância ambiental e de ocupar cerca de 25% do território brasileiro, menos de 8% da área do bioma é legalmente protegida em unidades de conservação e terras indígenas. Em consequência, o bioma tem sido submetido a uma devastação predatória e acelerada (IPAM, 2023).

A insuficiência da proteção legal é indicada como o principal fator do desmatamento do bioma. O Código Florestal de 2012 (Lei nº 12.651/12) estabeleceu que propriedades privadas no Cerrado precisam manter apenas 20% de vegetação nativa como Reserva Legal obrigatória. Em áreas de Cerrado na Amazônia Legal, esse valor se eleva para 35%. Dado o aspecto da legislação, a maior parte da supressão de vegetação é processada pelos órgãos ambientais estaduais, o que aumenta a possibilidade de irregularidades nas autorizações.

Cerca de 62% da vegetação nativa do bioma está inserida em propriedades rurais privadas e, portanto, estão submetidas ao Código Florestal. Conseqüentemente, a maior parte do desmatamento ocorre em áreas privadas, com respaldo legal. Áreas registradas no Cadastro Ambiental Rural (CAR) privado concentram 78% de toda a área desmatada no bioma (IPAM, 2025).

A legislação brasileira confere um *status* diferenciado de proteção aos biomas. A Constituição Federal de 1988 designa a Floresta Amazônica, a Mata Atlântica e o Pantanal como “biomas-patrimônio nacional” (BRASIL, 1988). Essa distinção legal relegou o Cerrado a uma posição de menor proteção institucional, o que o tornou um “bioma-sacrifício”. Em face do aumento do combate ao desmatamento e da implementação de políticas públicas de conservação em biomas legalmente mais protegidos, observou-se, historicamente, uma pressão crescente pela expansão da fronteira agrícola e, conseqüentemente, o aumento das taxas de desmatamento no Cerrado (FEARNSIDE, 2024).

Durante o início do século XXI, o Brasil, juntamente com a América Latina, experimentou um novo ciclo político marcado pela ascensão de governos progressistas. Estes governos priorizaram o papel ativo do Estado, programas de inclusão social e a erradicação da pobreza, beneficiando-se, concomitantemente, de um contexto de alta nos preços internacionais de *commodities*. No entanto, a base econômica desses projetos manteve uma contradição intrínseca, a ênfase no modelo

de desenvolvimento extrativista e primário-exportador resultava em crescente conflitividade socioambiental, expondo a contradição entre o discurso social e a prática econômica (SVAMPA, 2013).

A lógica produtivista desses governos consolidou um modelo econômico-ideológico denominado Consenso das *Commodities* (SVAMPA, 2013). Esta matriz está fortemente atrelada à concepção desenvolvimentista, na qual renda gerada pela produção e exportação de bens primário é utilizada para financiar políticas sociais e sustentar o projeto de desenvolvimento nacional. A ação do Estado, nesse contexto, é centralizada na regulação e no incentivo a este modelo produtivo extrativista que se apropria das oportunidades do ciclo de alta dos preços globais.

O Consenso das *Commodities* sinaliza a integração da América Latina, e consequentemente do Brasil, em uma nova dinâmica econômica global, impulsionada pela elevada demanda por matérias-primas pelos países centrais e pelas potências emergentes (SVAMPA, 2019).

O aprofundamento do modelo extrativista, ancorado na expansão do agronegócio e, notadamente, no monocultivo de larga escala, tem provocado severas transformações territoriais no Cerrado, transformando-o em uma fronteira agrícola. Tais transformações refletem a sua subordinação como área produtiva funcional ao mercado do capitalismo transacional (SVAMPA, 2013).

O bioma, concebido pelo Estado como uma fonte inesgotável de produção agrícola e incentivado por políticas públicas de modernização agrícola, tornou-se a principal fronteira de expansão do modelo. Essa dinâmica é vista como nova fase da expansão colonial do país, que visa a colonização e a exploração do interior para a promoção de um desenvolvimento econômico, resultando na devastação ambiental.

A intensidade da pressão sobre o Cerrado é refletida nas suas taxas de desmatamento. Nos anos recentes, o Cerrado tem superado a Amazônia em área total desmatada anualmente. A maior frente de expansão e devastação do agronegócio no bioma está concentrada na região do Matopiba. Esta área, reconhecida como a nova grande fronteira agrícola do Brasil, é caracterizada pelo avanço da produção de *commodities* como soja, milho, algodão, e pela expansão da pecuária e silvicultura (MAPBIOMAS, 2025).

Do total da vegetação nativa perdida no Brasil em 2024, a região do Matopiba correspondeu a 42% de desmatamento. Com grande relevância nos mercados interno

e externo, o Matopiba é responsável por 12% da produção nacional de grãos, movimentando bilhões de dólares anualmente (EMBRAPA. s.d.; MAPBIOMAS, 2025).

Considerando o ritmo de expansão agrícola predatória no bioma, estima-se que, no ano de 2050, restarão somente 32,5% de vegetação nativa. O Cerrado, que possui um papel relevante na mitigação das mudanças climáticas é negligenciado pelas políticas públicas brasileiras. Nos acordos e discussões internacionais, inexistem referências específicas ao desmatamento no bioma (STRASSBURG et al., 2017; BOLSON, 2018).

2.2 O Matopiba

O Matopiba é atualmente a principal área de expansão da fronteira agrícola brasileira, caracterizada principalmente pelo avanço da soja, embora também inclua culturas como milho, algodão, cana-de-açúcar e eucalipto, e atividades pecuárias, sobre áreas de vegetação nativa do Cerrado (EMBRAPA, s.d.).

A vegetação da região é predominantemente do bioma Cerrado, que ocupa 91% do território em suas fisionomias savânicas, florestais e campestres. É seguido pelo bioma Amazônia, que abrange 7,3% e pelo bioma Caatinga, com 1,7% (EMBRAPA, 2014).

A área engloba partes dos estados do Maranhão, Piauí, Bahia e todo o território do Tocantins. A região foi formalmente delimitada pelo Estado com o propósito de estabelecer uma nova frente de expansão de *commodities* nos cerrados da região, por meio de projetos de modernização que incluíam grandes obras de infraestrutura, disponibilização de crédito rural e incentivos fiscais (EMBRAPA, s.d.).

A oficialização da criação da região foi estabelecida pela Portaria nº 244, de 12 de novembro de 2015, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Contudo, os movimentos iniciais dessa fronteira agrícola remontam à década de 1980. Sua criação se deu com a premissa de desenvolver políticas públicas para o desenvolvimento econômico e a expansão agropecuária, aprimorando a infraestrutura e a logística necessárias ao agronegócio da região (MAPA, 2015).

Os estudos técnicos para criação do Matopiba foram conduzidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) entre 2013 e 2014, em resposta a

um acordo de cooperação com o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). O objetivo era subsidiar a elaboração de políticas públicas e fornecer dados que permitissem a utilização de normas e tecnologias modernas para alcançar alta produtividade (EMBRAPA, 2014).

O modelo de desenvolvimento agrícola adotado na região do Matopiba é, portanto, herdeiro da política desenvolvimentista implementada na região do Centro-Oeste, caracterizado pela financeirização da terra, a prática de grilagem e o uso intensivo de agrotóxicos. A análise do Plano de Desenvolvimento Agropecuário do Matopiba (2015) revela que o propósito primordial da criação da região foi fortalecer e expandir as regiões produtivas do agronegócio.

O agronegócio baseado no monocultivo do meio rural como espaço vazio expandiu-se para a região do Matopiba a partir dos anos 2000, quando ocorreu a alta dos preços de *commodities*. Foi nessa época que a produção de soja iniciou o processo de consolidação na região com a instalação de empresas comercializadoras, produtoras de sementes, importadores e exportadoras de soja (SVAMPA, 2013).

A dinâmica produtiva da região é resultado da convergência de ações governamentais, que visam fomentar o desenvolvimento econômico através de políticas públicas, incentivos fiscais e investimentos em infraestrutura, e as estratégias de grandes corporações do agronegócio globalizado, que controlam diversas etapas dos circuitos espaciais produtivos (FREDERICO, 2010).

Além dos Planos e Programas criados para atrair investimentos, das linhas de crédito subsidiado, da pesquisa desenvolvida por instituições públicas e do baixo custo de aquisição e arrendamento de terras, a logística é um fator crucial para a viabilidade da produção de grãos em larga escala. O conjunto de obras de infraestrutura concluídas e direcionadas para a região direcionou o investimento das multinacionais do agronegócio, visando o escoamento da produção agrícola (OLIVEIRA, 2006).

Nos últimos dez anos, houve um aumento expressivo de 92% na produção de grãos nos municípios do Matopiba, passando de 18 milhões de toneladas (safra 2013/2014) para 35 milhões de toneladas na safra 2023/2024. Especificamente para a soja, a produção projetada para a safra 2024/2025 ultrapassa 32 milhões de toneladas. A nível comparativo, se o Matopiba fosse um país, seria o quinto maior produtor mundial de soja (EMBRAPA, s.d., MAPA, 2023)

Do ponto de vista econômico, a implantação da fronteira agrícola foi bem-sucedida. No entanto, essa expansão é marcada por ser intensiva e predatória, resultando na expropriação de populações e na destruição da vegetação natural. Este modelo está voltado para a produção e exportação de *commodities* agrícolas e culmina na acumulação de capital nas mãos de poucas corporações transnacionais (MARQUES, 2024).

Em 2024, aproximadamente 42% de toda a perda de vegetação nativa no país ocorreu no Matopiba, concentrando também a maior parte do desmatamento no Cerrado. Ao longo de 39 anos, a região perdeu cerca de 17 milhões de hectares de vegetação nativa. Atualmente, 34% do território do Matopiba é ocupado por atividades agropecuárias, com destaque para pastagens e a soja, que juntas ultrapassam 19 milhões de hectares (MAPBIOMAS, 2025).

O surgimento da região do Matopiba como um gigante na produção nacional de *commodities* agrícolas tem sido celebrado como um triunfo econômico, impulsionando o Brasil para o centro do comércio internacional de alimentos e matérias-primas, com perspectivas e projeções de crescimento ainda mais acelerado nos próximos anos.

A intensa transformação territorial impulsionada pelo avanço das atividades agropecuárias tem ameaçado os direitos e os modos de vida das populações rurais tradicionais residentes. Antes dos projetos de incentivo à ocupação agropecuária, a região era dominada por essas populações, cujo sustento baseava-se em atividades ligadas à pesca, à agricultura e à pecuária com técnicas voltadas para a subsistência (SILVA, 2019).

Enquanto os ecossistemas locais sofrem com a perda de biodiversidade, degradação do solo, contaminação das águas e o desmatamento. Ao mesmo tempo, o desenvolvimento econômico e a elevação do PIB local têm sido aspectos relevantes para a expansão da monocultura de soja na região, tornado o Matopiba o centro de transformações intensas e controversas em sua dinâmica socioeconômica e ambiental.

2.3 Os números da produção agropecuária no Matopiba

O Valor Bruto da Produção Agropecuária (VBPA) brasileiro atingiu R\$ 1,12 trilhão em 2021, conforme dados do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). No

ano de 2023, o agronegócio foi responsável por 24,4% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, evidenciando sua importância estrutural na economia do país (CEPEA, s.d.).

Neste cenário, a região do Matopiba consolidou-se como a mais recente e relevante fronteira agrícola do Brasil. Caracterizada pela expansão intensiva da agricultura sobre o bioma Cerrado, a área possui grande relevância no contexto econômico nacional, sendo a produção agropecuária seu principal motor.

A geração de valor no Matopiba é fortemente concentrada em grandes *commodities* agrícolas. A soja, o milho e o algodão são os principais grãos produzidos. Historicamente, essas culturas passaram a representar uma parcela crescente no valor da produção, com a região destacando-se como um dos principais polos de produção de soja e milho do país (EMBRAPA, 2024).

Em 2023, o VBPA regional do Matopiba correspondeu a pouco mais de R\$ 82 bilhões. O estado da Bahia ficou em 9º no lugar no ranking nacional, com R\$ 40 bilhões, seguido por Tocantins (12º), Maranhão (13º) e Piauí (14º), com valores de R\$ 15,4 bilhões, R\$ 15,2 bilhões e R\$ 11,6 bilhões, respectivamente. Juntos, esses estados foram responsáveis por 8,2% da produção nacional (CEPEA, s.d.; MAPA, 2024).

A região tem apresentado um aumento relevante tanto na área plantada quanto na quantidade produzida de grãos ao longo dos últimos anos. Segundo o MAPA (2023), a soja representa atualmente 43,4% do faturamento do Matopiba, correspondendo a 19% da produção do grão no cenário nacional.

A produção de grãos no Matopiba registrou um crescimento de 93% em dez anos, passando de 18 milhões toneladas na safra de 2013 para 32 milhões de toneladas na safra 2024/25. As projeções para a próxima década indicam um aumento de 37,1%, atingindo 48 milhões de toneladas de grãos por safra. Em seu limite superior, estima-se que a produção possa alcançar 62,1 milhões de toneladas de grãos até 2032/2033. Espera-se que em 2025, o PIB do agronegócio possa representar até 29,4% do PIB total do país (MAPA, 2023; CEPEA, 2025).

O processo de modernização da agropecuária e o sucesso da produção agrícola estão intrinsecamente associados ao crédito rural. Este mecanismo é considerado fundamental para impulsionar a expansão e a produção dos *commodities* agrícolas. Um estudo realizado pela Confederação Nacional da Agricultura (CNA) indicou que a principal demanda do produtor rural brasileiro é o crédito.

O crédito rural é definido como os recursos financeiros destinados a subsidiar despesas dos ciclos produtivos da agropecuária, o investimento em bens e serviços, e as despesas relacionadas às atividades de comercialização e industrialização da produção (EMBRAPA, s.d.).

Considerada a principal política pública de fomento e desenvolvimento do setor agropecuário, o crédito rural é o financiamento mais utilizado pelos produtores rurais. Nos estados do Matopiba, entre as safras 2019/2020 e 2022/2023, o valor financiado alcançou R\$ 29,9 bilhões, com 72% dos recursos alocados para a agricultura e 28% para a pecuária. A alocação dos recursos por produto tem se concentrado na cultura de soja, com R\$ 710 milhões nos municípios do Tocantins e quase R\$ 2,9 bilhões nos da Bahia (BACEN, 2024).

Diversos pesquisadores apontam que o financiamento direcionado ao setor agropecuário exerce um impacto direto na ampliação das fronteiras agrícolas brasileiras, incentivando a produção das atividades agropecuárias. Entretanto, esse mecanismo é também apontado como um dos principais motivadores das mudanças no uso e cobertura da terra. Embora o crédito seja crucial para impulsionar as atividades agrícolas na região, a relação causal direta entre o avanço da fronteira e a supressão da vegetação nativa suscita debates cruciais sobre a sustentabilidade das práticas adotadas (SOUZA, 2016; GOMES et al., 2020; SANTOS et al., 2021).

2.4 Consumo de água na produção agropecuária

Os avanços tecnológicos na produção agrícola do país, incluindo a mecanização do campo, o desenvolvimento de insumos químicos, a biotecnologia e a modernização dos processos produtivos, combinados com mecanismos financeiros de apoio e incentivo, posicionaram o Brasil rapidamente entre os maiores produtores globais de alimentos (IPEA, 2020).

Contudo, além da problemática do desmatamento da vegetação nativa para a conversão de áreas em atividades agropecuárias, a pegada hídrica dessa atividade produtiva exige discussão. A contaminação de nascentes, decorrente da produção e uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes, somada à exportação de volumes maciços de água doce incorporados em *commodities*, impõe um custo ambiental relevante ao país (ANA, 2018).

No Brasil, a agricultura é o setor que concentra o maior consumo de recursos hídricos, utilizando cerca de 62% da água disponível. Além do consumo elevado, a FAO (2014) estima que quase metade desse volume é desperdiçado. Desse modo, o agronegócio é simultaneamente o setor que mais consome e desperdiça água no país (RODRIGUES, 2015).

A produção de alimentos demanda a incorporação de grandes volumes de água. De cada um milhão de metros cúbicos utilizados na agricultura, 70,46% são incorporados nos alimentos, enquanto 29,54% retornam ao meio ambiente, o que indica o alto volume consumido pelas atividades agropecuárias no Brasil. Portanto, apesar do número crescente de exportações que comprovam o sucesso econômico das atividades agropecuárias em geral, o crescimento da produção impacta diretamente no consumo da água e conseqüentemente na redução desse recurso natural (ANA, 2018).

Ao produzir e exportar determinada mercadoria, ocorre a exportação de água em formato virtual para outros países. A água virtual é uma métrica que quantifica o volume de água utilizado e absorvido durante o ciclo de produção das *commodities* agrícolas destinadas à exportação. Ela é considerada um insumo produtivo, o volume aquoso que torna exequível a produção mercantil, e é transferível internacionalmente. Para os países importadores, representa uma fonte exógena de água doce (HOEKSTRA e HUNG, 2002).

Segundo dados da Unesco, o Brasil transfere anualmente para o exterior aproximadamente 112 trilhões de litros de água doce sem cobrar nada por esse recurso natural. Essa estimativa baseia-se na análise dos produtos que mais contribuem para as transações econômicas internacionais.

As relações entre exportação e impactos nos recursos hídricos revelam uma conexão intrínseca entre o crescimento da produção agrícola para mercados externos e o aumento da pressão sobre os recursos hídricos locais. Esse fenômeno é impulsionado pela dinâmica da água virtual, que transfere o consumo de água das regiões importadoras para as regiões exportadoras por meio das exportações de *commodities* agrícolas, o que se configura como uma prática economicamente vantajosa, mas ambientalmente onerosa para o país de origem (DALIN et al., 2017; WEIMING et al., 2017).

Entre os produtos exportados com maior uso de água, a soja é o que se destaca. A soja é o produto que mais contribui para a exportação de água virtual do

Brasil. Ao exportar milhões de toneladas, o país transfere a pressão sobre seus recursos hídricos para a cadeia produtiva global. Sendo a cultura que ocupa a maior área cultivada no Matopiba, há cerca de 4.800.000 hectares dedicados ao plantio de soja, afetando diretamente o balanço hídrico das bacias do Cerrado (HOEKSTRA e CHAPAGAIN, 2008; MAPBIOMAS, 2025).

Um levantamento realizado pelo MapBiomias (2025), indica que, entre 1985 a 2024, a superfície hídrica de rios, lagoas e nascentes no Cerrado encolheram 249 mil hectares, uma redução de quase 28%. Embora 2024 tenha registrado a maior superfície hídrica do bioma na série histórica, mais de 60% desse volume corresponde a áreas artificiais, como reservatórios de hidrelétricas. Nos últimos quarenta anos, 91% das bacias hidrográficas do Cerrado registraram perda de volume de água.

Além de ser a principal frente de desmatamento do Cerrado, o problema da redução da superfície hídrica natural também é acentuado no Matopiba. Entre as bacias hidrográficas que mais perderam água, as duas com maior redução estão localizadas nessa região: a bacia do Grande São Francisco, que apresentou redução de 60% em 2024 em comparação à média histórica, e a bacia do Carinhanha, que perdeu 58% (MAPBIOMAS, 2025).

Apesar do sucesso produtivo e da grande relevância econômica que as atividades agropecuárias representam para o país, a sua expansão tem causado danos severos aos corpos d'água do Cerrado. É fundamental destacar que, em contraste com o aumento da produção e das exportações, os rios do Cerrado estão em processo de diminuição hídrica, afetando não apenas o bioma, mas todo o país, dada a sua característica de ser o “berço das águas” do Brasil.

2.5 Estratégias de produção agrícola sustentáveis

O setor agrícola brasileiro é responsável por uma relevante contribuição para as emissões antrópicas de GEE, totalizando aproximadamente 31%. Quando somada às emissões provenientes da mudança no uso e cobertura da terra, como o desmatamento, este valor aumenta para cerca de 70% do total nacional. Especificamente no âmbito do uso e manejo do solo, as emissões contribuem com 60% das emissões totais do setor (WRI, 2019).

É amplamente constatado que as alterações climáticas afetam diretamente a produtividade agrícola em virtude de modificações no ciclo hidrológico, manifestadas em eventos de secas ou inundações severas. Essa vulnerabilidade existe independentemente do nível de investimento financeiramente e tecnológico. Portanto, a crise climática configura-se como um dos maiores desafios para este setor econômico.

Diante da ocupação predatória e a prática da agricultura convencional no Matopiba, que têm trazido intensos impactos ambientais, torna-se imperativo buscar a melhoria do aproveitamento das áreas já convertidas por atividades agropecuárias, juntamente com o desenvolvimento de alternativas econômicas que incentivem a manutenção das áreas conservadas, conciliar a segurança alimentar com a conservação ambiental é de grande importância, mas uma tarefa difícil.

A FAO (2019) defende que a prática da agricultura regenerativa, baseada em princípios agrícolas específicos, possui a capacidade de reabilitar o ecossistema envolvido na produção. Essa abordagem aprimora o uso dos recursos naturais, conservando a terra, o solo e a biodiversidade em todos os níveis, enquanto promove a melhoria da eficiência no uso de insumos e serviços do sistema agrícola.

A agricultura regenerativa é uma abordagem de manejo sustentável cujo objetivo é restaurar os ecossistemas, aprimorando a saúde do solo e da biodiversidade. Assim, ela promove o desenvolvimento sustentável dos sistemas de produção agrícolas, opondo-se à agricultura convencional, que frequentemente resulta na degradação do solo e do meio ambiente (VEGA, 2024).

Esta abordagem produtiva está especialmente focada na regeneração e saúde do solo. A saúde do solo é fundamental tanto para a capacidade produtiva agrícola quanto para a sustentabilidade da produção, sendo central na agricultura regenerativa a visão de que o solo deve ser tratado como um organismo vivo. A agricultura regenerativa protege o solo contra a perda de nutrientes e a compactação, promove uma microbiota saudável, mantém a ciclagem de nutrientes e aumenta resistência a patógenos (MONTGOMERY, 2017).

Com o foco na saúde do solo, algumas práticas regenerativas são essenciais tais como a rotação de culturas, o uso de adubos verdes e a manutenção de uma cobertura permanente do solo. Essas práticas visam prevenir a erosão, aumentar a matéria orgânica e melhorar a estrutura física do solo e, ao mesmo tempo, contribuir para a melhoria da produção agrícola (LAL, 2020).

Nesse contexto de mitigação, destaca-se o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC). O Plano promove tecnologias de baixa emissão de carbono desenvolvidas por instituições de pesquisa, como a EMBRAPA, focando na recuperação de pastagens degradadas, na Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), no sistema de plantio direto e no tratamento de dejetos animais (BRASIL, 2013).

A implementação dessas medidas busca, simultaneamente, mitigar as emissões de GEE e aumentar a fixação de dióxido de carbono (CO₂) na vegetação e no solo. Tais ações contribuem para o desenvolvimento sustentável das práticas agrícolas brasileiras e possibilitam a adaptação aos desafios climáticos enfrentados pelo Brasil.

A Integração Lavoura-Pecuária-Floresta é uma estratégia de produção agropecuária que integra diferentes sistemas produtivos, agrícolas, pecuários e florestais, dentro de uma mesma área. Este sistema visa alcançar a otimização no uso da terra, elevando os patamares de produtividade, melhorando o uso de insumos, resultando em baixa emissão de GEE e diversificação da produção (EMBRAPA, s.d.).

A EMBRAPA (2020) tem utilizado o ativo BioAS, uma tecnologia que integra o componente biológico às análises de rotina de solos. Consiste na análise de enzimas que se relacionam, direta ou indiretamente, ao potencial produtivo e à sustentabilidade do uso do solo, atuando como bioindicadores e auxiliando na avaliação da saúde dos solos.

O BioAS se destaca por possuir a vantagem de ter enzimas mais sensíveis que os indicadores químicos e físicos, detectando com maior antecedência as alterações na saúde do solo em função do seu uso e manejo (EMBRAPA, 2020).

A Plataforma Saúde do Solo BR da EMBRAPA que fornece uma visão abrangente da qualidade e sustentabilidade dos solos agrícolas brasileiros indica que, nos estados do Matopiba, cerca de 42,84% estão saudáveis e aproximadamente 35,85% estão “adoecendo”, com 4,04% doentes e 9,79% em status intermediário. Apenas 7,47% estão em processo de recuperação.

Os solos saudáveis são cruciais por serem mais produtivos e oferecerem uma série de serviços ambientais essenciais, como o armazenamento de maior quantidade de água, o sequestro de carbono e a degradação de pesticidas, contribuindo também para uma maior qualidade dos alimentos produzidos (EMBRAPA, 2025).

Outras duas estratégias alternativas de uso da terra para conciliar conservação da biodiversidade com a produção agrícola têm sido discutidas, o *Land Sparing* (LSP) e *Land Sharing* (LSH). A hipótese de LSP baseia-se na ideia de que maiores rendimentos impulsionados pela intensificação tecnológica do uso da terra poderiam aumentar a produtividade agrícola e reduzir a necessidade de conversão de habitats naturais para atingir as metas de produção. Em contrapartida, a hipótese de LSH é uma abordagem que reduz o impacto negativo da agricultura de alta produtividade sobre a biodiversidade, diminuindo os efeitos negativos dos insumos agrícolas, priorizando o equilíbrio da conservação ambiental com uma agricultura ambiental e socialmente sustentável (PHALAN et al., 2011).

A estratégia de *Land Sharing*, baseada no compartilhamento de terra, defende a integração da produção agrícola com a conservação da biodiversidade em toda a paisagem. Utilizando agricultura de baixa intensidade ou menos agressiva à vida selvagem, como agricultura orgânica ou agroflorestas, que mantêm a biodiversidade dentro da área produtiva, embora geralmente resultem em menores rendimentos agrícolas por área (PHALAN et al., 2011).

O conceito de *Land Sparing* baseia-se na separação estrita da produção intensiva e a conservação da natureza, concentrando a produção agrícola em áreas de alto rendimento, com intensificação da prática, utilizando o mínimo de terra possível. A área da terra poupada da prática intensiva agrícola é dedicada exclusivamente para a conservação da biodiversidade e do ecossistema.

A controvérsia das duas estratégias reside em qual abordagem resulta no melhor resultado de conservação da biodiversidade e um determinado nível de produção agrícola. O debate entre LSP e LSH é uma ferramenta analítica crucial que ajuda a esclarecer as compensações entre a intensificação e a conservação da terra. Estudos recentes rejeitam uma solução única, favorecendo abordagens mistas e dinâmicas que reconhecem a necessidade de alta produtividade em algumas áreas e a manutenção de habitats naturais em outras.

As discussões de estratégias para a implementação de uma agricultura regenerativa emergem como uma solução viável para mitigar as emissões de GEE e possuem grande potencialidade para a agricultura brasileira. Entretanto, elas não são universalmente adequadas a todos os produtores rurais, devido ao rigor técnico exigido. Sua transição deve ser apoiada por políticas públicas e incentivos para superar a dualidade entre efetividade econômica e a sustentabilidade ambiental.

A agricultura regenerativa é uma resposta à crise climática e aos problemas da produção convencional. No entanto, essa transição precisa de planejamento, mudança de mentalidade do produtor rural e adoção de novas práticas. A lógica econômica desse sistema garante a permanência desse modelo, proporcionando solos mais férteis, menor dependência de insumos e sistemas de produção mais estáveis frente às mudanças climáticas, proporcionando a melhora da produção agrícola (BUENO, 2024).

2.6 Sensoriamento remoto e estudos de biomassa

O Sensoriamento Remoto (SR) constitui uma ciência que busca obter informações sobre objetos, áreas ou fenômenos sem o contato físico direto, mediante a análise de dados provenientes de dispositivos coletores. Essa capacidade permite a interação e a tomada de decisão a partir da interpretação de imagens e o uso de programas computacionais (CROSTA, 1992; TULLIO, 2018).

Os dados espaciais e temporais oriundos do SR possibilitam o monitoramento da superfície terrestre em grandes escalas, permitindo a realização de estimativas da vegetação de maneira eficiente, rápida e com custos relativamente baixos. Essas informações são fundamentais para avaliar a produção e o estoque de biomassa vegetal (BEAMISH et al., 2020).

O SR oferece informações em diferentes escalas espaciais e temporais, com cobertura ampla e contínua do território, dessa forma, é possível estimar a biomassa vegetal e o estoque de carbono em diversos tipos de vegetação, como florestas e savanas (CAMPBELL, 1996).

O processo de aquisição de dados e informações leva em consideração as características da energia que interage com o alvo. Essa energia pode ser passiva, proveniente da luz solar, ou gerada por um sensor ativo, como um radar, além da energia emitida pelo próprio alvo (LORENZZETTI, 2015).

A atividade fotossintética dos vegetais, que depende da absorção e da refletância da radiação eletromagnética, permite que o campo do SR produza estudos detalhados sobre a vegetação, por meio da análise do comportamento espectral dos alvos (PONZONI et al., 2012).

A utilização de imagens de satélite, índices de vegetação, e a aplicação de equações alométricas e de regressão possibilitam a estimativa da biomassa arbórea com valores satisfatórios, geralmente calibrados a partir de dados obtidos em campo ou inventários florestais. Essas relações fornecem dados detalhados do reservatório de carbono e permitem o acompanhamento das mudanças que ocorrem na região analisada (MYENNI et al., 2001; HENTZ et al., 2014).

O radar é amplamente utilizado para a estimativa da biomassa arbórea no planeta. Configura-se em um sensor que emite pulsos em comprimentos de onda superiores a 1 mm e mede os sinais refletidos ou espalhados. Classificado como sensor ativo, o radar tem a capacidade de operar independente de fontes externas de energia eletromagnética e sob diferentes condições climáticas (WOODHOUSE, 2017).

O Radar de Abertura Sintética (SAR) é um tipo de coleta de dados ativa que oferece vantagens sobre os dados ópticos, como a capacidade de obter dados dia e noite, sob diferentes condições climáticas, e a sensibilidade das ondas às irregularidades da superfície, o que possibilita a realização de análises volumétricas dos alvos (WOODHOUSE, 2017; FRANCESCHETTI; LANARI, 2018).

Entre as iniciativas globais de mapeamento de biomassa, o projeto de Biomassa da Iniciativa de Mudanças Climáticas (CCI) da Agência Espacial Europeia (ESA) se destaca. O principal objetivo do estudo é fornecer mapas globais da biomassa acima do solo (AGB) anualmente para período selecionados, com a finalidade de quantificar a mudança na biomassa (ESA, 2025).

Este mapeamento utiliza uma resolução espacial de 100 metros, com a meta de alcançar um erro relativo inferior a 20% em áreas onde a biomassa acima do solo exceda 50 Mg/ha. Os mapas globais são gerados a partir de dados de SAR adquiridos na banda C pelos satélites Sentinel 1A e 1B da ESA e na banda L pelos satélites *Advanced Land Observing Satellites* (ALOS PALSAR e ALOS-2 PALSAR-2) da Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA) (ESA, 2025).

Os dados fornecidos ao longo de múltiplas épocas permitem a análise de novas perspectivas sobre como o carbono contido nas florestas está variando em resposta tanto às atividades humanas quanto aos eventos e processos naturais.

Diante do cenário de mudanças climáticas, a análise e a quantificação da biomassa em um ecossistema são cruciais para a compreensão do seu papel no ciclo global de carbono. Tais dados são essenciais para avaliar a capacidade de estoque

de carbono e estimar o potencial de emissão de GEE para a atmosfera em caso de supressão da vegetação nativa ou outras mudanças no uso e cobertura da terra. A quantificação da biomassa é um parâmetro fundamental para o desenvolvimento de inventários nacionais e estratégias de mitigação.

Um estudo de Costa (2023) estimou os estoques de Biomassa Viva Acima do Solo (AGB) em diferentes fitofisionomias do Cerrado (Campestre, Savânica e Florestal). O trabalho identificou uma quantidade mínima de 11,65 Mg/ha para as Formações Campestres e uma máxima de 187,94 Mg/ha para as Formações Florestais (Cerradão/Mata), evidenciando a grande variação do estoque de carbono em função da estrutura da vegetação.

Em um estudo pioneiro com o uso de imagens de satélite, Kuntschik e Bittencourt (2003) estimaram que os valores médios de biomassa na formação florestal Cerradão variam amplamente, de 0,24 Mg/ha a 120,35 Mg/ha.

Estes trabalhos demonstram a potencialidade do sensoriamento remoto para mapear e quantificar a heterogeneidade estrutural e os estoques de biomassa no Cerrado. Se apresentando como uma ferramenta indispensável para monitorar o bioma em larga escala, dada a sua vasta extensão e a variação da vegetação.

2.7 Mercado de carbono e os instrumentos financeiros

Os principais gases de efeito estufa (GEE) são o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e os perfluorocarbonos. Dentre estes, o CO_2 é o que mais contribui para as mudanças climáticas do planeta, correspondendo a 55% do total das emissões de GEE (IPCC, 2018).

O carbono, embora essencial para a vida, é o principal responsável pela crise climática. A queima de combustíveis fósseis, o desmatamento e as atividades agropecuárias, por meio da mudança na cobertura da terra, são as principais fontes de emissão de CO_2 (SAPORTA; YOUNG, 2009).

Nesse contexto, a redução das emissões surge como uma estratégia crucial para mitigar os efeitos da mudança climática. Após a criação do Protocolo de Quioto em 1997, o carbono passou a ser discutido como uma possibilidade de retorno financeiro pela redução de emissão de GEE, permitindo que países desenvolvidos

pudessem patrocinar projetos em países em desenvolvimento (MOREIRA; GIOMETTI, 2008).

O Protocolo de Quioto abriu caminho para a utilização de mecanismos de mercado que possibilitem aos países desenvolvidos cumprirem seus compromissos de redução e limitação de emissão de GEE (MCTI, 2021).

O mercado de carbono surgiu como um instrumento financeiro que envolve a comercialização de créditos de carbono com valor monetário. Esses créditos geram ativos que representam um determinado volume de emissões de GEE evitadas ou reduzidas da atmosfera. O mercado se divide em mercado formal ou regulado e o mercado voluntário (FGV, 2024).

O mercado regulado consiste na aquisição de créditos de carbono para atender obrigações impostas por legislações nacionais ou acordos internacionais. Já o mercado voluntário se baseia na aquisição de créditos por parte de empresas ou outras entidades que buscam cumprir compromissos de mitigação voluntários. Há uma série de iniciativas e instrumentos financeiros sendo discutidos para o desenvolvimento do mercado voluntário (WRI, 2023).

O crédito de carbono é um incentivo para estimular o sequestro de carbono em diversos locais, considerando a adesão de países e organizações privadas. Por convenção, ficou definido que um crédito de carbono equivale a uma tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO_2eq) (IPCC, 1996).

O pagamento no mercado de carbono e dos instrumentos financeiros de sustentabilidade é realizado principalmente por empresas, governos e indivíduos que devem ou desejam compensar suas emissões. Os principais agentes pagadores são as empresas poluidoras, dentro do mercado regulado, que excedem o limite permitido de emissões. Os compradores voluntários, dentro do mercado voluntário, que se trata das empresas e pessoas físicas que optam por comprar créditos de carbono voluntariamente, os governos de países que firmaram compromissos internacionais, as instituições financeiras e os investidores (FGV, 2024).

Para os países em desenvolvimento, a participação inicial se deu através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O MDL permite o desenvolvimento de projetos que reduzem a emissão de GEE em países menos desenvolvidos e em desenvolvimento. Estes países podiam vender as reduções de emissões para países desenvolvidos, facilitando o cumprimento das metas do Protocolo de Quioto (MCTI, 2021).

Outro mecanismo relevante é o REDD (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação florestal), desenvolvido no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). O REDD+ remunera aqueles que mantêm suas florestas conservadas, recompensando financeiramente países em desenvolvimento por seus resultados de redução de emissões de GEE provenientes do desmatamento e da degradação florestal, valorizando o papel da conservação e aumento dos estoques de carbono florestal (MMA, 2025).

Desde 2009, o Brasil tem recebido pagamentos por resultados de REDD+ por meio do Fundo Amazônia, com recursos majoritariamente provenientes da Noruega e da Alemanha. Os valores pagos são provenientes de doações de países desenvolvidos e fundos multilaterais como recompensa pelos resultados de mitigação alcançados. Iniciativas como REDD+ e o MDL conferem autonomia para que os atores decidam sobre os projetos mais oportunos e a melhor forma de implementá-los, considerando as especificidades regionais (MMA, 2025).

Outro mecanismo financeiro existente no Brasil é o Pagamento por Serviço Ambiental (PSA). O PSA visa remunerar produtores rurais, agricultores familiares, assentados, comunidades e povos tradicionais, pelos serviços ambientais prestados que geram benefícios para toda a sociedade. Esses serviços se dão por meio da conservação nativa ou da restauração de áreas e florestas.

A Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021, que institui a Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais, permite a captação de recursos de diversas fontes como pessoas físicas ou jurídicas de direito privado e perante as agências multilaterais e bilaterais de cooperação internacional. Esse contexto da legislação prevê também a criação do Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais, criando a possibilidade de atrair recursos nacionais e internacionais (BRASIL, 2021).

Ao desenvolver um arcabouço legal e robusto, eficiente e transparente, o Brasil apresenta um instrumento que pode contribuir para a implementação da meta de restaurar áreas degradadas, florestas e a possibilidade de gerar créditos de carbono com diversas oportunidades.

Um título financeiro específico é a Cédula do Produtor Rural Verde, que tem o intuito de financiar a conservação da parcela de vegetação nativa na propriedade, funcionando como um pagamento pelos serviços ambientais prestados pelo produtor,

que deixa de expandir a produção agropecuária. A CPR Verde foi regulamentada pelo Decreto Federal n.º 10.828 de 01 de outubro de 2021 (BRASIL, 2021; MAPA, 2021).

O pagamento é realizado por quem compra o título, investidores e empresas interessadas em neutralizar emissões de carbono. Um certificador externo é responsável por quantificar a captura de carbono atrelada à manutenção da vegetação nativa, estabelecendo o valor do título. A CPR Verde facilita a interação entre o produtor rural, que busca complementar sua renda, e empresas nacionais e internacionais que buscam créditos de carbono para protocolos de preservação e redução de GEE (NETO, 2022).

O projeto conservacionista *Green Guardians* (2024), desenvolvido pelo grupo *Díax*, responsável pela emissão da CPR-Verde, realizou o registro da cédula na bolsa B3, ao valor de R\$ 1,2 bilhão, equivalente à compensação de 9 milhões de toneladas de carbono equivalente. De acordo com o laudo técnico emitido pela certificadora, cada tonelada equivale a R\$ 130,60 nesse projeto.

O sequestro de carbono é uma das estratégias para mitigar da crise climática, envolvendo a remoção de CO₂ da atmosfera e seu armazenamento em reservatórios naturais como florestas, solos e oceanos. Contudo, para torná-lo efetivo e confiável, há grandes desafios a serem superados (IPCC, 2018).

O mercado de carbono é dependente de decisões político-econômicas, o que resulta em constante oscilação, pois sua estabilidade exige uma coalizão de interesses dos atores políticos nos acordos ambientais. O mercado formal, embora importante, enfrenta dificuldades no consenso entre países, mas o mercado voluntário tem se tornado um instrumento fundamental no combate às mudanças climáticas (OLIVEIRA, 2022).

Em 2024, foi instituído um novo marco legal no Brasil, o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), pela Lei nº 15.042/2024. O SBCE deverá ser regulamentado em até dois anos e implementado ao longo dos três anos subsequentes (BRASIL, 2024).

O SBCE funcionará sob um modelo cap-and-trade, estabelecendo cotas de emissão e permitindo a negociação de créditos gerados por projetos de redução ou remoção de GEE. É considerado um avanço relevante na discussão do mercado de carbono. Inicialmente, o sistema estabelecerá regras para o limite de emissões em setores como energia, indústria e transporte, com previsão de incluir atividades agropecuárias e uso da terra em etapas futuras. Essa nova regulamentação é vista

como uma oportunidade para produtores com práticas sustentáveis, mas levanta desafios sobre monitoramento, transparência e credibilidade (BRASIL, 2024).

Por ser um país rico em biodiversidade e florestas, o Brasil tem o potencial de se tornar o líder em sustentabilidade no mercado de carbono. Estudos indicam que o país tem potencial para suprir 22% da demanda global de créditos de carbono (ICC Brasil, 2021) e que o mercado poderia gerar cerca de \$8 milhões de oportunidades de emprego, movimentando entre US\$ 493 milhões a US\$ \$100 bilhões até 2050 (WAYCARBON, 2022).

A relevância do mercado de carbono é evidente, mas esses instrumentos financeiros exigem comprometimento dos atores políticos, maior transparência nos acordos e transações, e uma base de dados robusta da biomassa presente nos ecossistemas, além de adaptação e pesquisas para lidar com as especificidades regionais.

3. Objetivo principal

O presente estudo teve o objetivo de precificar o desmatamento na região do Matopiba através da estimativa de ativos ambientais perdidos, a partir de base de dados de biomassa viva acima do solo.

3.1 Objetivos específicos

1. Dimensionar a quantidade de biomassa e carbono equivalente perdidos em decorrência do desmatamento do Cerrado no Matopiba, do ano de 2022 a 2024.
2. Estimar qual é o preço do desmatamento no Matopiba através dos dados dos ativos ambientais perdidos utilizando métricas de mercado e compará-lo com os valores da produção agropecuária.

3.2 Hipótese

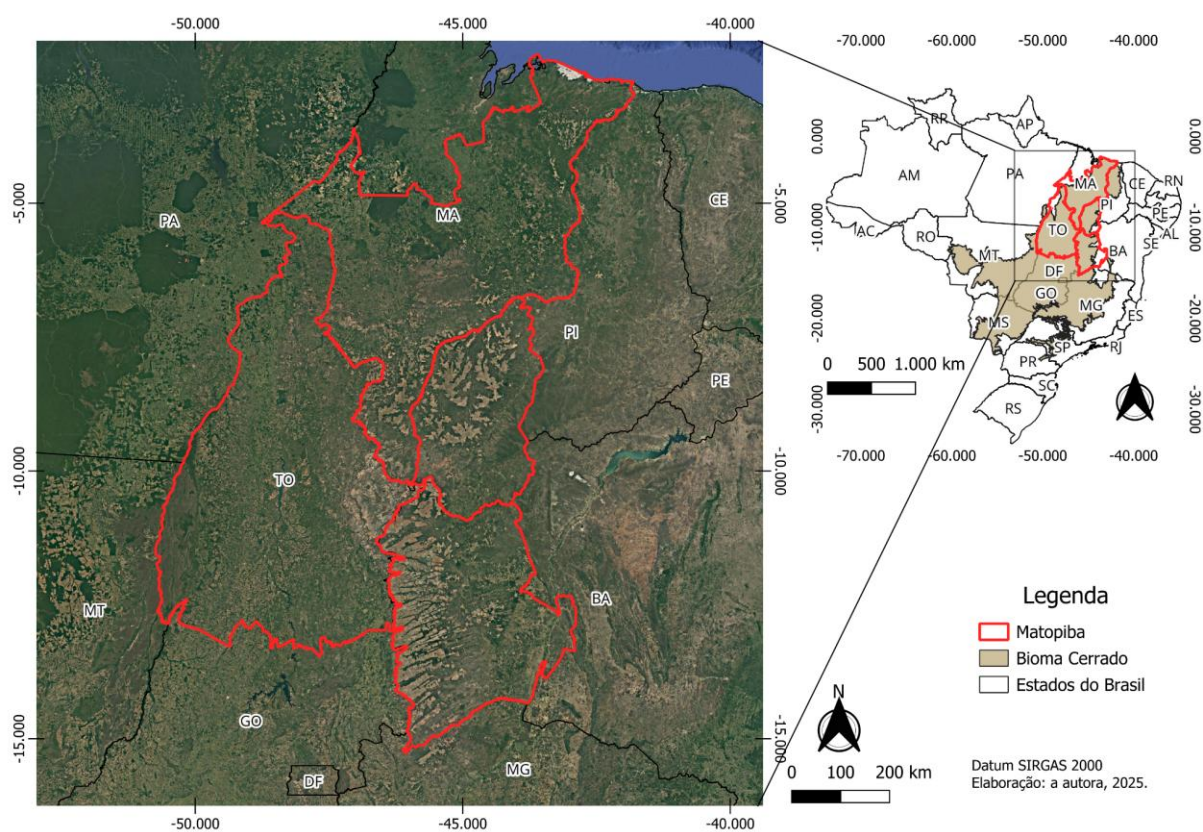
O Cerrado nativo armazena quantidade relevante de carbono em seu território e o valor financeiro que poderia ser gerado por esse estoque, quando monetizado através do mercado de ativos ambientais, também seria economicamente e financeiramente vantajoso para o produtor rural.

4. Material e Métodos

4.1 Área de Estudo

A unidade de análise compreende a região do Matopiba, acrônimo resultante da integração do estado do Tocantins e partes dos estados do Maranhão, Piauí e Bahia. A região abrange 337 municípios e aproximadamente 73 milhões de hectares, dos quais 91% são ocupados pelo bioma Cerrado. Caracteriza-se como a principal fronteira agrícola contemporânea do Brasil, abrigando uma complexa rede socioambiental composta por 35 terras indígenas, 46 unidades de conservação, 36 territórios quilombolas e mais de mil assentamentos de reforma agrária (EMBRAPA, s.d.; MAPA, 2023).

Mapa 1 - Localização do Matopiba no Brasil.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

Do ponto de vista demográfico e econômico, a região apresenta um paradoxo. Embora concentre uma população total estimada em 6,2 milhões de habitantes (Tabela 1) e tenha registrado um crescimento acentuado do PIB agropecuário, saltando de R\$ 2,7 bilhões em 2000 para R\$ 12,6 bilhões em 2013 (IPEA, 2018), tal desenvolvimento é marcado por profundas disparidades sociais. Contraditoriamente, o avanço tecnológico e o aumento da produção de *commodities* não se traduziram em distribuição equitativa, resultando em um crescimento econômico inversamente proporcional à apropriação da renda pelos trabalhadores locais (PEREIRA et al., 2018).

Tabela 1 - Municípios e população do Matopiba por estado.

Estado	Nº de Municípios	População	Área (ha)
Bahia	30	838.861	13.214.498
Maranhão	135	3.590.431	23.982.347
Piauí	33	271.848	8.204.588
Tocantins	139	1.511.460	27.772.052
TOTAL	337	6.212.600	73.173.485

Fonte: Censo Demográfico do IBGE, 2022.

A delimitação institucional da região, oficializada em 2015, é reflexo de um processo histórico anterior, iniciado na década de 1970, consequência da marcha para o Oeste e do Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento dos Cerrados - PRODECER.

O avanço da atividade produtiva agropecuária provocou a expansão econômica e impulsionou a urbanização do território, integrando o Matopiba aos mercados nacionais e internacionais, ocasionando em melhorias no sistema de transportes, energia, reduzindo o isolamento regional e incorporando tecnologia para o aumento da produção agropecuária (ALVES, 2020).

4.2 Procedimentos metodológicos

O presente estudo utilizou a base de dados CCI Biomass da Agência Espacial Europeia (ESA), um projeto científico que fornece mapas globais da biomassa acima do solo anualmente. A base está disponível no catálogo da plataforma *Google Earth Engine*. A plataforma baseia-se na análise geoespacial através de computação em nuvem, que permite o processamento de imagens de satélite e outros dados geoespaciais, possibilitando pesquisas nas áreas de sensoriamento remoto, séries temporais e mudanças na cobertura da terra (GORELICK et al., 2017).

A estimativa de Biomassa Viva Acima do Solo (AGB) para o ano de 2022 foi obtida a partir da base de dados CCI Biomass, com resolução espacial de 100 metros e confiabilidade superior a 80%. Os dados foram acessados no catálogo do *Google Earth Engine* e estão expressos em ton/ha de biomassa viva.

Para a elaboração do estudo também foram utilizados os dados do dashboard MapBiomass, uma rede colaborativa multidisciplinar formada por ONGs, universidades e empresas de tecnologias organizados por biomas e temas transversais, com o objetivo de gerar informações anuais de uso e cobertura da terra, utilizando algoritmo de aprendizado de máquina para classificação e resultando em acurácias globais iguais ou maiores a 83% (SOUZA et al., 2020). Os dados do MapBiomass também estão disponíveis no *Google Earth Engine*.

Foram utilizados para a caracterização do território e análise das mudanças na cobertura da terra os mapas de uso e cobertura do solo, essenciais para identificar as classes de vegetação Floresta e Savana, consideradas para a precificação do carbono, e as áreas de atividades agropecuárias. Para a elaboração das máscaras de desmatamento, utilizadas para estimar a perda de carbono no ano de 2024. O mapeamento de Carbono Orgânico do Solo (COS) foi utilizado e reprojetoado para 100 metros para compatibilizar com a resolução da base de AGB.

Os cálculos foram realizados utilizando códigos em linguagem *JavaScript* no *Google Earth Engine*, seguindo as diretrizes da FAO (2012) para a quantificação de carbono nos cinco reservatórios: Biomassa Acima do Solo (AGB), Biomassa Abaixo do Solo (BGB), Serapilheira, Madeira Morta e Carbono Orgânico do Solo (COS).

A base de AGB foi utilizada para estimar o carbono nos demais reservatórios por meio de fatores de conversão. Para a estimativa de Carbono na AGB: a biomassa

total foi multiplicada pelo fator de conversão em carbono de 0,48 (HIGUCHI e CARVALHO JR., 1994). Para a estimativa da BGB: a Biomassa Abaixo do Solo foi calculada aplicando a Razão Raiz-Parte Aérea na AGB, com fatores de 0,20 para formações florestais e 0,60 para formações savânicas (MCTI, 2024). Para a estimativa de Serapilheira e Madeira Morta: as biomassas foram estimadas aplicando fatores de conversão na AGB, sendo 0,02 e 0,04, respectivamente (MCTI, 2024). Possibilitando assim, a estimativa do Carbono Total: a biomassa dos compartimentos BGB, Serapilheira e Madeira Morta foi convertida em Carbono aplicando o fator 0,48. O estoque total foi obtido pela soma dos valores de carbono de todos os reservatórios:

$$C.Total = C.AGB + C.BGB + C.Serapilheira + C.Madeira Morta + COS$$

O estoque total de carbono foi convertido para Dióxido de Carbono Equivalente (CO₂eq), a unidade padrão para o mercado de carbono. Todos os dados de carbono foram multiplicados pelo fator de conversão 3,667, fator de conversão obtido pela razão entre a massa molecular do Gás Carbônico (igual a 44) e a massa atômica do carbono (igual a 12) (BROWN et al., 1986; HOEN e SOLBERG, 1994).

O estudo comparou o estoque inicial (2022) com o estoque pós-desmatamento (2024). A perda de carbono em 2024 foi estimada utilizando a máscara de desmatamento do MapBiomas, onde os valores dos reservatórios de AGB, BGB, Serapilheira e Madeira Morta foram zerados nos pixels onde houve desmatamento. Os dados de COS foram utilizados com o ano base 2023, dada a maior atualização dos dados.

Para a análise, foram obtidos no Google Earth Engine os resultados estatísticos de média, mediana, máxima, mínima e soma total dos dados de CO₂eq para os anos comparados.

A quantidade de CO₂eq perdida em decorrência do desmatamento na área de estudo foi valorada no mercado de carbono voluntário, utilizando a precificação de títulos de CPR Verde, de projetos REDD+ e o valor do crédito de carbono da agropecuária calculado pela Embrapa Territorial.

Por fim, os valores econômicos de carbono perdido foram comparados com o valor da produção das atividades agropecuárias na área de estudo, identificadas através dos mapas de uso e cobertura do MapBiomas. Esta análise visou avaliar se

a geração de ativos de carbono representa uma alternativa econômica mais competitiva em relação à conversão das terras para a produção agrícola.

4.3 Estimativa monetária

A estimativa monetária foi realizada para mensurar o valor potencial dos créditos de carbono que poderiam ser gerados, com base na quantidade de CO₂ equivalente cuja emissão foi gerada em decorrência do desmatamento ocorrido no Matopiba.

A análise foi segmentada em três cenários, utilizando os preços de referência praticados no mercado voluntário de carbono em dois instrumentos financeiros específicos, os projetos de REDD+ e os títulos de Cédula do Produtor Rural Verde (CPR-Verde), e no valor do crédito de carbono da agropecuária estimado pela Embrapa.

Para a definição dos valores médios, foram utilizados os dados do *State of the Voluntary Carbon Markets* (SVCM, 2025), considerado um dos principais e mais abrangentes relatórios sobre o mercado voluntário de carbono, que é produzido anualmente pela organização sem fins lucrativos *Forest Trends*. O estudo indica uma grande divergência de preços do crédito de carbono baseado na qualidade e integridade dos projetos.

Os créditos de REDD+ possuem valores distintos, também baseados na qualidade e na integridade do projeto. Para a definição do valor monetário perdido em potenciais projetos REDD+, utilizou-se o valor base médio de US\$ 10 por tonelada de carbono equivalente. O valor se justifica pelos projetos praticados no Brasil, a Coalizão LEAF, iniciativa pública e privada internacional que inclui diversas corporações e os governos da Noruega, Reino Unido e República da Coreia pagaram US\$ 15 por tonelada de CO₂ equivalentes em projetos no Brasil. O relatório da SVCM (2025) indica o valor aproximado de US\$ 9,27 por tonelada para projetos do setor de floresta e uso da terra.

Para a estimativa do valor em títulos de CPR-Verde, utilizou-se o valor de R\$ 130,60 por tonelada equivalente, definido pelo projeto conservacionista *Green Guardians* (2024), que se trata de um projeto ambiental estruturado pela DiAx Group,

um conglomerado de empresas, com certificação internacional, atuando como um modelo inovador de financiamento sustentável.

O preço das emissões de carbono na agropecuária brasileira foi estimado em US\$ 11,54 por tonelada pela Embrapa Territorial (2025), valor embasado em trabalhos científicos de diversos países. Considerando fatores como o PIB do país, o nível de emissões de gases de efeito estufa, participação da agricultura na economia e o uso de fertilizantes nitrogenados.

Baseando-se nos valores definidos, considerando o dólar a R\$ 5,35 definido pelo Banco Central em novembro de 2025, foi possível alcançar o valor perdido em decorrência do desmatamento no Matopiba do ano de 2022 e 2024 e compará-lo com os valores da produção agropecuária na região, permitindo a discussão e análise de alternativas para a adoção de práticas mais sustentáveis na região.

Para a análise comparativa entre a produção agrícola e o mercado de carbono, o cálculo de estimativa do valor bruto da produção das principais *commodities* do Matopiba, soja, milho e algodão, foi realizado mediante o cruzamento de dados. O valor bruto estimado foi determinado a partir da multiplicação do preço médio por produto, fornecido pela Embrapa (2024), pela respectiva quantidade de produção projetada para a safra 2024/25, conforme os dados disponibilizados pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA, 2024).

A estimativa dos custos de produção para as culturas de soja, milho e algodão utilizou como referência os documentos técnicos elaborados pela Associação Brasileira dos Produtores de Soja (APROSOJA, 2025). Tais documentos detalham os cálculos baseados na soma de custos variáveis (insumos, defensivos), custos fixos (depreciação, manutenção) e custos operacionais (mão de obra, operações mecanizadas), resultando no custo de produção total por hectare para cada *commodity*. O lucro líquido foi, conseqüentemente, calculado pela subtração do custo total de produção do valor bruto alcançado pela produção.

Este período de 2022 a 2024 foi utilizado estritamente com o objetivo de comparar os valores da produção agropecuária com o potencial valor perdido no mercado e instrumentos de créditos de carbono, porém, não reflete a complexidade das mudanças na cobertura da terra na região do Matopiba.

Outro aspecto metodológico relevante é a necessidade de considerar que todos os valores monetários apresentados, tanto aqueles derivados da geração potencial de créditos de carbono quanto os da produção agropecuária, devem ser

interpretados como estimativas aproximadas. Embora os dados primários utilizados possuam um elevado grau de confiabilidade, oriundos de órgãos e entidades oficiais como Embrapa, MAPA e APROSOJA, eles representam projeções e médias que podem não espelhar a realidade de cada produtor ou a variação do mercado.

A opção pela estimativa dos preços brutos e líquidos da produção agropecuária se justifica pela ausência de dados projetados para o período da safra mais recente (2024/25) por parte de órgãos oficiais como o MAPA. Dessa forma, a estimativa foi necessária para preencher essa lacuna, utilizando-se a metodologia de cruzamento da quantidade produzida e a série de preços médios fornecidos pela Embrapa.

É fundamental reconhecer que a análise temporal de 2022 a 2024, embora reveladora das tendências recentes, não reflete a dinâmica histórica e complexa da ocupação do Matopiba. Adicionalmente, as estimativas de produção e custo operacional basearam-se em dados médios e projeções da CONAB, Embrapa e MAPA, servindo para fins comparativos de custo de oportunidade, mas não para representar valores exatos de produção e custo em toda a região do Matopiba.

5. Resultados e discussão

Os resultados alcançados permitiram analisar e avaliar o estoque de Biomassa Viva Acima do Solo (AGB), da Biomassa Abaixo do Solo (BGB), do Carbono Orgânico do Solo (COS), de serapilheira e madeira morta no território do Matopiba no ano de 2022. Todos os valores foram convertidos com o objetivo de estimar a massa total de matéria orgânica e o Dióxido de Carbono Equivalente em cada compartimento.

5.1 Biomassa Viva Acima do Solo

Em 2022, observou-se que a região do Matopiba possuía 2.271.874.613,64 toneladas de matéria orgânica na Biomassa Viva Acima do Solo. O total de CO₂eq presente na Biomassa Viva Acima do Solo resultou em 3.998.862.819,94 tCO₂eq.

Os resultados para a estimativa da Biomassa Viva Acima do Solo no território do Matopiba no ano de 2022 foram:

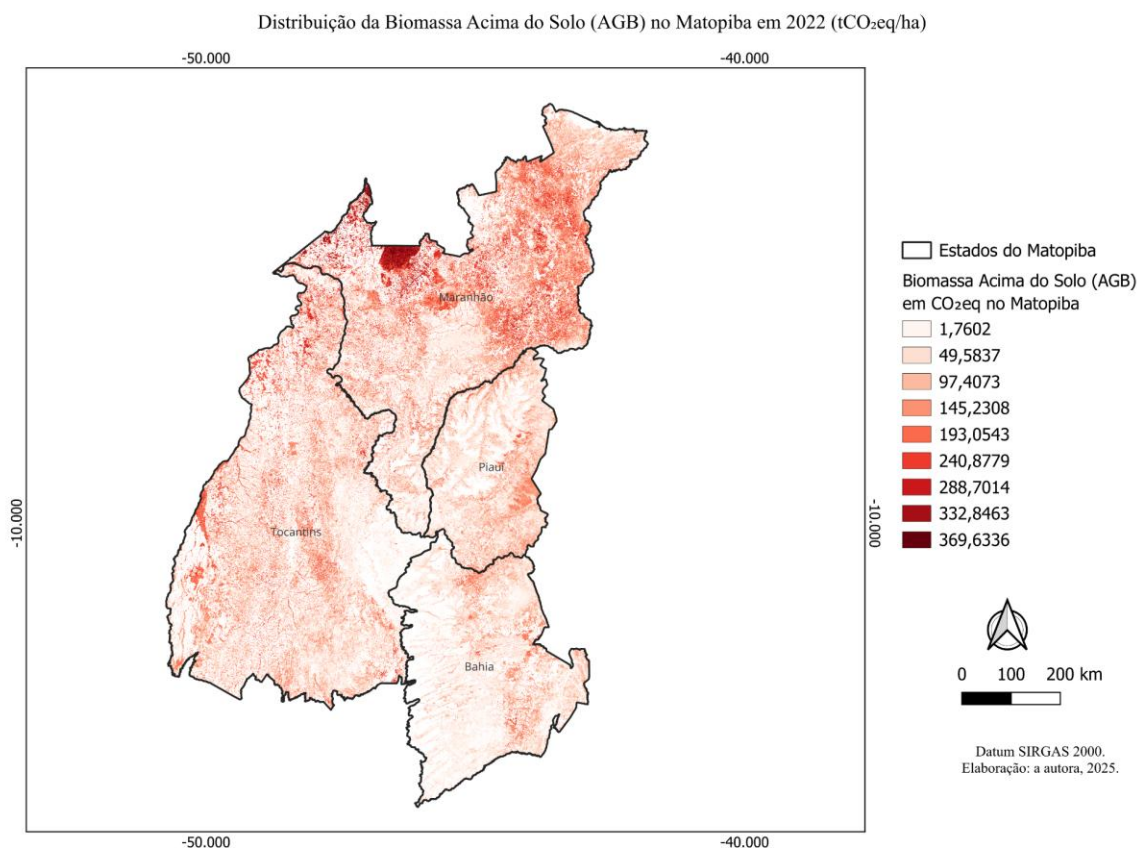
Tabela 2 - Massa total e CO₂eq na Biomassa Viva Acima do Solo no Matopiba para o ano de 2022.

	Massa Total (t)	CO ₂ eq (t)
Biomassa Viva Acima		
do Solo em 2022	2.271.874.613,64	3.998.862.819,94

O Mapa 2, ilustra a distribuição do dióxido de carbono equivalente na região do Matopiba no ano de 2022. Esta distribuição não é uniforme, revelando áreas de maior concentração de carbono armazenado. Algumas áreas se destacaram no acúmulo de CO₂eq, principalmente no estado do Maranhão. Os locais com maior acúmulo de carbono são as Terras Indígenas Araribóia, com área de 413 mil ha, e Cana Brava Guajajara, com área de 137 mil ha, ambas no estado do Maranhão.

A alta concentração de CO₂eq nessas áreas indígenas reforçam o papel crucial das Terras Indígenas na conservação ambiental e no enfrentamento às mudanças climáticas, retendo carbono e atuando como sumidouros vitais na região do Matopiba.

Mapa 2 - Quantidade de CO₂eq na Biomassa Acima do Solo no Matopiba em 2022 (tCO₂eq/ha).



Fonte: a autora, 2025.

O estado do Maranhão se destaca com um enorme potencial para a economia de carbono, caracterizado pela existência de um relevante excedente florestal dentro da região do Matopiba. O estado possui aproximadamente 19 milhões de hectares de cobertura florestal nativa, o que representa cerca de 58% do território. Estima-se que o estado possui 1,5 milhão de hectares de excedente florestal de Reserva Legal, com enorme potencial de geração de créditos (MAPBIOMAS, 2025).

As áreas úmidas têm um papel relevante na estabilização dos GEE e na contenção dos impactos da mudança do clima, atuando como sumidouros de carbono (MMA, 2019). No oeste do estado do Tocantins está localizada a bacia do Rio Tocantins-Araguaia, uma região de área úmida com destaque no acúmulo de CO₂eq, com valores variando de 240,87 tCO₂e/ha a 288,70 tCO₂e/ha.

A região do Matopiba que compreende o estado da Bahia é onde há a menor proporção de estoque de CO₂eq, dado que se justifica pela conversão das áreas nativas em atividades agropecuárias. Embora a fração presente no Cerrado ocupa

apenas 18% do território do estado, 51% da área desmatada está localizada no bioma.

Os cálculos e análises estatísticas da distribuição da Biomassa Acima do Solo foram realizados no *Google Earth Engine* utilizando a linguagem de programação *Javascript*.

Estes apontaram que, nas formações Florestais do Matopiba, em 2022, o valor de biomassa mínima foi de 1,26 t/ha e o máximo de 398,15 t/ha, resultando em uma média de 110,96 t/ha e uma moda de 119,07 t/ha. Para as formações Savânicas, em 2022, o valor mínimo foi de 1,66 t/ha e o máximo de 390,09 t/ha, resultando em uma média de 54,53 t/ha e uma moda de 9,10 t/ha.

Tabela 3 - Estatísticas da distribuição da Biomassa Acima do Solo no Matopiba para o ano de 2022.

Classe vegetal	Mínimo (t/ha)	Máximo (t/ha)	Moda (t/ha)	Média (t/ha)
Florestas	1,26	398,15	119,07	110,96
Savanas	1,66	390,09	9,10	54,53

Os valores de média e moda se justificam pelas características fisionômicas e estruturais da vegetação do Cerrado, onde grande parte do Matopiba está inserido. Os resultados obtidos evidenciam uma clara distinção no estoque de biomassa acima do solo entre as fitofisionomias da região, um achado coerente com a variação de vegetação do bioma Cerrado.

Nas formações Florestais, a alta média é esperada, porque possuem maior densidade de madeira e altura do dossel. A biomassa acumula-se em troncos mais grossos, galhos mais densos e copas fechadas, resultando em um elevado estoque de carbono. O valor da moda próximo à média indica que a distribuição da biomassa está concentrada em torno do valor média, ou seja, há uma maior homogeneidade nas áreas dessas formações. As áreas florestais, quando conservadas, possuem um estoque de biomassa similar.

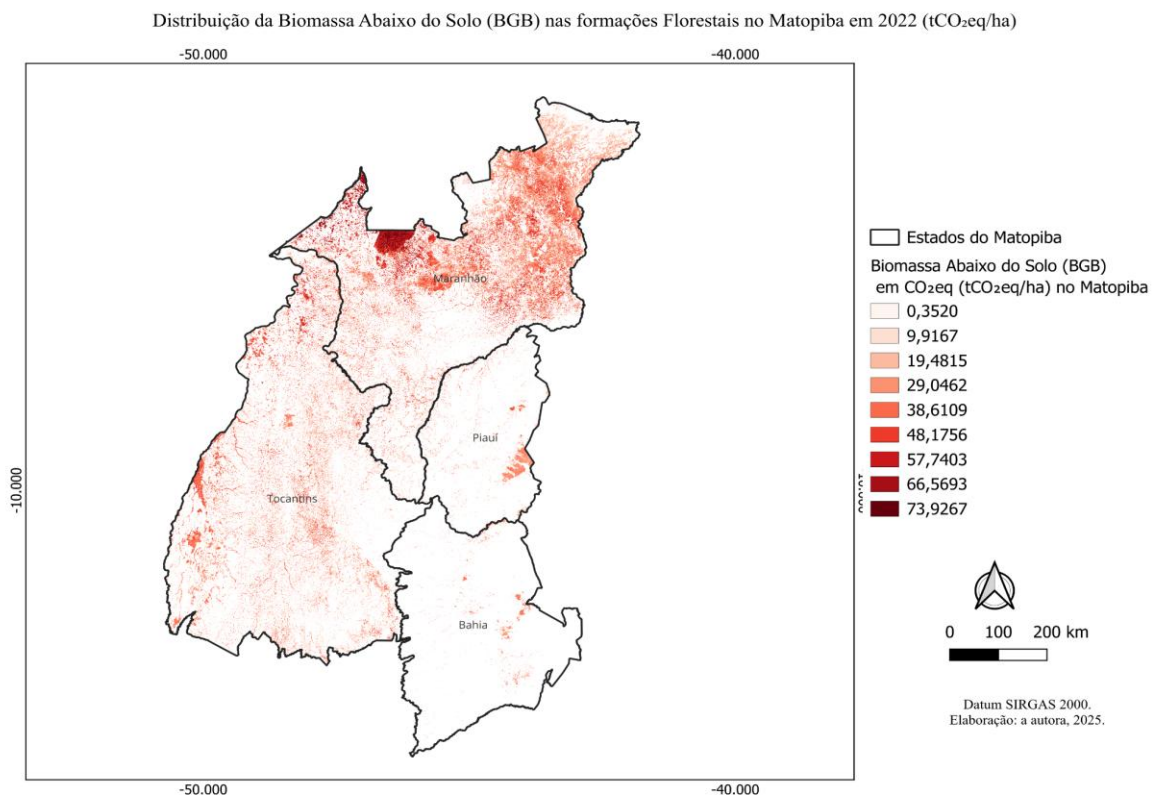
Por outro lado, as formações Savânicas apresentam uma a média menor devido à estrutura da savana. Estas são dominadas por vegetações de gramíneas, arbustos e árvores esparsas de menor porte. A maior parte da biomassa reside na

biomassa abaixo do solo, e não acima do solo, o que reduz o valor total de biomassa acima do solo. O valor da moda, muito inferior à média, indica uma distribuição altamente heterogênea e assimétrica da vegetação, justificado pela variação da vegetação que essa classe abrange.

5.2 Biomassa Abaixo do Solo

Para a estimativa da Biomassa Abaixo do Solo no Matopiba no ano de 2022, a vegetação foi dividida em duas classes, floresta e savana. Para a vegetação florestal, onde a BGB corresponde a 20% da AGB, analisou-se que o estoque total de BGB foi estimado em 240.461.353,97 de toneladas, com o dióxido de carbono equivalente resultando em 423.250.456,80 toneladas. No Mapa 3, é possível analisar a distribuição da quantidade de CO₂eq armazenado abaixo do solo nas formações florestais do Matopiba.

Mapa 3 - Quantidade de CO₂eq na Biomassa Abaixo do Solo nas formações Florestais no Matopiba em 2022 (tCO₂e/ha).



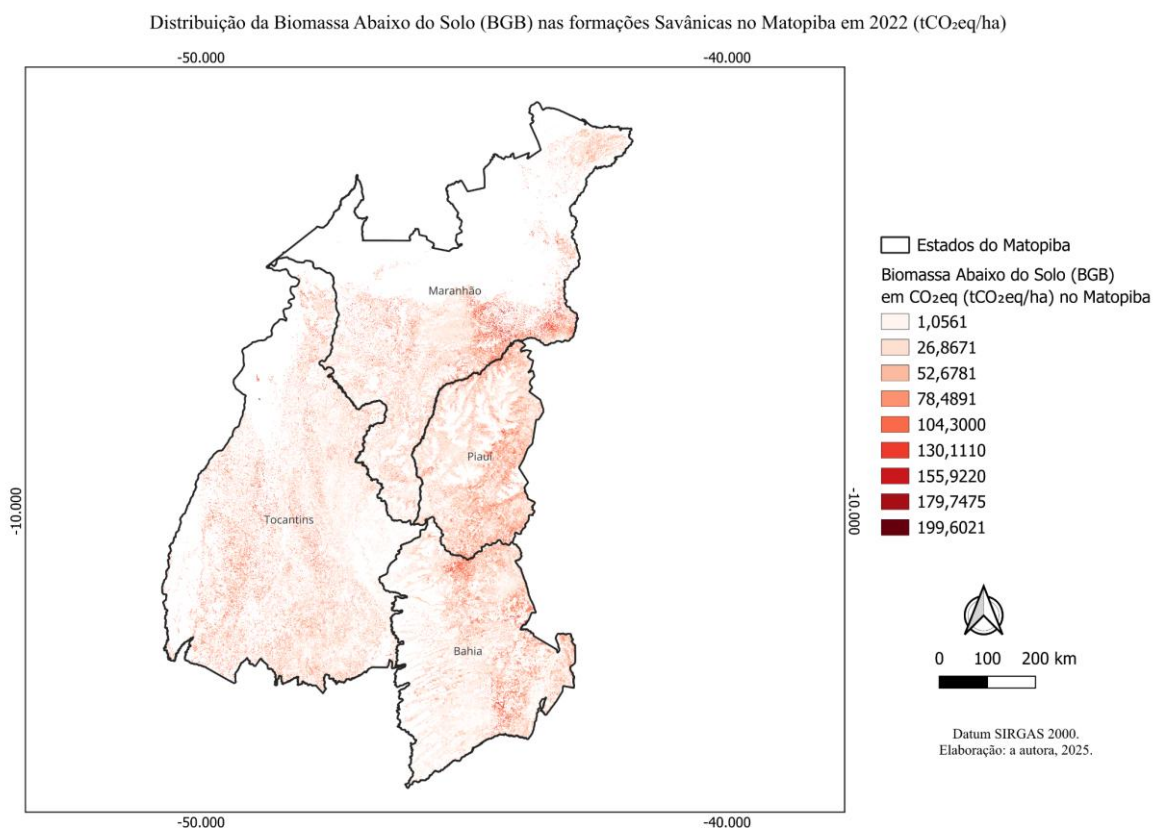
Fonte: a autora, 2025.

Para a classe da vegetação savânica, onde a BGB corresponde a 60% da AGB, analisou-se que o estoque total de BGB foi estimado em 498.971.568,44 toneladas, com o dióxido de carbono equivalente resultando em 878.269.795,92 toneladas. O alto fator reflete a adaptação da vegetação às condições edáficas e climáticas. O Cerrado é frequentemente descrito como uma “floresta de cabeça para baixo”, onde grande parte da biomassa e dos nutrientes são alocados em raízes profundas.

Na formação Florestal, o fator mais baixo (0,20) indica que a distribuição de biomassa se assemelha mais à de uma floresta tropical, com maior alocação de carbono na parte aérea. Portanto, embora o estoque total de AGB seja maior nas Florestas, o estoque de BGB é relevantemente maior nas formações Savânicas.

O Mapa 4 permite visualizar a distribuição espacial da quantidade de CO₂eq armazenado abaixo do solo nas formações savânicas do Matopiba. Esta quantificação é crucial para compreender a capacidade do Cerrado em armazenar carbono em seu subsolo.

Mapa 4 - Quantidade de CO₂eq na Biomassa Abaixo do Solo nas formações Savânicas no Matopiba em 2022 (tCO₂e/ha).



Fonte: a autora, 2025.

Os resultados para a estimativa da Biomassa Abaixo do Solo e o dióxido de carbono equivalente presente nesse compartimento no território do Matopiba no ano de 2022 foram:

Tabela 4 - Estoque total e CO₂eq na Biomassa Abaixo do Solo no Matopiba para o ano de 2022.

Classe vegetal	Total de BGB (t)	Total de CO₂eq na BGB (t)
Florestas	240.461.353,97	423.250.456,80
Savanas	498.971.568,44	878.269.795,92
TOTAL	739.432.922,41	1.301.520.252,72

Os resultados destacam que, apesar da densidade de AGB/ha nas formações Savânicas serem menores, o estoque total de é mais que o dobro do estoque das formações Florestais. Desse modo, pode-se concluir que a vegetação savânica do Matopiba é o reservatório de BGB mais volumoso.

5.3 Carbono Orgânico do Solo

Observou-se que em 2022 o Matopiba tinha um total de 587.064.296,82 tCOS em suas formações florestais e 1.071.059.783,93 em suas formações savânicas. No ano de 2023, possuía 579.349.623,13 tCOS nas florestas e 1.046.091.209,15 tCOS nas savanas, apresentando uma perda total de 32.683.284,47 tCOS no período estudado.

Os resultados do estoque de Carbono Orgânico do Solo para os anos de 2022 e 2023 na região do Matopiba foram:

Tabela 5 - Estoque de Carbono Orgânico do Solo no Matopiba para o ano de 2022 e 2023.

Formação vegetal	Total de COS 2022 (t)	Total de COS em 2023 (t)	Total perdido de 2022 a 2023 (t)
Florestas	587.064.296,82	579.349.623,13	7.714.673,69
Savanas	1.071.059.783,93	1.046.091.209,15	24.968.574,78
TOTAL	1.658.124.080,75	1.625.440.832,28	32.683.284,47

Para a região do Matopiba, o estoque médio de carbono orgânico do solo para formação florestal resultou em 40,80 t/ha e para formação savânica 36,83 t/ha no ano de 2022. No ano de 2023, último ano disponível na base de dados, a média para formação florestal resultou em 40,77 t/ha e 36,80 t/ha para formação savânica, os valores foram validados de acordo com o relatório do MapBiomass.

Os resultados do monitoramento temporal do COS (Tabela 5) destacam a vulnerabilidade do estoque de carbono no Matopiba. Observou-se uma perda total de 32.683.284,47 toneladas de COS entre 2022 e 2023, o que representa uma redução de 1,97% do estoque total em apenas um ano. Ao converter essa perda, estima-se a liberação de aproximadamente 120 milhões de toneladas de CO₂ equivalente para a atmosfera, posicionando a degradação do solo na região como fonte relevante de emissões.

A análise da distribuição revela que as formações Savânicas dominam o estoque, com mais de 1 bilhão de toneladas de COS, quase o dobro do valor encontrado nas formações Florestais. Essa superioridade no valor reforça o papel do Cerrado como uma “floresta invertida”, onde a maior parte da biomassa e, conseqüentemente, da matéria orgânica é alocada no subsolo, tornando as Savanas o reservatório de carbono mais volumoso e crucial na região.

A redução de COS é observada de forma mais intensa nas Savanas, que contabilizaram cerca de 76% da perda total. Esta diferença é atribuída à conversão de uso do solo e ao manejo inadequado que prevalece na fronteira agrícola. Essa rápida perda de carbono não apenas contribui nas emissões de GEE, mas também

tem implicações diretas na qualidade do solo e na sustentabilidade da produção agrícola.

Portanto, o declínio no COS é um indicador de degradação dos solos do Matopiba e demonstram a urgência de implementar práticas de manejo mais sustentáveis para proteger o estoque de carbono do solo. A degradação do solo é uma consequência direta da substituição da vegetação natural por pastagens e culturas anuais (PIVELLO, 2005).

5.4 Serapilheira e madeira morta

Na estimativa da quantidade de biomassa contidas na serapilheira e na madeira morta na região do Matopiba, observou-se que em 2022 nas formações florestais continham 24.046.135,39 toneladas e 48.092.270,79 toneladas, respectivamente. Nas formações savânicas, os valores resultaram em 16.632.385,61 toneladas e 33.264.771,22 toneladas.

Os resultados para a quantidade de biomassa contidos na serapilheira e madeira morta no ano de 2022 para a região do Matopiba foram:

Tabela 6 - Estoque de biomassa total de serapilheira e madeira morta no Matopiba para o ano de 2022.

Formação vegetal	Massa total de Serapilheira (t)	Massa total de Madeira Morta (t)	TOTAL (t)
Florestas	24.046.135,39	48.092.270,79	72.138.406,18
Savanas	16.632.385,61	33.264.771,22	49.897.156,83
TOTAL (t)	40.678.521,00	81.357.042,01	122.035.563,01

A massa total da camada superficial do solo formada por restos de plantas, a Serapilheira, foi de 40.678.521,00 toneladas. Para a Madeira Morta, o resultado total foi de 81.357.042,01 toneladas. Convertidos os valores para CO₂eq nesses

compartimentos, verificou-se o total de 71.600.705,52 tCO₂eq em serapilheira e 143.201.411,06 tCO₂eq na madeira morta:

Tabela 7 - Estoque total de CO₂eq na serapilheira e na madeira morta no Matopiba para o ano de 2022.

Compartimento	Serapilheira	Madeira Morta	TOTAL
tCO₂eq	71.600.705,52	143.201.411,06	214.802.116,58

Os resultados da quantificação do estoque de biomassa em Serapilheira e Madeira Morta, totalizando 214,8 milhões de toneladas de CO₂eq na região do Matopiba, revelam a importância desses compartimentos para a ciclagem biogeoquímica e a dinâmica do fogo. Observou-se que as formações Florestais concentram o maior estoque, mais de 72 milhões de toneladas, o que é coerente com a maior produção de AGB nessas fisionomias, resultando em maior aporte de detritos lenhosos e foliares.

A serapilheira atua como a principal via de transferência de nutrientes da vegetação para o solo. Em solos de Cerrado, naturalmente intemperizados e ácidos, a decomposição dessa camada é o que sustenta a produtividade primária líquida e o provimento de serviços ecossistêmicos. Além do carbono, esse compartimento reduz a evaporação direta do solo e amortece o impacto das chuvas sazonais intensas no Matopiba, prevenindo a erosão e favorecendo a infiltração de água para os aquíferos.

O compartimento de Madeira Morta, com mais de 81 milhões de toneladas, armazena cerca do dobro do carbono de Serapilheira. Esta proporção indica que grande parte da biomassa superficial possui um longo tempo de residência, atuando como um reservatório de decomposição lenta e mais estável, retendo o carbono por décadas (PAGEL, 1989).

No entanto, o acúmulo de carbono nesses compartimentos confere uma alta vulnerabilidade ao ecossistema. O mesmo material que provê serviços ecossistêmicos representa o risco de incêndios severos.

No Cerrado, a serapilheira é classificada como combustível de ignição rápida, enquanto a madeira morta apresenta alta severidade e persistência do fogo. O acúmulo de 122 milhões de toneladas de biomassa seca (Tabela 6) representa uma carga energética latente que, sob condições de baixa umidade relativa e altas

temperaturas, pode transformar um fogo de superfície em um incêndio de alta intensidade (MENDONÇA et al., 2012).

O risco reside na conversão de um sumidouro de carbono, com o estoque superficial de 214,8 milhões de toneladas de CO₂eq, em uma fonte de emissão, além de eliminar a proteção do solo, levando à perda de carbono orgânico do solo. Portanto, a conservação da cobertura florestal são cruciais para manter a função da serapilheira e da madeira morta como elos na ciclagem.

5.5 Estoque Total da Biomassa e do Carbono Equivalente presente no território do Matopiba em 2022

Para a estimativa do estoque total da biomassa presente no território do Matopiba em 2022, os valores de AGB, BGB, serapilheira e matéria morta foram somados, resultando em 3.133.343.099,06 toneladas. Para a quantidade de CO₂eq presente na biomassa total, observou-se o valor total de 5.515.185.189,24 toneladas. No Mapa 5, é representada a distribuição da quantidade de dióxido de carbono equivalente presente na biomassa total do Matopiba no ano de 2022.

Os resultados para a quantidade do estoque total da biomassa presente no território do Matopiba em 2022 foram:

Tabela 8 – Estoque de Biomassa e CO₂eq no Matopiba para o ano de 2022.

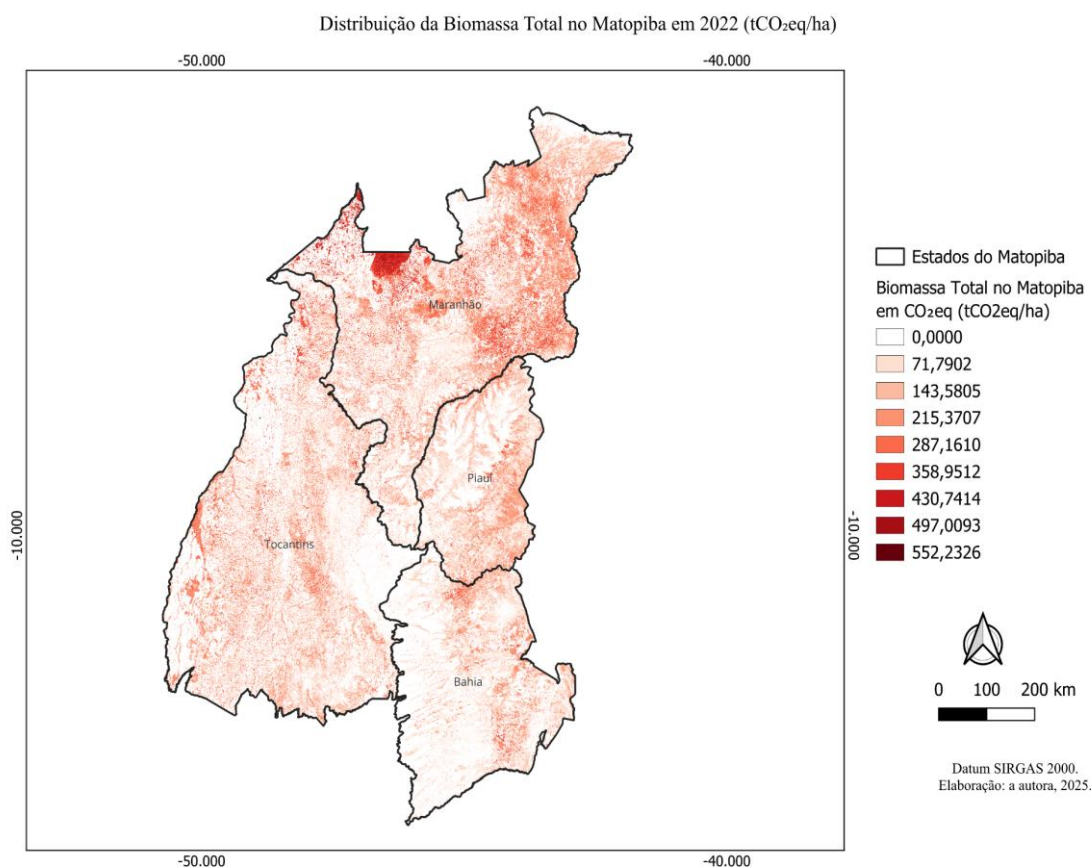
	Massa Total (t)	CO₂eq (t)
Estoque Total no Matopiba em 2022	3.133.343.099,06	5.515.185.189,24

Os resultados do estoque total de toneladas de CO₂eq presentes em todos os compartimentos estudados da região do Matopiba no ano de 2022 corresponderam a:

Tabela 9 – Estoque total de CO₂eq em todos os compartimentos do Matopiba para o ano de 2022.

Compartimento	tCO ₂ eq
Biomassa Acima do Solo	3.998.862.819,94
Biomassa Abaixo do Solo	1.301.520.252,72
Carbono Orgânico do Solo	6.080.341.004,11
Madeira Morta	143.201.411,06
Serapilheira	71.600.705,52
Estoque total de CO₂eq	11.595.526.193,35

Mapa 5 - Quantidade de CO₂eq na Biomassa Total no Matopiba em 2022 (tCO₂e/ha).



Fonte: a autora, 2025.

Para alcançar o resultado da quantidade total do dióxido de carbono equivalente estocados no território do Matopiba em 2022, os valores de AGB, BGB,

serapilheira, matéria morta e COS foram somados e devidamente convertidos, resultando em 11.595.526.193,35 toneladas de CO₂eq.

O resultado da estimativa total da quantidade de dióxido de carbono equivalente presente na região do Matopiba no ano de 2022 foi:

Tabela 10 - Estoque de CO₂eq total no Matopiba para o ano de 2022.

	CO₂eq (t)
CO₂eq total no Matopiba em 2022	11.595.526.193,35

O estoque total de 11,6 bilhões de CO₂eq presente no Matopiba em 2022 confirma o papel estratégico da região não apenas como fronteira agrícola nacional, mas principalmente como sumidouro de carbono de relevância global. A distribuição desse carbono, com a dominância do Carbono Orgânico do Solo e da Biomassa Viva Acima do Solo, aponta a necessidade de uma gestão territorial que equilibre o desenvolvimento produtivo com a preservação dos remanescentes de Cerrado. Qualquer política de desmatamento ou manejo inadequado do solo no Matopiba, especialmente a conversão das áreas de Savana ricas em COS, representa um risco sistêmico para o cumprimento das metas brasileiras de mitigação climática.

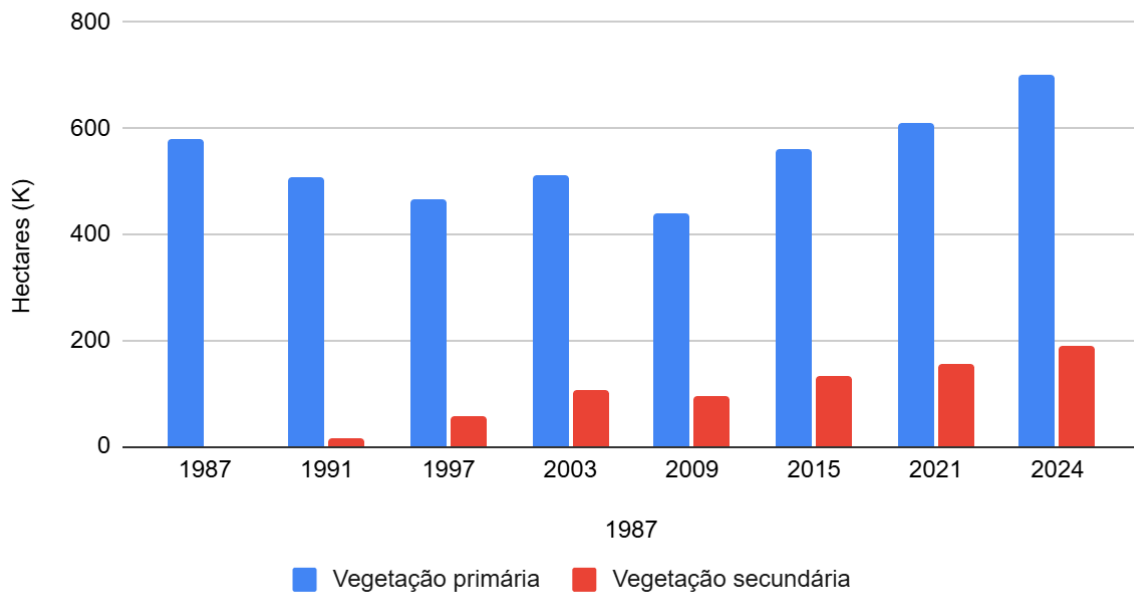
O estoque total de CO₂eq no Matopiba de aproximadamente 11,6 bilhões de toneladas equivale a aproximadamente 5 anos das emissões brutas totais dos Gases de Efeito Estufa do Brasil. Estima-se que, no ano de 2024, o país tenha liberado aproximadamente 2,14 bilhões de toneladas de GEE (SEEG, 2024).

5.6 Mudanças na cobertura da terra no Matopiba

O Gráfico 1 permite verificar que historicamente o desmatamento em vegetação primária na região do Matopiba tem se mantido em valores elevados, indicando uma pressão constante e contínua da expansão do agronegócio na região.

Gráfico 1 - Desmatamento em vegetação primária e secundária no Matopiba de 1987 a 2024.

Desmatamento em vegetação primária e secundária no Matopiba de 1987 a 2024

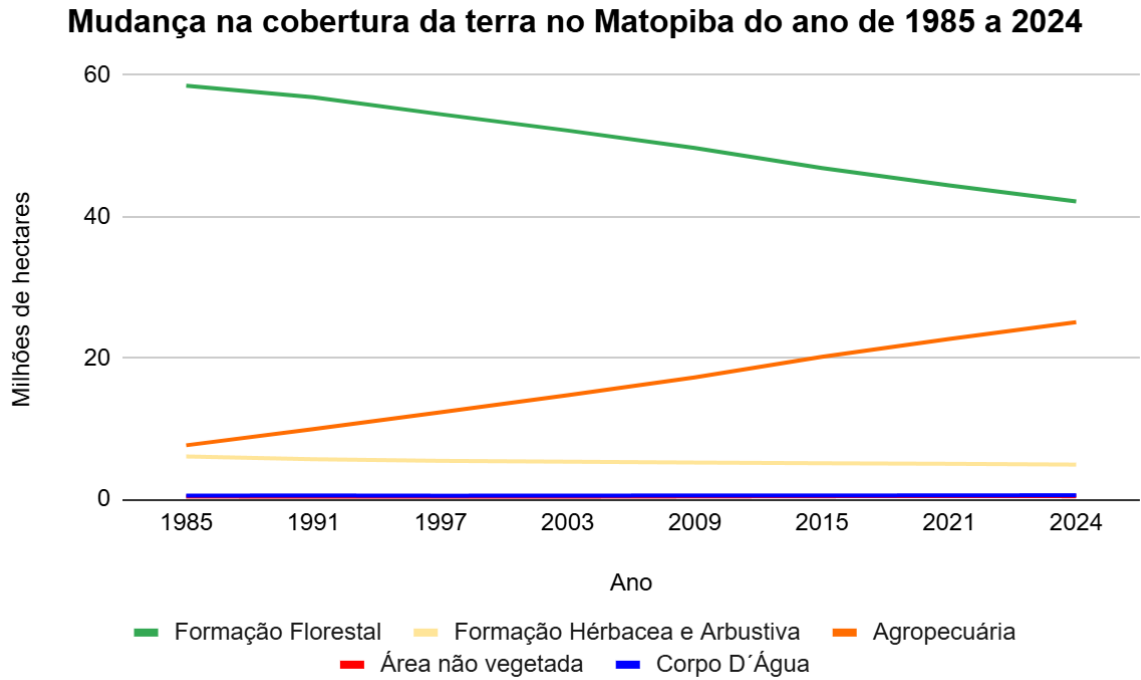


Fonte: MapBiomas, 2025.

A ausência de dados de monitoramento para o ano de 1987, particularmente sobre desmatamento em vegetação secundária (áreas que já foram desmatadas e estão em processo de regeneração), não implica que o desmatamento não ocorreu nesse período.

O desmatamento no Cerrado e conseqüentemente no Matopiba historicamente apresenta uma maior constância com valores elevados. O principal motor do desmatamento é a expansão da fronteira agrícola. Como o bioma é visto como uma área de produção consolidada e possui um menor percentual de proteção legal, a pressão para conversão da vegetação nativa em atividades agropecuárias tem sido contínua e menos suscetível a quedas ligadas à fiscalização, mantendo uma elevada taxa de supressão de vegetação nativa ao longo das décadas.

Gráfico 2 - Alterações na cobertura da terra no Matopiba do ano de 1985 a 2024.



Fonte: MapBiomas, 2025.

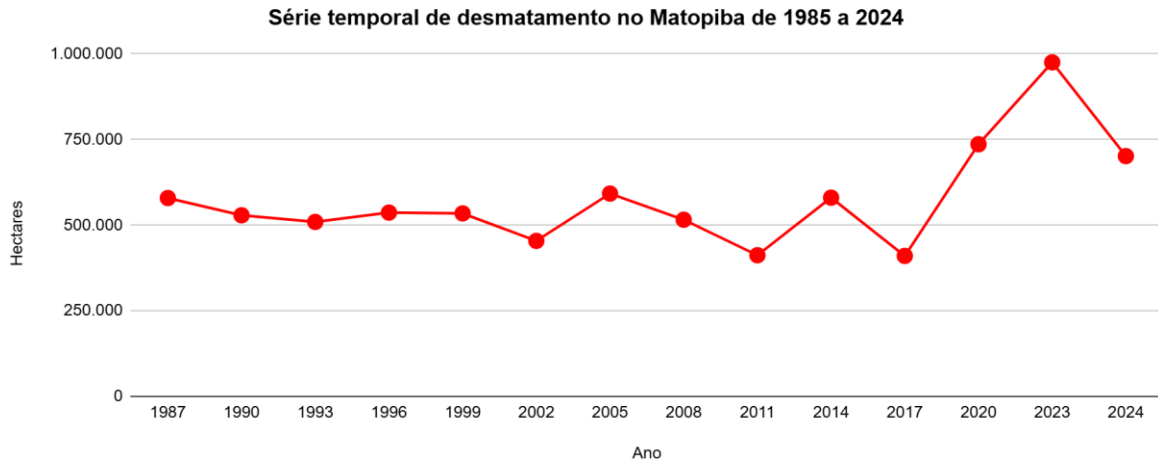
Em apenas 39 anos, a área destinada a agropecuária mais que dobrou, passando de 5,6 milhões para 14,6 milhões de hectares, o que representa um aumento de 258% e um avanço contínuo sobre a vegetação nativa.

Os dados indicam que há um acelerado processo de conversão de áreas naturais para atividades agropecuárias, os principais usos do solo são as pastagens e as culturas anuais e perenes.

Essas atividades avançaram principalmente sobre as formações savânicas, predominantes na região. No ano de 2024, o desmatamento em formações savânicas continuou predominando sobre a perda de vegetação nativa em formações florestais (MAPBIOMAS, 2025).

Em 1985, o Matopiba possuía vegetação nativa ocupando cerca de 88,3% do seu território, com 80% de florestas e 8,3% de herbáceas e arbustivas. No ano de 2024, a vegetação nativa ocupava 64,3% do território, com 57,6% de florestas e 6,7% de herbáceas e arbustivas.

Gráfico 3 - Série temporal do desmatamento no Matopiba do ano de 1985 a 2024.



Fonte: MapBiomias, 2025.

A série temporal de desmatamento no Matopiba, abrangendo o período de 1985 a 2024 (Gráfico 3), evidencia a pressão crescente e persistente sobre a vegetação nativa da região. Análises detalhadas dos anos recentes mostram uma aceleração preocupante. Em 2021, o desmatamento no Matopiba atingiu um pico histórico. Em 2022, registou um aumento de 37% em relação ao ano anterior. O ano de 2023 registrou o recorde histórico da série.

Essa aceleração do desmatamento entre 2017 e 2023 reflete a situação alarmante que o Cerrado, especialmente na região do Matopiba, tem enfrentado. Apesar de uma redução observada no ano de 2024, a área desmatada na região permanece em um patamar superior aos valores históricos de grande parte da série.

A análise dos dados históricos de cobertura da terra confirma que o Matopiba se estabeleceu como o principal epicentro da expansão da fronteira agrícola no Brasil. Essa pressão se traduz em uma aceleração alarmante na taxa de desmatamento, culminando em 2023 com o Matopiba assumindo a liderança nacional em área desmatada, ultrapassando a Amazônia e atingindo um recorde histórico para a série temporal (MAPBIOMAS, 2025).

Atualmente, o Cerrado continua sendo o bioma com a maior área desmatada entre todos os biomas brasileiros, respondendo por mais da metade do total da área desmatada do país em anos recentes. A Tabela 8 apresenta os estados do Matopiba

com a porcentagem referente ao bioma Cerrado, com a área e a porcentagem do desmatamento ocorridas em áreas de cerrados.

Tabela 11 - Área (hectares) e porcentagem do desmatamento no Matopiba em áreas de Cerrado em 2024.

Estado	% do bioma na UF	Área (ha)	%
Maranhão	66%	208.151	95,4%
Tocantins	91%	152.413	99,4%
Piauí	53%	109.364	76,50%
Bahia	18%	67.959	51,0%

Fonte: MapBiomias, 2025.

O Maranhão emergiu como o líder de desmatamento na região desde 2023 e o estado da Bahia ocupou o quinto lugar, com um aumento no desmatamento de 95,1%. Todos os 10 municípios com maior área desmatada no Cerrado em 2023 estão localizados no Matopiba (MAPBIOMAS, 2025).

A análise da Tabela 8 reforça a intensidade da pressão, com os estados do Tocantins (99,4%) e Maranhão (95,4%) concentrando o desmatamento nas áreas de Cerrado. Mesmo na Bahia, onde o Cerrado ocupa apenas 18% do estado, ele concentra 51% de todo o desmatamento, indicando o tamanho da pressão sobre o bioma.

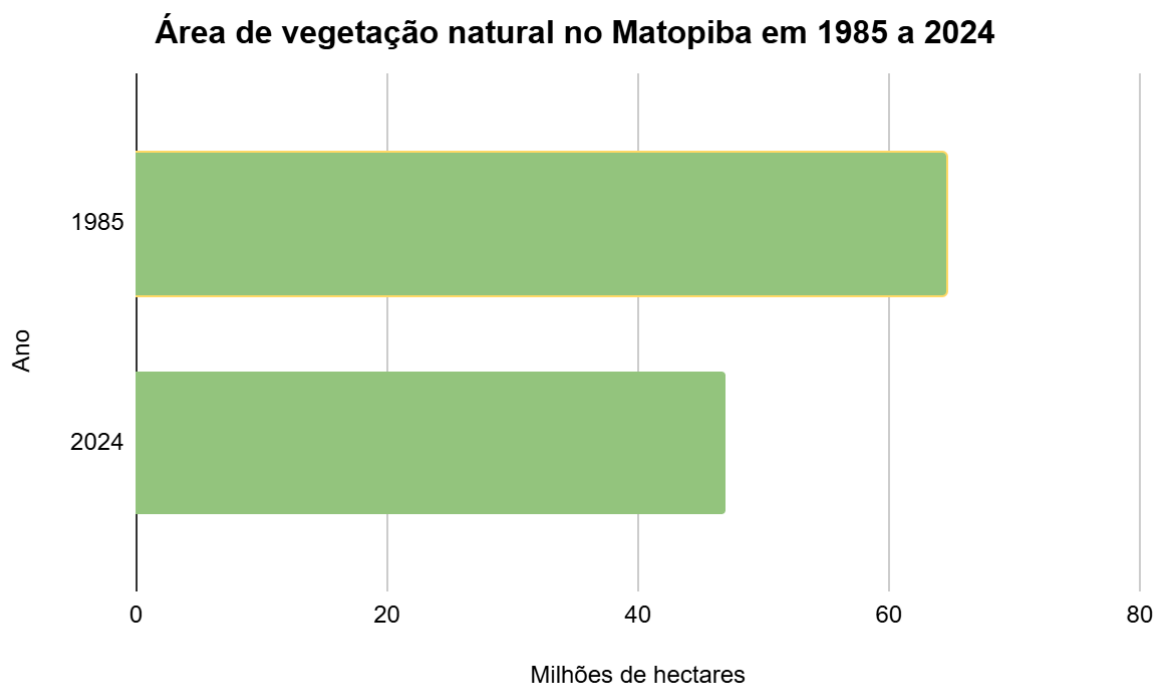
A continuidade de taxas elevadas de desmatamento no Matopiba, mesmo diante de metas climáticas nacionais, está intrinsecamente ligada à ausência de proteção legal ao bioma Cerrado. O bioma é visto como uma área de produção consolidada e, conseqüentemente, o desmatamento é menos suscetível a quedas ligadas à fiscalização.

Um achado relevante é a legitimidade da perda de carbono, onde mais de 55% da área desmatada na Bahia nos últimos seis anos ocorreu sob autorização legal, ressaltando que grande parte da supressão de vegetação está em conformidade com o Código Florestal vigente. O cenário é agravado pelo desalinhamento das políticas públicas de fomento, dados indicam que, no ano de 2024, glebas associadas a

operações de crédito rural público apresentam sobreposição com alertas de desmatamento, com destaque para o Piauí, Maranhão e o Tocantins (MAPBIOMAS, 2025). Este dado aponta a falha de governança onde os incentivos financeiros do Estado estão em contradição com os objetivos de mitigação climática, impulsionando a conversão de um bioma que armazena cerca de 11,6 bilhões de toneladas de CO₂eq.

É na região do Matopiba que está concentrado 75% do desmatamento do Cerrado em 2024. Com destaque para a destruição das formações savânicas, seguidas pelas formações florestais e campestres. Em 1985, a região do Matopiba possuía cerca de 64,5 milhões de hectares ocupados por vegetações nativas. No ano de 2024, a região possuía cerca de 47 milhões de hectares. Uma redução de 27,13% em vegetação nativa em 39 anos de análise, conforme o Gráfico 4.

Gráfico 4 - Área de vegetação natural no Matopiba em 1985 e 2024.



Fonte: MapBiomias, 2025.

A expansão agropecuária tem avançado sobre as formações Savânicas, que historicamente compunham uma vasta área do território do Matopiba, respondendo pela maior parte da perda de vegetação nativa. Conforme observado nas seções anteriores, as formações Savânicas são o maior reservatório de Carbono Orgânico

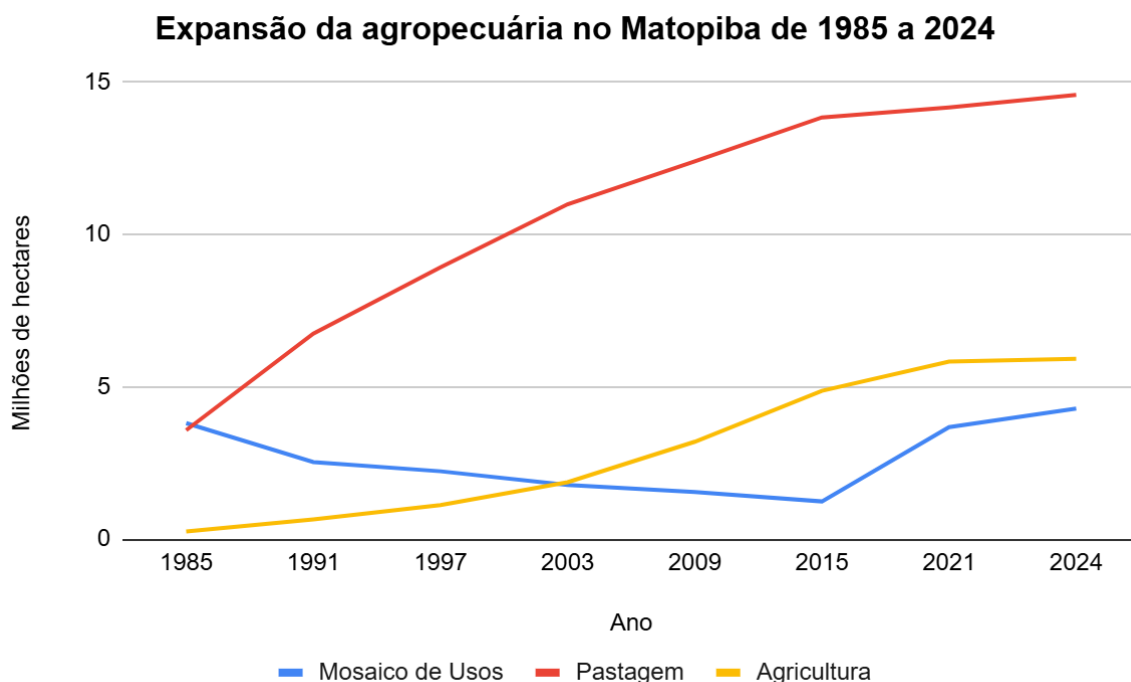
do Solo da região. A conversão dessas vegetações implica a destruição da maior parte desse estoque de carbono subterrâneo, resultando na aceleração da mineralização da matéria orgânica e na consequente liberação de CO₂eq para a atmosfera (KLINK e MACHADO, 2005).

A agropecuária é o principal vetor da pressão de desmatamento no país, com mais de 97% da perda de vegetação nativa nos últimos seis anos em decorrência dessas atividades (MAPBIOMAS, 2025).

A expansão da agropecuária é o principal vetor responsável pelo desmatamento na região do Cerrado e no Matopiba. O Cerrado perdeu 19,8% de sua vegetação nativa de 1985 a 2020, a expansão da agropecuária no mesmo período foi quase complementar: 26,2 milhões de hectares destinados à atividade. Atualmente, a agropecuária ocupa cerca de 44,2% do Cerrado.

Na região do Matopiba, em 1985, as atividades agropecuárias ocupavam 7,6 milhões de hectares, cerca de 10,5% do território. No ano de 2024, a agropecuária ocupava pouco mais de 25 milhões de hectares, correspondendo a 34,3% da região. No Gráfico 5 é possível verificar o rápido crescimento das atividades agropecuária do ano de 1985 a 2024.

Gráfico 5 - Expansão das atividades agropecuárias no Matopiba do ano de 1985 a 2024.



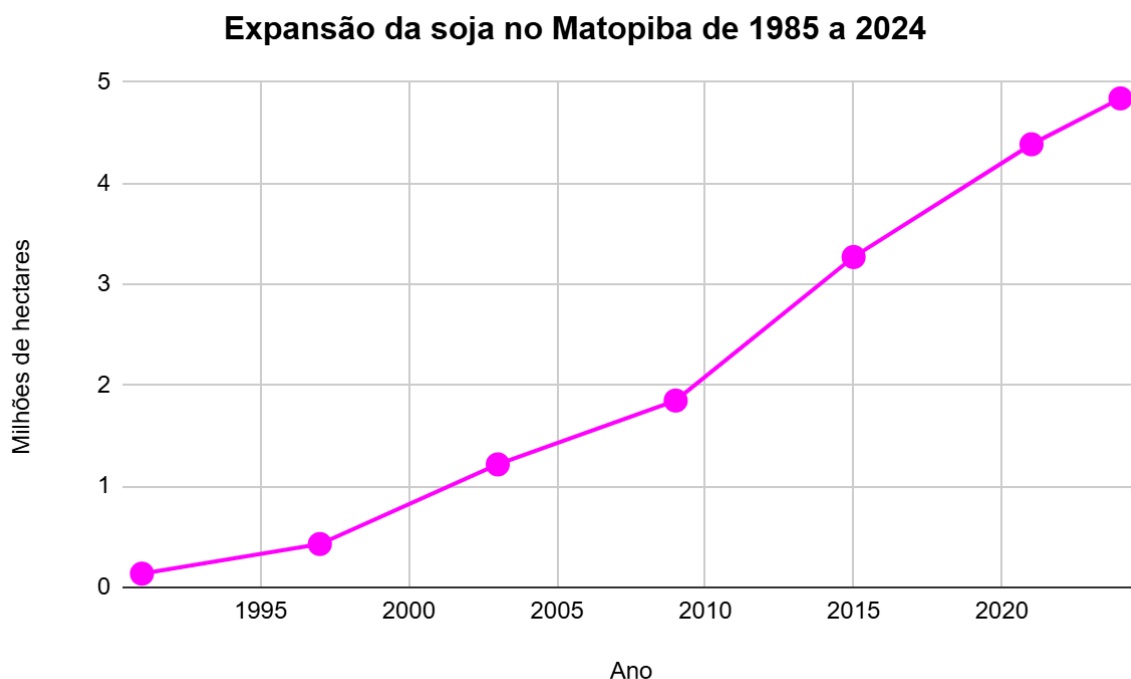
Fonte: MapBiomias, 2025.

A conversão do bioma em áreas agrícolas e pastagens implica em uma série de impactos ambientais, com o aumento na emissão de gases de efeito estufa, a perda de solos e de biodiversidade, contaminação dos recursos hídricos, dentre outros (PIVELLO, 2005; KLINK e MACHADO, 2005).

As condições climáticas, o relevo com baixa declividade, o baixo preço das terras e as políticas públicas implementadas pelo Estado tornaram o Cerrado a principal região a ser explorada pelo setor agropecuário, assim o bioma se tornou uma região estratégica para a agricultura brasileira, tornando-se o principal ator da agropecuária nacional (FERRAZ et al., 2021). No período de 1985 a 2024, houve um aumento de área para atividades agropecuárias no Cerrado de 68,57% (MAPBIOMAS, 2025).

A expansão da soja no Matopiba é notável na produção e na economia regional e nacional, responsável por consolidar a região como a nova fronteira agrícola brasileira. Houve um elevado crescimento na produção e na área plantada de soja na região nas últimas décadas (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Expansão da soja na região do Matopiba de 1985 a 2024.



Fonte: MapBiomias, 2025.

Em um recorte temporal de 1985 a 2024, a soja expandiu quase 5 milhões de hectares. No ano de 1985, apenas 1.367 hectares da região eram ocupados por essa cultura. Em 2024, cerca de 4,8 milhões de hectares já eram ocupados pela sojicultura, o que representa um aumento correspondente a 353.960%, consolidando o Matopiba como uma região estratégica para a agricultura nacional.

Na Tabela 9, é possível verificar o ganho da área agropecuária e da perda da área florestal na região do Matopiba, em hectares e porcentagem, entre os anos analisados de 2022 a 2024:

Tabela 12 - Ganho de área de agropecuária e perda de área florestal na região do Matopiba, entre 2022 e 2024.

Área	Ganho de Área Agropecuária (ha)	Perda de Área Florestal (ha)	Ganho de Área Agropecuária (%)	Perda de Área Florestal (%)
Matopiba	1.675.498	1.593.555	7,16%	3,64%

Os dados refletem a forte pressão do agronegócio sobre a vegetação nativa do Cerrado, bioma predominante na região. A tendência de expansão da agropecuária e a perda de área florestal têm sido notavelmente aceleradas na região do Matopiba. O crescimento é um reflexo do sucesso produtivo do agronegócio brasileira na região, mas que ao mesmo tempo, impõe um grande desafio ambiental para garantir o desenvolvimento sustentável da região.

O ganho de 1,67 milhão de hectares em agropecuária em apenas dois anos é uma taxa de conversão alta, o que valida a perda anual do COS e a pressão sobre a AGB da região, evidenciando a intensidade da conversão e o impacto direto sobre os estoques de carbono da região.

5.7 Estimativas monetárias do preço do desmatamento e da produção agropecuária

Para estimar o valor perdido em decorrência do desmatamento no Matopiba, os valores do pixel onde houve desmatamento foram convertidos para zero. Com isso, foi possível concluir que o desmatamento gerou a emissão de 175.687.660,58 tCO₂eq, do período de 2022 a 2024.

Os resultados do preço perdido em decorrência do desmatamento no Matopiba foram:

Tabela 13 – Mecanismo e estimativa dos preços do desmatamento no Matopiba de 2022 a 2024.

Mecanismo	Valor tCO ₂ eq (R\$)	R\$ Total perdido (2022-2024)
Crédito Agropecuária	61,73 <small>(Embrapa Territorial, 2025)</small>	10.849.522.618,34
CPR-Verde	130,60 <small>(Green Guardians, 2024)</small>	22.944.808.471,74
REDD+	53,50 <small>(SVCM, 2025)</small>	9.399.289.841,03

Os valores estimados para a safra 24/25, referentes aos principais produtos agrícolas do Matopiba, foram calculados com base em duas fontes primárias: o preço médio fornecido pelo Relatório de Produção Agropecuária da Embrapa (2025) e a quantidade de produção projetada para a safra, conforme dados do Ministério da Agricultura e Pecuária (2025).

A estimativa dos valores brutos alcançados pela produção das principais *commodities* no Matopiba na Safra 2024/25 resultaram em:

Tabela 14 - Estimativa dos valores brutos da produção agropecuária na Safra 2024/25.

Produto	Unidade	R\$ (2023)	Safra 24/25 (t)	Total Bruto R\$
Soja	R\$/kg	2,33	32 milhões	74.560.000.000
Milho	R\$/kg	1,24	9 milhões	11.160.000.000
Algodão	R\$/kg	10,39	715 mil	7.428.850.000
TOTAL	-	-	-	93.148.850.000

Neste contexto, é possível constatar que a viabilidade de um projeto de carbono no bioma Cerrado concorre diretamente com o elevado custo de oportunidade imposto pelas culturas de soja, milho e algodão. O principal desafio reside no fato de que os estoques de carbono do Cerrado são relativamente menores, uma vez que a biomassa presente em seus ecossistemas heterogêneos, que se alternam entre florestas, savanas e gramíneas, é expressivamente menor.

Essa disparidade é evidenciada pela análise econômica onde o valor bruto estimado da produção da soja em uma única safra (2024/25) é aproximadamente sete vezes superior ao valor potencial gerado por projetos de REDD+ no período de 2022 a 2024. Tal constatação demonstra a magnitude do desafio na implementação de iniciativas de conservação de carbono no bioma, reforçando a relevância econômica da produção agropecuária no Matopiba.

Adicionalmente, ao considerar-se o custo de produção de soja por hectare para a safra 2024/25, estimado em R\$ 6.170,61//ha pela Associação Brasileira dos Produtores de Soja (APROSOJA, 2024), e a área total plantada no Matopiba, o custo total de produção da soja para o ano de 2024 atingiu R\$ 29.869.917.561,75. Assim, o lucro líquido obtido com a produção de soja aproximou-se de R\$ 44.690.082.438,25, um valor que supera com relevância as perdas financeiras atribuídas ao desmatamento.

O milho constitui a segunda cultura de maior proeminência na produção agrícola do Matopiba. Para esta cultura, o custo de produção por hectare foi estimado em R\$ 4.474,70 (APROSOJA, 2024). Considerando-se uma área plantada de, aproximadamente, 2.267 milhões de hectares (CONAB, 2024), o custo total de produção alcança R\$ 10.144.144.900.

Entretanto, o lucro líquido obtido apresenta uma margem menor, totalizando R\$ 1.015.855.100. Esta baixa rentabilidade é consistente em análises recentes da APROSOJA (2024), que indicam uma redução nas margens de lucro da cultura do milho nos últimos anos, resultando, em alguns casos, em valores reduzidos ou até mesmo em prejuízos para os produtores da região.

O custo de produção por hectare do algodão para a safra 2024/25 é de aproximadamente R\$ 13.300. Considerando-se a área plantada no Matopiba, que totalizou cerca de 133.339 hectares em 2024 (MAPBIOMAS, 2025), o custo operacional total da cultura atingiu R\$ 1.773.408.700,00. O lucro líquido estimado para a mesma safra alcançou R\$ 5.655.441.300.

Considerando os dados apresentados, a cultura do algodão é que demonstra a maior rentabilidade líquida por hectare em comparação à soja e ao milho, apresentando maior eficiência econômica.

Portanto, o compilado dos resultados é apresentado nas Tabelas 15 e 16. Nelas, confrontam-se o custo atribuído ao desmatamento na região do Matopiba (período de 2022 a 2024) com os valores brutos estimados da produção e os valores de lucro líquido estimados para as *commodities* de algodão, milho e soja (safra 2024/25).

Tabela 15 - Estimativa dos valores brutos e líquidos da produção agropecuária na Safra 2024/25.

Produto	Total Estimado Bruto	Total Estimado Líquido
	Safra 24/25 (R\$)	Safra 24/25 (R\$)
Soja	74.560.000.000	44.690.082.438,25
Milho	11.160.000.000	1.015.855.100
Algodão	7.428.850.000	5.655.441.300
TOTAL	93.148.850.000	51.361.378.838,25

Tabela 16 - Estimativa do preço do desmatamento no Matopiba de 2022 a 2024.

Mecanismo	R\$ Total perdido (2022-2024)
Crédito Agropecuária (Embrapa Territorial)	10.849.522.618,34
CPR-Verde	22.944.808.471,74
REDD+	9.399.289.841,03

O lucro líquido da produção de soja em uma única safra, cerca de R\$ 44,7 bilhões em 2024/25, supera, em diversas vezes, o valor total potencial gerados pelos mercados de carbono, variando de R\$ 9,4 a R\$ 22,9 bilhões no período de 2022 a 2024. Essa disparidade numérica evidencia que o potencial econômico do crédito de carbono, em sua configuração atual, não é suficiente para competir com a rentabilidade da conversão de vegetação nativa, o que explica a persistência do desmatamento na região.

Uma vertente de estudiosos defende que o mercado de carbono é a solução mais viável para a conservação do bioma nativo, pois atribui valor econômico tangível à floresta em pé, fator historicamente ignorado pelo mercado de *commodities*. Para essa corrente, a consolidação de um mercado regulado e a valorização do preço da tonelada de carbono poderiam atingir um ponto de equilíbrio onde o custo de oportunidade de não desmatar se tornaria atrativo, transformando o ativo ambiental na principal salvaguarda contra a expansão da fronteira agrícola.

Em oposição, críticos argumentam que a financeirização da natureza é insuficiente e perigosa, submetendo a proteção do bioma à volatilidade global e funcionando, por vezes, apenas como uma licença para poluir, sem promover uma mudança estrutural no modelo de produção.

A relevância da produção agropecuária no Matopiba é bastante elevada, especialmente na produção de grãos como a soja, que se consolidou como o motor econômico da região. A disparidade é clara quando se compara o retorno financeiro da conservação com o da produção de *commodities* na região. A produção da soja no Matopiba tem um valor bruto muito elevado, sendo a cultura de maior relevância

no Cerrado, com o crédito rural atuando como forte incentivo à expansão da produtividade.

Embora o mercado de carbono no Brasil esteja em fase de regulamentação e prometa grande potencial de arrecadação, os valores pagos por tonelada de CO₂ equivalentes em projetos de sequestro ou redução de emissões, em geral, são muito baixos para que o bioma Cerrado consiga competir com a rentabilidade da conversão de vegetação nativa em áreas para atividades agropecuárias.

Diante desse embate entre a visão do carbono como solução e a crítica à sua eficácia real, os dados do Matopiba sugerem uma terceira alternativa. A disparidade numérica entre o lucro da soja e o valor do crédito de carbono reforça o argumento dos céticos de que o mercado, isoladamente, não impedirá a conversão da vegetação nativa. Entretanto, isso não invalida a ferramenta, mas sim reorienta sua função. Em vez de ser a solução única para a conservação do bioma, o crédito de carbono deve ser estruturado como um mecanismo de suporte financeiro para a transição produtiva.

O potencial econômico dos mercados de carbono por si só não é relevante no bioma Cerrado em comparativo com os valores da produção agropecuária, mas se apresenta como um forte aliado se for implementado e adotado por produtores rurais que adotarem práticas agrícolas sustentáveis. Porém, sua eficácia depende da implementação de regulamentações adequadas e de incentivos financeiros, observando a urgência em que o bioma tem se encontrado.

O desafio central, portanto, não reside em substituir a produção agropecuária, mas em reestruturar os incentivos financeiros para que o lucro seja atrelado à sustentabilidade. O mercado de carbono deve ser implementado como um mecanismo adicional de renda, subsidiando a transição para práticas de baixo carbono como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), o Plano ABC e o uso de Bioinsumos.

Para que essa transição ocorra, instrumentos como o Plano ABC são fundamentais, atuando como a principal política pública para financiar tecnologias como a ILPF. A ILPF é uma estratégia de produção que tem o objetivo de diversificar a matriz produtiva, otimizando a produção em áreas já abertas, melhorando a fertilidade do solo, aumentando o sequestro de carbono, mitigando os riscos climáticos e garantindo maior estabilidade econômica (EMBRAPA, s.d.).

A validação científica dessa transição é fornecida por ferramentas como a tecnologia BioAS da Embrapa. Ao analisar enzimas que funcionam como exames de

saúde do solo, a BioAS permite ao produtor monitorar a saúde biológica da terra, antecipando problemas de produtividade antes que os sintomas químicos apareçam. Essas métricas são o elo perdido para que o mercado de carbono no Cerrado ganhe integridade, garantindo que o crédito comercializado corresponda a um ganho ambiental real e verificável.

O mercado de carbono poderá ser eficaz se estruturado para subsidiar a transição para práticas sustentáveis em áreas já abertas. Com o foco não sendo pagar para não desmatar, mas pagar para produzir de forma diferente e com um impacto menor, aumenta-se o potencial de produtividade agrícola e o lucro líquido por hectare através da otimização e sequestro de carbono, reduzindo a necessidade de expansão sobre áreas nativas.

A persistência do desmatamento no contexto do Matopiba coloca em evidência o debate entre as estratégias de *Land Sparing* e *Land Sharing*. A estratégia de *Land Sparing* defende a intensificação da produção em áreas já desmatadas para evitar a abertura de novas fronteiras, uma tática essencial para o Matopiba, onde a produtividade por hectare ainda tem margem para crescimento. Paralelamente, o *Land Sharing* propõe a integração de elementos da biodiversidade nas áreas agrícolas. A combinação de ambos pode viabilizar um desenvolvimento mais sustentável para a região.

Em suma, a análise da disparidade entre o lucro líquido da soja e o potencial atual dos mercados de carbono revela que a conservação estrita, baseada apenas na renúncia ao desmatamento, enfrenta barreiras econômicas quase intransponíveis no Matopiba. Contudo, ao deslocar o debate da substituição para a transição produtiva, emerge um novo paradigma. A integração de estratégias de *Land Sparing* e *Land Sharing*, viabilizada pelo aporte financeiro do Plano ABC e pela execução técnica na ILPF, redefine o valor da terra. Nesse cenário, o crédito de carbono deixa de ser um competidor de baixa rentabilidade para se tornar o subsídio necessário que cobre o custo de oportunidade da transição para a agricultura regenerativa.

Um relatório publicado pelo Fórum Econômico Mundial (2024) aponta que um novo modelo de desenvolvimento econômico no Cerrado poderia gerar cerca de US\$ 72 bilhões por ano para a economia do Brasil por meio da restauração de terras degradadas e do aumento da quantidade de áreas protegidas no bioma, incluindo métodos como a agricultura regenerativa.

Paralelamente, é crucial que os mecanismos de governança e financiamento, como o crédito rural, sejam estritamente condicionados à comprovação da adoção de práticas sustentáveis de baixo carbono e ao não desmatamento. Esta é a alavanca política e financeira mais poderosa para mudar o vetor da expansão, transformando a atividade agropecuária na principal solução. Paradoxalmente, as atividades agropecuárias são o principal vetor de desmatamento e degradação do Cerrado, mas, ao mesmo tempo, dependem diretamente dos serviços ambientais fornecidos por esse bioma para o sucesso produtivo.

Para que o mercado de carbono e os ativos ambientais superem a rentabilidade da produção de *commodities* no Matopiba, é necessário considerar a propriedade rural não apenas como um estoque de carbono, mas como uma área que oferece diversos serviços ecossistêmicos. Uma estratégia promissora para viabilizar economicamente a conservação frente ao agronegócio é o empilhamento de ativos (MAY, 2018), que consiste na comercialização de diferentes benefícios ambientais da mesma área de forma simultânea, potencializando a receita por hectare a ponto de torná-la competitiva com as margens líquidas da produção agropecuária.

A regulação do mercado de carbono tem o potencial de reequilibrar esse cenário, sendo apontada como uma forma de trazer o volume de capital necessário para o bioma Cerrado. Enquanto o mercado for apenas voluntário, ele não competirá com os valores da produção agropecuária. O bioma necessita de um mercado regulado que valorize o estoque de carbono, a biodiversidade e seus serviços ecossistêmicos prestados. A regulação pode transformar o carbono em apenas um dos ativos. Um mercado regulado robusto poderia criar mecanismos de empilhamento, onde o produtor receberia pelo carbono somado à proteção dos recursos hídricos e da biodiversidade.

O cálculo desse equilíbrio, no entanto, depende fundamentalmente da regulação estabelecida pela Lei nº 15.042/2024. Ao se consolidar um sistema nacional, a legislação reduz as incertezas jurídicas e os custos que inviabilizam projetos de carbono no Cerrado. Com o mercado regulado, há a possibilidade de o preço do carbono refletir o custo real de descarbonização da indústria.

Dessa forma, a transição de um modelo puramente voluntário para um sistema regulado e integrado é o que poderia permitir ao mercado de carbono deixar de ser inviável para se tornar um componente real da economia rural no Cerrado. O reequilíbrio não virá de uma única fonte de receita, mas da capacidade do regulador

em permitir que o produtor monetize a biodiversidade, a água e o carbono em conjunto.

Somente ao alinhar os incentivos do setor produtivo com o valor de 11,6 bilhões de toneladas de CO₂eq estocadas no Matopiba é que a região poderá garantir tanto seu sucesso produtivo quanto a sua fundamental contribuição para a segurança climática nacional. A implementação do mercado de créditos de carbono pode ser um instrumento robusto para impulsionar a adoção de sistemas agrícolas sustentáveis. A sustentabilidade, via restauração e agricultura regenerativa, oferece um potencial de retorno econômico futuro que supera a lógica de curto prazo da conversão.

A percepção dos produtores rurais sobre os benefícios tangíveis é vista como o catalisador necessário para a transição em larga escala para métodos agrícolas mais sustentáveis. Há a premissa de que os produtores apoiarão a adoção de práticas e tecnologias sustentáveis, como a agricultura regenerativa e o uso da tecnologia de BioAS da Embrapa, quando perceberem benefícios diretos em termos de resiliência climática e potencial de ganhos econômicos.

O método de produção convencional, embora gere lucros elevados, é um dos principais causadores da mudança climática e, paradoxalmente, é um sistema produtivo totalmente dependente dos recursos naturais que destrói. Portanto, discute-se a necessidade da mudança de mentalidade e adoção de políticas públicas bem estruturadas para que o produtor rural perceba os benefícios da transição de práticas agrícolas. A grande virada de chave para a transição na produção agrícola no Matopiba reside no debate em perceber que a sustentabilidade não é um custo ou uma barreira ao desenvolvimento, mas uma nova fonte de receita com maior aspecto produtivo.

6. Conclusão

A região do Matopiba é caracterizada por ser a fronteira agrícola mais ativa do país e a maior frente de destruição do Cerrado e da vegetação nativa brasileira, sendo altamente relevante para a economia nacional. A pesquisa evidencia a importância econômica da produção agropecuária na região e a alta exploração e destruição dos recursos naturais do bioma Cerrado.

O presente estudo alcançou o objetivo de precificar o desmatamento na região, revelando um estoque de 11,6 bilhões de toneladas de CO₂eq no ano de 2022, que posiciona a região como um pilar da segurança climática do país. Contudo, ao confrontar esses ativos com a relevância econômica da produção agropecuária, a hipótese de que o mercado de carbono voluntário seria, por si só, financeiramente vantajoso para o produtor rural foi refutada. O abismo entre o valor dos créditos atuais e o lucro líquido da soja, superior a R\$ 44 bilhões na safra 24/25, demonstra que a conservação baseada puramente na renúncia à produção enfrente barreiras econômicas, sob o modelo atual, quase intransponíveis.

A grande diferença entre o valor dos créditos atuais e o lucro líquido da produção de *commodities* demonstra que, sob as regras atuais, a conservação baseada puramente na renúncia à produção é um modelo economicamente frágil e inalcançável. Os resultados fornecem indícios que o mercado de carbono em seu estado voluntário jamais serviria como base de conservação para o bioma Cerrado, considerando seu baixo valor.

O estudo realizado permite deslocar o debate da substituição da atividade agropecuária para a sua transformação. A evidência de que o mercado voluntário é insuficiente não deve levar ao seu descarte, mas ao debate de sua reestruturação. Emerge aqui o conceito de que o crédito de carbono deve atuar como um subsídio para a transição ecológica, cobrindo o custo de oportunidade para a adoção de sistemas de baixo carbono, como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e o Plano ABC+.

Nesse novo paradigma, a sustentabilidade deixa de ser um custo e passa a ser uma alavanca de produtividade. Estratégias de *Land Sparing* e *Land Sharing*, validadas por tecnologias como a BioAS da Embrapa, permitem que o produtor

monitore a saúde biológica do solo e comercialize créditos com integridade real, garantindo que o lucro esteja diretamente atrelado à resiliência do ecossistema.

A análise indica que a "virada de chave" para o Cerrado depende fundamentalmente da transição do mercado voluntário para o mercado regulado. Somente um sistema nacional robusto pode reduzir incertezas jurídicas e permitir o empilhamento de ativos. Ao monetizar não apenas o carbono, mas também a biodiversidade e os serviços hídricos de forma simultânea, o valor da terra conservada pode finalmente equilibrar-se com as margens da produção de *commodities*.

Conforme aponta o Fórum Econômico Mundial (2024), esse novo modelo de desenvolvimento regenerativo tem potencial para injetar até US\$ 72 bilhões anuais na economia brasileira. Portanto, a proteção do Cerrado no Matopiba não é um entrave ao crescimento, mas a base para uma nova economia de alto valor agregado.

Para que essa visão se concretize, é imperativo que o Estado adote políticas de condicionalidade, vinculando o crédito rural à adoção comprovada de práticas de baixo carbono. Como limitação e oportunidade de pesquisa, ressalta-se a urgência em valorar o custo real da água. O modelo produtivo atual no Matopiba é paradoxal, depende diretamente dos recursos hídricos que o próprio desmatamento ameaça exaurir.

Finalmente, recomenda-se o desenvolvimento de estudos focados na nova estruturação do mercado regulado de carbono, visando a criação de ferramentas financeiras que auxiliem na transição para práticas sustentáveis. É necessário investigar modelos de créditos de transição que utilizem ativos ambientais como garantia para o financiamento de tecnologias regenerativas. Somente com ferramentas que traduzam o ganho ambiental em indicadores de risco e crédito será possível converter o estoque de 11,6 bilhões de toneladas de CO₂eq em uma vantagem competitiva real, consolidando a sustentabilidade como o motor econômico da nova fronteira agrícola brasileira.

7. Referências bibliográficas

ABREU, S. S. **A modernização da agricultura e a formação de um novo espaço agrário no Cerrado**. 2004. 145 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Contas econômicas ambientais da água no Brasil, 2013-2015**. Brasília: ANA, IBGE, SRHQ, 2018.

ALMEIDA, G. S.; VIEIRA JUNIOR, P. A.; RAMOS, P. **Os programas de desenvolvimento econômico do centro-oeste brasileiro e suas consequências: anos 60 e 70**. In: CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE SOCIOLOGÍA RURAL, 7., 2006.

ALVES, V. C. O. **O Matopiba e o processo de desenvolvimento regional: infraestrutura, urbanização e logística**. Brasília, DF: Editora IPEA, 2020.

APROSOJA. **Relatório de custo**. [S.l.]: Aprosoja, 2024. Disponível em: <https://aprosojams.org.br/sites/default/files/boletins/custo%2023%2024%20284%29%20.pdf>. Acesso em: novembro/2025.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BACEN). **Matriz de Dados do Crédito Rural (RECOR): consulta de financiamentos por estado e município**. Brasília, DF: Banco Central do Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estatisticas/graficocreditorural>. Acesso em: setembro/25.

BEAMISH, A. et al. **Recent trends and remaining challenges for optical remote sensing of Arctic tundra vegetation: A review and outlook**. Remote Sensing of Environment. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111872>. 2020.

BOLSON, S. H. **O Cerrado nas metas brasileiras do acordo de Paris: a omissão do estado brasileiro com o desmatamento na Cumeieira da América do Sul.** Revista de Direito ambiental e Socioambientalismo, v. 4, n. 1, 2018.

BRASIL. **Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: outubro/25.

BRASIL. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012.** *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 28 maio 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: agosto/25.

BRASIL. **Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021.** Institui a Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais; e altera as Leis nos 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973. Brasília, DF: Presidência da República, [2021]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2021/lei/L14119.htm. Acesso em: agosto/25.

BRASIL. **Lei nº 15.042, de 20 de dezembro de 2024.** Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE); e altera as Leis nos 12.187, de 29 de dezembro de 2009, e 12.651, de 25 de maio de 2012. Brasília, DF: Presidência da República, [2024].

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano de Desenvolvimento Agropecuário do Matopiba.** Brasília, DF: MAPA, 2015.

BRASIL. **Ministério da Agricultura e Pecuária. Projeções do Agronegócio: Brasil 2022/23 a 2032/33 - Projeções de Longo Prazo.** Brasília, DF: MAPA, 2023.

BRASIL. **Ministério da Agricultura e Pecuária. Valor Bruto da Produção (VBP) encerra 2021 com faturamento de R\$ 1,129 trilhão.** Brasília, DF: MAPA, 2022.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente. Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no Cerrado (PPCerrado): fase 2 (2012-2015).** Brasília, DF: MMA, 2011.

BROWN, S. et al. **Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget.** Canadian Journal of Forestry Research, v. 16, 1986.

BUENO, D. **Agricultura Regenerativa: Benefícios e Práticas Essenciais,** 2024. Disponível em: <https://agrotecnico.com.br/agricultura-regenerativa-beneficios/>. Acesso em dezembro/25.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing.** 2. ed., 1996.

CARIBÉ, R. C. S. **Os caminhos da soja: o Prodecer e a fronteira agrícola no Cerrado.** Brasília, DF: Paralelo 15, 2016.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). **Estimativas do PIB do Agronegócio 2024-2025.** Piracicaba: ESALQ/USP, 2025.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). **PIB do Agronegócio Brasileiro.** Piracicaba: ESALQ/USP, [s.d.]. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: setembro/25.

COMISSÃO NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **7º Levantamento da Safra de Grãos 2024/25.** Brasília: CONAB, 2024.

COSTA, M. B. T. **Além das árvores: mapeando a biomassa total acima do solo no Cerrado brasileiro usando dados de lidar aerotransportado de alta densidade.** Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília (UNB), Brasília/DF, 77 f. 2023.

DALIN, C. et al. **Evolution of the global virtual water trade network**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 109, n. 16, p. 5989-5994, 2012. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1203176109>. Acesso em: julho/25.

DI GIULIO, G. M. et al. **Climate Change, Risks And Adaptation In The Megacity Of São Paulo, Brazil**. Sustainability in Debate, [S. I.], v. 8, n. 2, p. 75–87, 2018.

EMBRAPA. **MATOPIBA**. s.d.

Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-matopiba/sobre-o-tema>. Acesso em abril/24.

EMBRAPA. **Nota Técnica 5 – Matopiba: Quadro Natural**. Campinas: Embrapa, 2014.

EMBRAPA. **BioAS: Tecnologia de Bioanálise de Solo**. [S.I.]: Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/6047/bioas--tecnologia-de-bioanalise-de-solo>. Acesso em: dezembro/25.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Emissões de carbono na agricultura brasileira são estimadas em 115,4 dólares por tonelada**. [S.I.]: Embrapa, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/98921952/emissoes-de-carbono-na-agricultura-brasileira-sao-estimadas-em-1154-dolares-por-tonelada>. Acesso em: outubro/25.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The state of world fisheries and aquaculture 2014: opportunities and challenges**. Rome: FAO, 2014.

FEARNSIDE, P. M. et al. **Brazil's Cerrado cannot be a sacrifice zone for the Amazon: financial assistance and stricter laws are needed**. *BioScience*, v. 74, n. 10, p. 770–772, 2024.

FEO, D. **TÍTULOS VERDES: UMA ABORDAGEM JURÍDICA E BIOECONÔMICA PARA A CONSERVAÇÃO DE BIOMAS NATIVOS**. 2023.

FERRAZ, R. P. D.; KUCHLER, P. C.; SIMÕES, M. **A intensificação do uso agrícola do solo: uma trajetória para o desenvolvimento sustentável da agricultura brasileira.** In: COSTA, A. J. S. T.; LIMA, C. S. (org.). *Natureza e sociedade: perspectivas de ação e análise.* Curitiba: Bagai, 2021.

FGV. **O MERCADO DE CARBONO NO BRASIL: DESAFIOS PARA A HARMONIZAÇÃO COM MECANISMOS SETORIAIS – RENOVABIO.** Disponível em:

https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/opinioao_mercado_de_carbono_13-01-2024.pdf. 2024.

FRANCESCHETTI, G.; LANARI, R. **Synthetic aperture radar processing.** [S.l]: CRC Press, 1999. 324 p.

FREDERICO, S. **O novo mapa da agricultura no Brasil: os circuitos espaciais de produção e a logística da soja.** 2010. 294 f. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

GOMES, L. C. et al. **Land use and land cover scenarios: An interdisciplinary approach integrating local conditions and the global shared socioeconomic pathways.** *Land Use Policy*, v. 97, p. 104723, 2020.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. **Google Earth Engine: Planetary - scale geospatial analysis for everyone.** *Remote sensing of Environment*, Elsevier, v. 202, 2017.

HEES, D. R., M. E. P. C. de Sá, and T. C. Aguiar. **A evolução da agricultura na região Centro-Oeste na década de 70.** *Rev. Bras. Geogr.* 49:197–257. 1987.

HENTZ, A.M.K.; RUZA, M.S.; DALLA CORTE, A.P.; SANQUETTA, C.R. **Técnicas de sensoriamento remoto para estimativa de biomassa em ambientes florestais.** *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 10, n. 18. 2014.

HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. **Virtual Water Trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade**. Value of Water Research Report Series, Netherland: UNESCO/IHE, n. 11, p. 25-47, Sept. 2002.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. **Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources**. Malden, MA, USA: Blackwell Publishing, 2008.

HOEN, H.; SOLBERG, B. **Potencial and economic efficiency of carbon sequestration in Forest biomass through silvicultural management**. Forest Science, v. 40, n. 3, 1994.

HOGAN, D. J.; CUNHA, J. M. C.; CARMO, R. L. (2002) **Uso do solo e mudança de sua cobertura no Centro-Oeste do Brasil: consequências demográficas, sociais e ambientais**. Migração e ambiente no Centro-Oeste. Campinas, NEPO/UNICAMP: PRONEX, 2002.

ICC BRASIL. **Brasil pode ganhar até US\$ 100 bi em receitas de crédito de carbono até 2030**. [S.l.]: ICC Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.iccbrasil.org/brasil-pode-ganhar-ate-us-100bi-em-receitas-de-credito-de-carbono-ate-2030/>. Acesso em: junho/25.

INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA (IPAM). **Desmatamento no Cerrado cai 33% em 2024, mas área total preocupa pesquisadores**. [S.l.]: IPAM, 2025. Disponível em: https://ipam.org.br/desmatamento-no-cerrado-cai-33-em-2024-mas-area-total-preocupa-pesquisadores/?gad_source=1&gad_campaignid=20343569484&gbraid=0AAAAApxMrc-i6MMV4un_IVe4CC0liL&gclid=Cj0KCQiAoZDJBhC0ARIsAERP-F-iXV_opC5rR1S7bqjHpmDlehuNy7-odG5IMXwQVRNFVfAB-TkaAhsaAkh8EALw_wcB. Acesso em: junho/25.

INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA (IPAM). **Desmatamento no Matopiba já derrubou 494 mil hectares de Cerrado desde janeiro**. Disponível em:

<https://ipam.org.br/desmatamento-no-matopiba-ja-derrubou-494-mil-hectares-de-cerrado-desde-janeiro/>. Acesso em: agosto/25.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. **Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. PÖRTNER, H.-O. et al. (eds.). Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2022. 3056 p. DOI: 10.1017/9781009325844. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em: novembro/25.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Mudança do Clima 2023**. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Bracknell: UK Meteorological Office, 1996.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Strengthening and implementing the global response**. 2018.

IPEA. **Aspectos Socioeconômicos da Região do Matopiba**. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8462/1/BRU_n18_Aspectos.pdf. 2018. Acesso em: 02/09/2025.

IPEA. **CPR Verde Como Instrumento de Geração de Riqueza para o Semiárido Brasileiro**. Disponível em: https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/boletim_regional/21838_8_bru_26_nota_opinioao_presidente.pdf. 2021. Acesso em: 11/07/2025.

IPEA. **Água virtual e o complexo soja: contabilizando as exportações brasileiras em termos de recursos naturais**. Disponível em:

<https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/eec52ef9-2d04-4a13-9adb-45a940fc9b17/content>. 2016.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do meio ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parentese, 2009.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. (2005) **A conservação do Cerrado brasileiro**. Belo Horizonte, Megadiversidade, v. 1, n. 1, jul. 2005.

KLINK, C. A.; MOREIRA, A. G. **Past and current land use in the Cerrado**. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (eds.). *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. New York: Columbia University Press, 2002. p. 69-88.

KUNTSCHIK, G.; BITENCOURT, M. D. **Quantificação de fitomassa florestal aérea de cerrado e cerradão através de imagens orbitais SAR**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: INPE, 2003.

LAL, R. **Soil Health and Climate Change**. CRC Press, 2020.

LORENZZETTI, J. A. **Princípios físicos de sensoriamento remoto**. São Paulo: Blucher, 2015.

MARQUES, M. I. M.; ALVES, V. E. L. (Org.). **A fronteira do Matopiba: as novas faces da expansão do capital e seus conflitos**. São Paulo: FFLCH, 2024.

MAPA. **Estudo aponta incremento de 37% na produção de grãos no Matopiba em dez anos. Disponível em:**

<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/estudo-aponta-incremento-de-37-na-producao-de-graos-no-matopiba-em-dez-anos>. 2023.

MAPA. **Projeções do agronegócio: Brasil 2022/23 a 2032/33**. Disponível em: <[https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-brasileira-](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-brasileira)

devera-chegar-a-390-milhoes-de-toneladas-nos-proximos-dez-anos/ProjeesdoAgronegocio20232033.pdf.> Brasília: MAPA, 2023.

MAPA. **Valor bruto da produção pode atingir R\$ 1 trilhão até o fim deste ano.** [S.l.]: MAPA, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/valor-bruto-da-producao-pode-atingir-r-1-trilhao-ate-o-fim-deste-ano>. Acesso em: novembro/25.

MAPBIOMAS. **Relatório do Desmatamento.** Disponível em: [RAD 2023: Matopiba passa a Amazônia e assume a liderança do desmatamento no Brasil](#). 2023. Disponível em: https://alerta.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/17/2024/10/RAD2023_COMPLETO_15-10-24_PORTUGUES.pdf. Acesso em agosto/25.

MAPBIOMAS. **Coleção 8 de Mapas Anuais de Cobertura e Uso da Terra no Brasil.** [S.l.]: MapBiomias, 2025. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Diversos acessos em 2025.

MAPBIOMAS. **Mapeamento anual do estoque de carbono orgânico do solo no Brasil 1985-2021 (coleção beta).** [S.l.]: MapBiomias Data, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.58053/MapBiomias/DHAYLZ>. Diversos acessos em 2025.

MAPBIOMAS. **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil: RAD 2024.** [S.l.]: MapBiomias Alerta, 2025. Disponível em: https://alerta.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/17/2025/05/RAD2024_15.05.pdf. Acesso em: 4 dez. 2025.

MAY, Peter H. (Org.). **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

MENDONÇA, J. C. G. et al. **Emissões de gases de efeito estufa e o papel do fogo na savana brasileira.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 699-709, 2012.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI) (Brasil). **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.** Disponível em:

https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/mecanismo_de_desenvolvimento_limpo/Mecanismo_de_Developmento_Limpo.html. 2021.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI) (Brasil). **Quinto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**: Relatório de Referência do Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. Brasília, DF: MCTI, 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) (Brasil). **A chave para enfrentar a mudança do clima**. Brasília, DF: MMA, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/areas-umidas/publicacoes/chave-para-enfrentar-a-mudanca-do-clima.pdf>. Acesso em: setembro/25.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) (Brasil). **Financiamento para REDD+**. Brasília, DF: MMA, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/smc/departamento-de-instrumentos-de-mercado-e-redd/redd/assuntos/financiamento-para-redd>. Acesso em: agosto/25.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) (Brasil). **Acordo de Paris**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) (Brasil). **REDD+**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/secd/redd>. 2025.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (MS) (Brasil). **Emergências Climáticas**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/e/emergencias-climaticas>. Acesso em: setembro/25.

MONTGOMERY, D. R. **Growing a Revolution: Bringing Our Soil Back to Life**. W.W. Norton & Company, 2017.

MOREIRA, H. M.; GIOMETTI, A. B. DOS R. **Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa.** Contexto Internacional, v. 30, n. 1. 2008.

MYNENI, R.B.; DONG, J.; TUCKER, C.J.; KAUFMANN, R.K.; KAUPPI, P.E.; LISKI, J.; ZHOU, L.; ALEXEYEV, V.; HUGHES, M.K. **A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Washington, v. 98, n. 26. 2001.

NETO. **Nova ferramenta agronegócio.** [S.l.]: [S.n.], 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/36998/1/NovaFerramentaAgroneg%C3%B3cio.pdf>. Acesso em: junho/2025.

NOGUEIRA, J. M.; MEDEIROS, M. A. S.; ARRUDA, F. S. T. **Valoração econômica dos recursos naturais do Cerrado.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 38., 2000, Rio de Janeiro.

OECD. **The Economics of Resilience to Drought: OECD Policy Response to the 2014-2015 Drought in Brazil.** Paris: OECD Publishing, 2015.

OLIVEIRA, L. **Desafios do Mercado de Carbono após o Acordo de Paris: Uma revisão.** Disponível em: <https://meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/167/122>. 2022.

OLIVEIRA, A. A. **Análise dos impactos das políticas de desenvolvimento regional na Bacia do Alto Paraguai.** Ensaios e Ciências, Campo Grande, v. 6, n. 3, 2002.

OLIVEIRA, R. S.; BEZERRA, L.; DAVIDSON, E. A.; PINTO, F.; KLINK, C. A.; NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. **Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil.** Functional Ecology, v. 19, p. 574 – 581, 2005

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **O que são mudanças climáticas.** [S.l.]: ONU, 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/175180-o-que-s%C3%A3o-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas>. Acesso em: junho/25.

PAGEL, C. M. **Biogeoquímica do cerrado**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 13, n. 1, p. 11-20, 1989.

PHALAN, B., ONIAL, M., BALMFORD, A. AND GREEN, R.E. **Reconciling Food Production and Biodiversity Conservation: Land Sharing and Land Sparing Compared**. Science, 2011.

PIRES, M. J. S. **Políticas públicas e agricultura no Cerrado: o caso do Polocentro**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2000.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **As principais fitofisionomias do bioma Cerrado**. In: SANO, S. M. et al. (Ed.). Cerrado: ecologia e flora. Planaltina: Embrapa Cerrado. v. 1. 2008.

RODRIGUES, R. W. S. **O uso da água na agricultura brasileira: desafios e perspectivas**. 2015. 112 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.

ROQUETTE, J. G. **Dinâmica da biomassa e carbono em diferentes fitofisionomias de Cerrado sensu lato no leste de Mato Grosso**. 2018. 129 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

SAINT-ANDRÉ, L.; HENRY, M. **Biomass and carbon stock assessments**. In: **National forest inventory: monitoring and reporting on the world's forests**. Dordrecht: Springer, 2012. p. 115-132.

SANTORO, M.; CARTUS, O. (2025): **ESA Biomass Climate Change Initiative (Biomass_cci): Conjuntos de dados globais de biomassa florestal acima do solo para os anos de 2007, 2010, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, v6.0**. NERC EDS Centre for Environmental Data Analysis, 17 de abril de 2025. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.5285/95913ffb6467447ca72c4e9d8cf30501>. Acesso em: novembro/2025.

SANTOS, A. M. et al. **Deforestation drivers in the Brazilian Amazon: Assessing new spatial predictors**. Journal of environmental management, v. 294, p. 113020, 2021.

SAPORTA, L. A.; YOUNG, C. E. **Créditos de carbono e o reflorestamento do entorno da REBIO de Poços das Antas**. Brasil. 2009.

SAWYER, D. **População, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no cerrado**. In: HOGAN, D. J.; CARMO, R. L.; CUNHA, J. M. P.; BAENINGER, R. (org.). Migração e ambiente no Centro-Oeste. Campinas, NEPO/UNICAMP: PRONEX. 2002.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). [Relatório SEEG]. [S.I.]: SEEG, 2024. Disponível em: <https://seeg.eco.br/relatorios/>.

SOARES, M. P. et al. **Relationship between edaphic factors and vegetation in savannas of the Brazilian midwest region**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 39, 2015.

SOUZA, A. L. R.; ALVAREZ, G.; ANDRADE, J. C. S. **Mercado regulado de carbono no Brasil: um ensaio sobre divergências contábil e tributária dos créditos de carbono**. Organizações & Sociedade, v. 17, n. 54, p. 517-534, 2010.

SOUZA, P.; HERSCHMANN, S.; ASSUNÇÃO, J. **Política de crédito rural no Brasil: agropecuária, proteção ambiental e desenvolvimento econômico**. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2020.

SOUZA, A. R. P. **CPR verde na prática**. FGV, v. 42 n. 4, 2022. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/agroanalysis/article/view/87780>.

SOUZA, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; OLIVEIRA, S.W. de; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VéLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E. J.; LENTI, F. E. B.; PATERNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J.V.; VIERA, J. L.; NETO, L. C. F.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO, M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V. V.; AZEVEDO, T. **Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine.** Remote Sensing, v. 12, n. 17, 2020.

STATE OF THE VOLUNTARY CARBON MARKET (SVCM). **State of the Voluntary Carbon Market 2025.** [S.l.]: [S.n.], 2025. Disponível em: <https://3298623.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/3298623/SOVCM%202025/Ecosystem%20Marketplace%20State%20of%20the%20Voluntary%20Carbon%20Market%202025.pdf>. Acesso em: setembro/25.

STRASSBURG, B. B. N. et al. **Moment of truth for the Cerrado hotspot.** Nature Ecology & Evolution, v. 1, n. 4, 0099, 2017.

SVAMPA, M. **Consenso de los Commodities y lenguajes de valoración en América Latina;** Nueva Sociedad, Buenos Aires, n. 244, p. 30-46, 2013. Disponível em: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/6451>. Acesso em: dezembro/25.

SVAMPA, M. **As fronteiras do neoextrativismo na América Latina: conflitos sociamambientais, giro ecoterritorial e novas dependências.** São Paulo: Elefante, 2019.

TERRA, M. C. N. S.; NUNES, M. H.; SOUZA, C. R.; FERREIRA, G. W. D.; PRADO-JUNIOR, J. A.; REZENDE, V. L.; MACIEL, R.; MANTOVANI, V.; RODRIGUES, A.; MORAIS, V. A.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **The inverted forest: Aboveground and notably large belowground carbon stocks and their drivers in Brazilian savannas.** Science of The Total Environment, Volume 867, 2023, 161320, ISSN 0048-9697. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161320>.

THE WORLD BANK. **State and trends of carbon pricing 2020**. (2020) Washington: The World Bank.

TNC. **A regulamentação do Pagamento por Serviços Ambientais**. Disponível em: <https://www.tnc.org.br/conecte-se/comunicacao/artigos-e-estudos/lei-psa-1ano/>. 2022. Acesso em: maio/24.

TULLIO, L. **Aplicações e princípios do sensoriamento remoto**. [s.l.] 2018.

VAN DER GAAST, W.; SIKKEMA, R.; VOHRER, M. **The contribution of forest carbon projects to the Sustainable Development Goals**. Carbon Management, v. 9, n. 3, p. 249-263, 2018. DOI: 10.1080/17583004.2018.1474738.

VEGA, F. V. A. **Benefícios de la agricultura regenerativa en la salud del suelo**. RECIAMUC, 8(2), 665-677, 2024. DOI: 10.26820/reciamuc/8.(2).abril.2024.665-677.

PIVELLO, V. R. **Invasões biológicas no Cerrado brasileiro: efeitos da gestão e do uso da terra**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 176p.

SILVA, C. A. F. **A modernização distópica do território brasileiro**. Rio de Janeiro: Consequência, 2019.

WAYCARBON. **O mercado de carbono no Brasil: uma análise de oportunidades para o setor privado e o papel do país na economia de baixo carbono**. Belo Horizonte: WayCarbon, 2022.

WEF – WORLD ECONOMIC FORUM. **Biodiversity Credits: A Guide to Support the Rise of High-Integrity Biodiversity Credit Markets**. Geneva: World Economic Forum, 2022. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/biodiversity-credits-a->

[guide-to-support-the-rise-of-high-integrity-biodiversity-credit-markets/](#). Acesso em: setembro/25.

WEF – WORLD ECONOMIC FORUM. **Tropical Forest Alliance**. [S. l.]: World Economic Forum, 2024. Disponível em: <https://www.tropicalforestalliance.org/home>. Acesso em: setembro/2025.

WEIMING, C. et al. **Virtual water export and import in China's foreign trade: A quantification using input-output tables of China from 2000 to 2012**. Resources, Conservation and Recycling, 2017. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.02.017.

WOODHOUSE, I. H. **Introduction to microwave remote sensing**. 2017. Boca Raton: CRC Press, 2006. 400 p. ISBN 9781315272573.

WRI – WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Empresas e mercados voluntários de carbono para proteger florestas**. [S.l.]: WRI, 2023. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/empresas-mercados-voluntarios-de-carbono-protoger-florestas>. Acesso em: outubro/25.

WRI – WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Estimativas de emissões de gases de efeito estufa no Brasil e o papel do setor agropecuário**. Washington, DC: WRI, 2019.