

# Análise dos Determinantes do Desmatamento no Arco do Desmatamento Brasileiro



INSTITUTO ESFERA DE ESTUDOS E INOVAÇÃO

ESFERA PESQUISA Nº 11

# **ANÁLISE DOS DETERMINANTES DO DESMATAMENTO NO ARCO DO DESMATAMENTO BRASILEIRO**

Waldecy Rodrigues

# Introdução

 Brasil destaca-se como uma das maiores potências globais em biodiversidade, com 65% (4 milhões de km<sup>2</sup>) de vegetação natural primária preservada em seus biomas Amazônia e Cerrado, que juntos somam 6,2 milhões de km<sup>2</sup>. Essa riqueza natural, que inclui mais de 119 mil espécies de fauna e 46 mil espécies de flora catalogadas (Brasil, 2024), contrasta com o baixo nível de aproveitamento econômico sustentável desses recursos em setores de alto valor agregado, como a cadeia produtiva de plantas medicinais (Rodrigues; Nogueira, 2008; Brito; Rodrigues, 2015; Araujo et al., 2018). Simultaneamente, o Brasil enfrenta desafios ambientais críticos, liderando rankings globais de desmatamento, com cerca de 40% das perdas florestais globais em 2021 atribuídas ao país (Global Forest Watch, 2021). Esse cenário reflete não apenas uma subutilização econômica da biodiversidade, mas também um modelo de desenvolvimento que sacrifica riquezas naturais sem explorar plenamente seu potencial socioeconômico.

Diante desse panorama, o desenvolvimento regional sustentável apresenta um desafio multifacetado que exige a integração de considerações econômicas, ambientais e sociais. Estudos recentes ressaltam a complexidade desse equilíbrio. Wu et al. (2024) apresentam o conceito do “trilema da sustentabilidade”, que aponta dificuldades em alcançar simultaneamente prosperidade econômica, igualdade social e integridade ambiental. Essa análise revela que, globalmente, as nações enfrentam compensações significativas entre essas metas. Para o Brasil, como país de renda média com governança fragmentada e recursos financeiros limitados, os desafios de equilibrar esses objetivos tornam-se ainda mais agudos.

A literatura internacional destaca também a relevância de abordagens integradas para alinhar crescimento econômico e conservação ambiental nos âmbitos nacional e regional. Kumar et al. (2024) enfatizam que práticas corporativas sustentáveis, avanços em energia limpa e participação comunitária são essenciais para criar um futuro mais justo e ambientalmente responsável. Na Índia, Dixit e Kulkarni (2024) demonstram como medidas de conservação podem melhorar serviços ecossistêmicos e promover crescimento inclusivo, mas também expõem as pressões que o crescimento econômico exerce sobre os recursos naturais. Chaturvedi (2024) argumenta que modelos econômicos inovadores e parcerias colaborativas entre governos, empresas e sociedade civil são fundamentais para superar barreiras sistêmicas e impulsionar o desenvolvimento sustentável.

A literatura internacional ainda evidencia que a restauração florestal e a conservação de ecossistemas ocupam posição central na produção acadêmica recente, destacando a importância de mecanismos financeiros, políticas públicas inovadoras e abordagens técnicas para enfrentar mudanças climáticas, degradação ambiental e perda de biodiversidade. Chow (2015) ressalta a necessidade de diversificar estratégias financeiras, como REDD+ e certificações de sustentabilidade, enquanto Ermgassen e Löfqvist (2024) defendem mercados de carbono e compensações de biodiversidade alinhados a objetivos sociais e ecológicos.

Na América Latina, Cole et al. (2024) destacam a eficácia econômica de intervenções de baixa intensidade, como regeneração natural, enquanto a ITTO (2023) enfatiza a inclusão social em projetos de restauração. Gómez (2024) aborda esquemas público-privados, como títulos verdes, para financiar conservação. No entanto, há uma lacuna na adaptação dessas estratégias às especificidades do Arco do Desmatamento, região crítica para biodiversidade e desenvolvimento sustentável, como apontado por Rode et al. (2019) e Maier et al. (2021).

A literatura internacional evidencia aqui duas lacunas importantes que podem ser exploradas no contexto brasileiro, especialmente no Arco do Desmatamento. A primeira refere-se à necessidade de integrar biofábricas — incluindo pequenas agroindústrias e transformações de produtos florestais — como estratégias para diversificar a economia, gerar empregos e promover inclusão social, enquanto se incentiva a conservação da biodiversidade. Casos internacionais destacam a viabilidade desse modelo, como em Porto Rico, onde negócios baseados em produtos florestais fortalecem economias locais e promovem o manejo florestal sustentável (Forero-Montaña et al., 2018), e na Indonésia, onde empresas comunitárias demonstraram sucesso financeiro e regenerativo com produtos florestais não madeireiros (Harbi et al., 2023). A segunda lacuna aponta para a urgência de desenvolver abordagens integradas que adaptem modelos financeiros inovadores, como mercados de carbono e compensações de biodiversidade (Chow, 2015; Ermgassen e Löfqvist, 2024; Gómez, 2024), e enfoquem a inclusão social (ITTO, 2023) a estratégias regionais e bioeconômicas. Essas lacunas representam oportunidades para estudos que articulem essas experiências globais ao cenário brasileiro, oferecendo soluções adaptadas para a restauração florestal e o desenvolvimento regional sustentável.

O presente artigo busca responder a uma questão central: quais são os principais determinantes institucionais, econômicos e setoriais do desmatamento

no Arco do Desmatamento brasileiro, e como eles se articulam para explicar a evolução recente do fenômeno? Por meio de modelagem econométrica e da construção de cenários prospectivos até 2050, o estudo analisa o papel de políticas públicas, instrumentos regulatórios, incentivos econômicos e variáveis estruturais como o PIB agropecuário, o crédito rural e os mecanismos de monitoramento e fiscalização ambiental. A partir dessa análise, o artigo também discute as possibilidades de estabilização ou reversão das tendências de desmatamento diante de diferentes contextos de governança e pressão internacional.

O artigo proposto apresenta caráter inovador ao concentrar-se no Arco do Desmatamento, uma região de relevância ambiental e geopolítica global, ainda subexplorada por estudos internacionais. A investigação busca avançar sobre lacunas críticas identificadas pela literatura recente, especialmente no que se refere ao chamado trilema da sustentabilidade regional (Wu et al., 2024), que expressa o desafio de conciliar simultaneamente objetivos econômicos, sociais e ambientais no planejamento territorial. Embora haja relativo consenso sobre o desenho teórico de projetos sustentáveis, sua efetiva implementação tem sido limitada por três fatores principais: a ausência de mecanismos robustos de monitoramento de longo prazo (Cole et al., 2024; Zhang et al., 2021), a carência de instrumentos financeiros inovadores e adaptados aos contextos locais (Löfqvist et al., 2023; Ermgassen & Löfqvist, 2024) e a insuficiente integração entre metas socioeconômicas e ambientais (Patrick et al., 2023; Maier et al., 2021). O presente estudo contribui para preencher essas lacunas ao combinar modelagem econométrica, avaliação de políticas públicas e projeção de cenários prospectivos para o desmatamento, com foco em variáveis institucionais e econômicas.

O Brasil destaca-se como uma das maiores potências globais em biodiversidade, com 65% (4 milhões de km<sup>2</sup>) de vegetação natural primária preservada em seus biomas Amazônia e Cerrado, que juntos somam 6,2 milhões de km<sup>2</sup>. Essa riqueza ecológica, que abriga mais de 119 mil espécies de fauna e 46 mil espécies de flora catalogadas (Brasil, 2024), contrasta com o baixo nível de aproveitamento econômico sustentável desses recursos em cadeias produtivas de alto valor agregado, como a de plantas medicinais (Rodrigues & Nogueira, 2008; Brito & Rodrigues, 2015; Araujo et al., 2018). Simultaneamente, o país figura entre os líderes globais em perda de cobertura florestal, com cerca de 40% das perdas mundiais em 2021 atribuídas ao Brasil (Global Forest Watch, 2021). Esse paradoxo evidencia um modelo de desenvolvimento que degrada o patrimônio natural sem explorar plenamente seu potencial socioeconômico.

Diante desse cenário, o desafio do desenvolvimento regional sustentável se impõe como uma questão estratégica, exigindo a conciliação entre crescimento econômico, inclusão social e preservação ambiental. Estudos recentes apontam para a dificuldade de se alcançar simultaneamente esses três objetivos, fenômeno descrito por Wu et al. (2024) como o trilema da sustentabilidade. Segundo os autores, mesmo países com ampla capacidade técnica e institucional enfrentam dilemas entre prosperidade, equidade e conservação ambiental. No contexto brasileiro, essas tensões são agravadas por limitações estruturais, como a governança fragmentada e os recursos orçamentários escassos.

A literatura internacional tem destacado a importância de abordagens integradas para alinhar desenvolvimento e conservação. Kumar et al. (2024) ressaltam o papel de práticas corporativas sustentáveis, investimentos em energia limpa e participação comunitária. Estudo de Dixit e Kulkarni (2024), na Índia, mostra que políticas de conservação podem impulsionar serviços ecossistêmicos e inclusão, ao mesmo tempo em que revelam as tensões geradas pelo crescimento econômico sobre os recursos naturais. Chaturvedi (2024), por sua vez, destaca a necessidade de modelos econômicos inovadores e cooperação entre governos, empresas e sociedade civil para viabilizar a sustentabilidade.

Paralelamente, cresce a ênfase na restauração florestal e na valorização dos ecossistemas como pilares da política climática global. Chow (2015) aponta para a diversificação de estratégias financeiras, como o REDD+ e certificações verdes, enquanto Ermgassen e Löfqvist (2024) defendem mercados de carbono e compensações de biodiversidade atrelados a resultados sociais. Na América Latina, Cole et al. (2024) mostram a eficiência econômica da regeneração natural, enquanto a ITTO (2023) enfatiza a inclusão de populações locais nos processos de restauração. Gómez (2024) discute arranjos público-privados, como os títulos verdes, como instrumentos promissores de financiamento. No entanto, essas abordagens ainda carecem de adaptação às especificidades do Arco do Desmatamento, uma das regiões mais críticas do mundo em termos de perda florestal e pressão antrópica.

Uma ênfase particular é dada à **avaliação científica de instrumentos de política ambiental implementados no Brasil nas últimas décadas**, que constituem variáveis explicativas fundamentais no modelo. Entre os principais marcos analisados, destaca-se o **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm)**, lançado em 2004, considerado o principal instrumento institucional de combate ao

desmatamento. De acordo com estudos da Climate Policy Initiative (2014), o PPCDAm, ao articular ações de comando e controle com ordenamento territorial e incentivos econômicos, foi responsável por uma redução de 80% no desmatamento entre 2004 e 2012. Análises econométricas (ANPEC, 2022) mostram que os estados mais intensamente fiscalizados obtiveram maiores reduções.

Outro instrumento decisivo foi a **implantação do sistema DETER/INPE** (2004), que permitiu o monitoramento quase em tempo real do desmatamento. Estudo publicado por Assunção, Gandour e Rocha (2023) na *American Economic Journal* demonstrou que o DETER reduziu o desmatamento sem gerar deslocamentos para regiões vizinhas, comprovando o impacto da vigilância remota sobre o comportamento ilegal.

A **Moratória da Soja**, vigente desde 2006, é considerada um marco na autorregulação do agronegócio. Gibbs et al. (2015), na revista *Science*, mostraram que a participação voluntária de empresas reduziu drasticamente o desmatamento associado à soja. Resultados semelhantes foram observados na **Moratória da Carne (2009)**, firmada com grandes frigoríficos, cujo impacto positivo foi analisado por Alix-Garcia et al. (2023) e Gibbs et al. (2016).

A introdução de instrumentos legais, como a **Lei de Crimes Ambientais (1998)**, o **Cadastro Ambiental Rural (CAR, 2012)** e o **crédito rural condicionado à regularidade ambiental (2008)**, também é examinada. A literatura demonstra que sua efetividade depende da articulação com fiscalização ativa e programas de regularização (Soares-Filho et al., 2014; CPI, 2023). O **Fundo Amazônia**, criado em 2008, mostrou-se relevante ao fortalecer a capacidade institucional de entes subnacionais (GIZ; Ipea).

Por fim, o modelo incorpora **efeitos estruturais associados aos ciclos políticos**, por meio de variáveis que distinguem os períodos de governo federal, como os mandatos de Lula (2003–2010; 2023–) e Bolsonaro (2019–2022), permitindo captar os impactos de diferentes orientações de governança ambiental.

O artigo propõe, assim, uma contribuição original ao integrar múltiplos instrumentos de política ambiental em um modelo econométrico explicativo, articulado a cenários prospectivos e à literatura recente sobre o trilema da sustentabilidade. A análise se concentra no Arco do Desmatamento, uma das regiões mais críticas do planeta em termos de perda florestal, e busca oferecer subsídios para o aprimoramento das políticas públicas e mecanismos de governança orientados ao equilíbrio entre conservação ambiental, dinamismo econômico e justiça social.

# O arco do desmatamento brasileiro

 Arco do Desmatamento compreende a região com as maiores taxas de desmatamento na Amazônia Legal, abrangendo aproximadamente 256 municípios localizados principalmente nos estados do Maranhão, Tocantins, Pará, Mato Grosso, Rondônia e Acre. Essa área representa cerca de 75% de todo o desmatamento registrado na Amazônia e resulta de um longo processo histórico de ocupação territorial e conversão de uso do solo. Sua formação começou nas décadas de 1960 e 1970, com políticas governamentais voltadas à integração da Amazônia ao território nacional. Programas de colonização, criação de assentamentos rurais e investimentos em infraestrutura, como as rodovias Belém-Brasília (BR-010) e Cuiabá-Porto Velho (BR-364), abriram caminho para o avanço da agropecuária, exploração madeireira e grilagem de terras, atividades que continuam pressionando o território até hoje (INPE, 2024; IPAM, 2024).

Compreender a dinâmica do desmatamento nesses biomas é essencial para avaliar os desafios e oportunidades associados à recuperação ambiental e ao desenvolvimento sustentável na região. No contexto nacional, foram identificados 19.132.288 hectares de passivos ambientais em Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reservas Legais (RL) localizados em imóveis rurais. Além disso, 1.575.006 hectares de passivos de APP e RL estão presentes em assentamentos da reforma agrária. Em Terras Indígenas, o levantamento apontou 1.764.401 hectares de áreas alteradas e/ou degradadas, enquanto as Unidades de Conservação de âmbito federal contabilizam 1.314.683 hectares nessas condições.

A análise dos passivos ambientais, distribuídos por bioma, revela importantes diferenças regionais, com destaque para a Amazônia e o Cerrado. Esses biomas somam mais de 19 milhões de hectares de áreas alteradas e/ou degradadas, representando os maiores desafios e oportunidades para a restauração ambiental no Brasil.

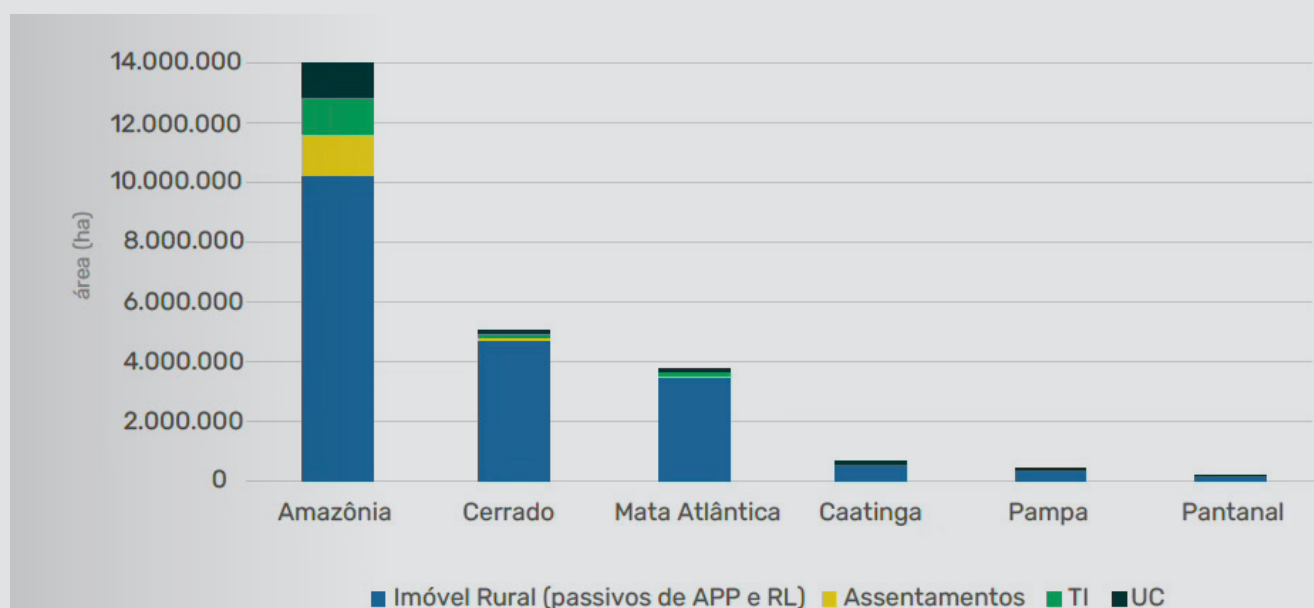
A Amazônia concentra a maior parte dos passivos ambientais, totalizando 14.030.381 hectares, o que corresponde a 59% do total identificado no país. Desse montante, a maior contribuição vem dos imóveis rurais, com 10.220.294 hectares, seguido por assentamentos da reforma agrária (1.485.463 hectares), Terras Indígenas (1.228.550 hectares) e Unidades

de Conservação (1.096.074 hectares). Esses números refletem a pressão crescente sobre a floresta devido à conversão para pastagens e agricultura, além de questões de regularização fundiária. A elevada extensão de passivos ambientais na Amazônia reforça a necessidade de estratégias específicas que conciliem restauração ambiental, desenvolvimento sustentável e inclusão social.

O Cerrado, conhecido como o segundo maior bioma brasileiro e frequentemente chamado de "berço das águas", registra 5.035.218 hectares de passivos ambientais, representando 21% do total nacional. Imóveis rurais são novamente a principal fonte, com 4.673.965 hectares, enquanto assentamentos (53.079 hectares), Terras Indígenas (191.406 hectares) e Unidades de Conservação (116.768 hectares) possuem menor participação relativa. A degradação no Cerrado está intimamente ligada à expansão da fronteira agrícola e à baixa eficiência no manejo das pastagens, destacando a importância de ações que promovam sistemas integrados, como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), e estratégias que aliem conservação da biodiversidade e desenvolvimento socioeconômico.

Esses números destacam a urgência de ações integradas para mitigar os impactos do desmatamento e promover a sustentabilidade na região (Gráficos 1 a 4).

GRÁFICO 1. ÁREAS ALTERADAS E/OU DEGRADADAS LOCALIZADAS EM ASSENTAMENTOS DA REFORMA AGRÁRIA (PASSIVOS DE APP E RL), IMÓVEIS RURAIS (PASSIVOS DE APP E RL), TI E UC DE ÂMBITO FEDERAL, POR BIOMA



Fonte dos dados: Termômetro do Código Florestal, Conservation International e ICMBio

GRÁFICO 2. PASSIVOS DE APP E DE RL EM ASSENTAMENTOS DA REFORMA AGRÁRIA, POR BIOMA

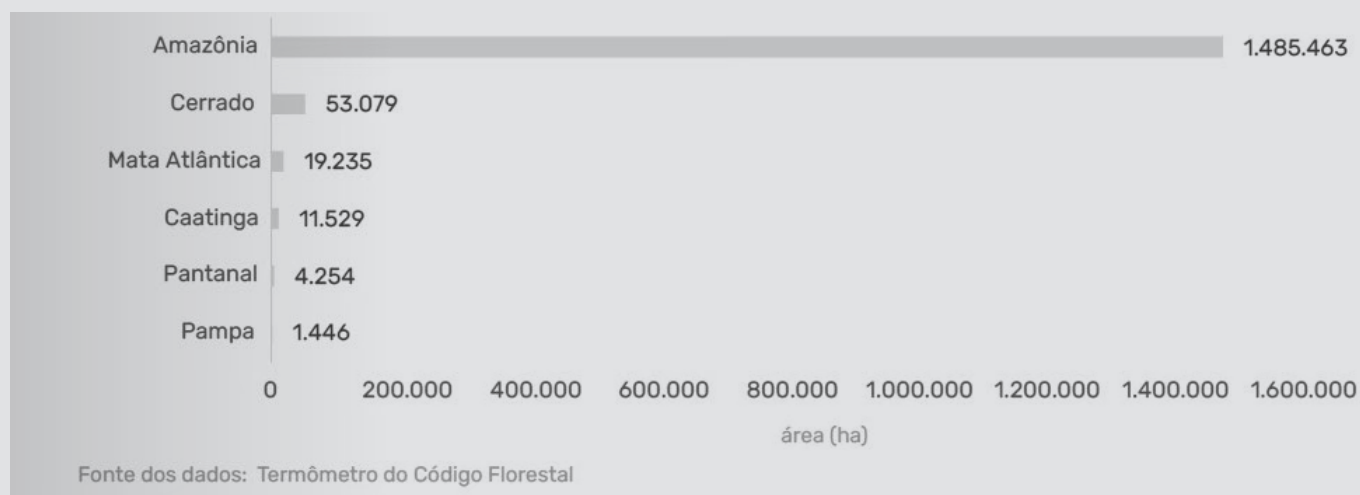


GRÁFICO 3. ÁREAS ALTERADAS E/OU DEGRADADAS LOCALIZADAS EM TI, POR BIOMA

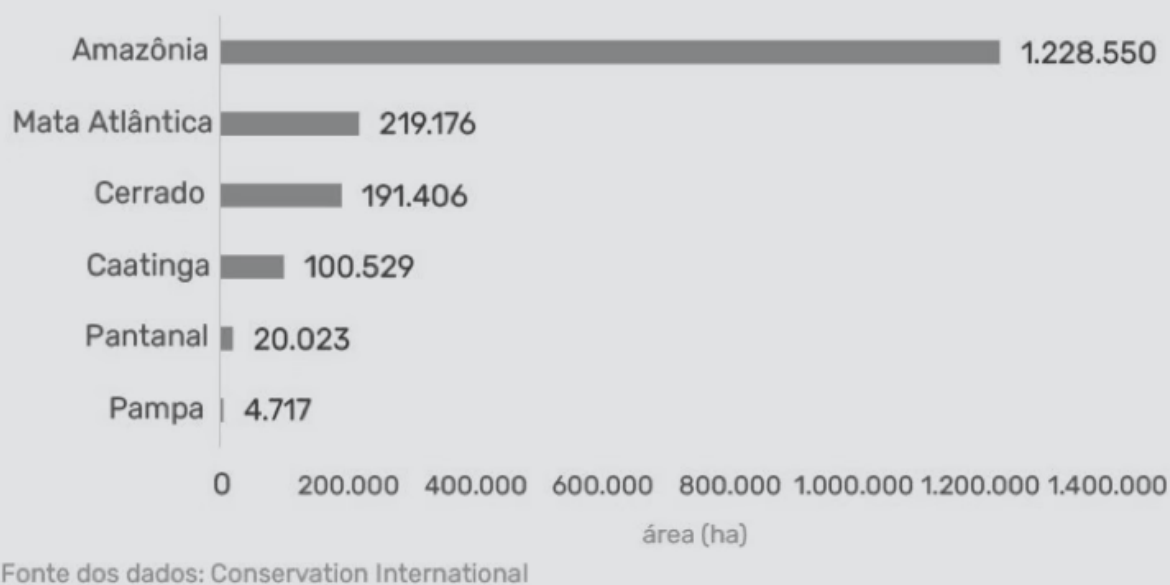
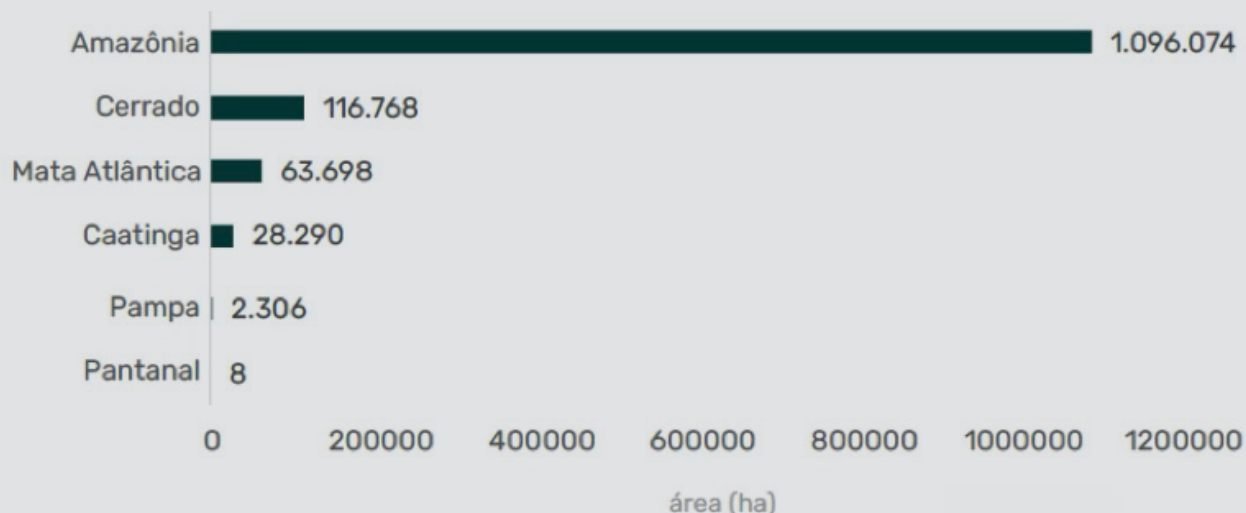


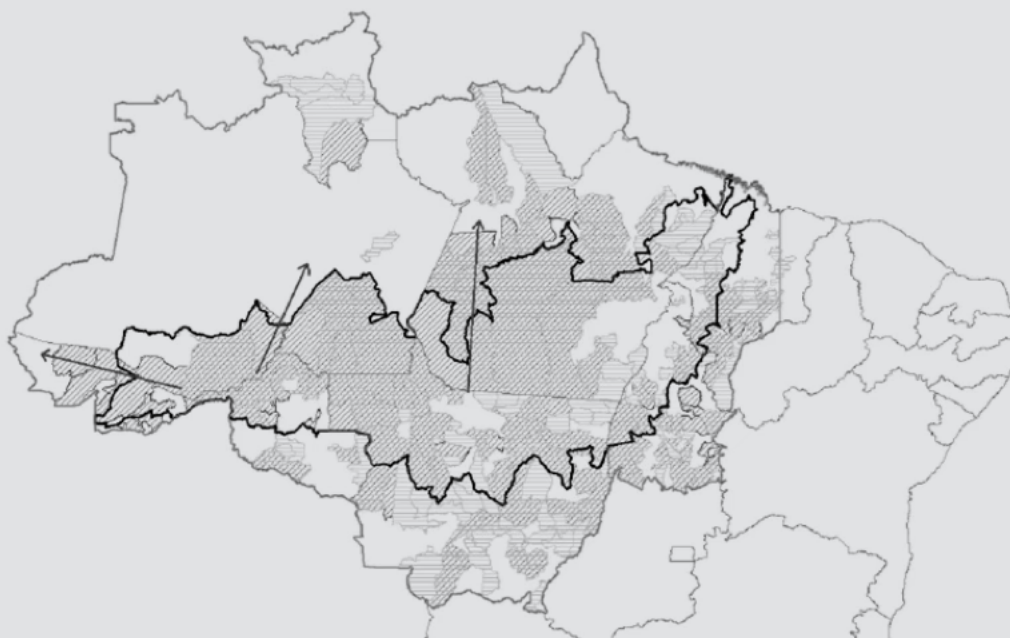
GRÁFICO 4. ÁREAS ALTERADAS E/OU DEGRADADAS LOCALIZADAS EM UC DE ÂMBITO FEDERAL, POR BIOMA



Fonte dos dados: ICMBio

O Arco do Desmatamento ocupa cerca de 10% da área total da Amazônia Legal Brasileira, sendo responsável por aproximadamente 45% de todo o desmatamento registrado no Brasil. Trata-se da região mais crítica em termos de perdas florestais e impactos ambientais. Os municípios que integram o Arco concentram cerca de 75% do desmatamento acumulado na Amazônia Brasileira, configurando-se como o epicentro do avanço da fronteira agrícola e da conversão florestal. A magnitude da degradação ambiental é evidenciada pelo desmatamento acumulado na região, que equivale a aproximadamente duas vezes o tamanho do Reino Unido, ilustrando a dimensão desse impacto no território.

FIGURA 1 – ARCO DO DESMATAMENTO BRASILEIRO



Entre 1988 e 2023, estima-se que a Amazônia perdeu cerca de 20% de sua cobertura florestal original, o equivalente a aproximadamente 800.000 km<sup>2</sup>. As taxas anuais de desmatamento oscilaram ao longo do tempo, atingindo picos nos anos 1990 e meados dos anos 2000. O maior índice foi registrado em 2004, quando 27.772 km<sup>2</sup> de floresta foram desmatados. A implementação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), em 2004, reduziu significativamente as taxas, que chegaram a 4.571 km<sup>2</sup> em 2012, o menor valor desde 1988. Entretanto, a partir de 2019, as taxas voltaram a subir, alcançando 13.038 km<sup>2</sup> em 2021, resultado do enfraquecimento da fiscalização ambiental e do aumento das permissões para exploração em áreas protegidas (PRODES, 2023; IPAM, 2024).

As queimadas são outro fator crítico no Arco do Desmatamento, usadas tanto para desmatamento quanto para renovação de pastagens. Em 2022, 77% dos focos de queimadas da Amazônia Legal foram registrados no Arco, com destaque para os estados do Pará, Mato Grosso e Rondônia. Essas práticas emitem grandes volumes de gases de efeito estufa (GEEs), agravando as mudanças climáticas globais, além de causar severos impactos na qualidade do ar e na saúde das populações locais. Estima-se que as emissões de CO<sub>2</sub> associadas às queimadas tenham superado 1 bilhão de toneladas anuais em períodos críticos (MapBiomas, 2023; IPAM, 2024).

Os conflitos fundiários são uma característica recorrente no Arco, originados pela competição por terras entre grandes proprietários rurais, pequenos agricultores, comunidades tradicionais e povos indígenas. Em 2023, foram registrados mais de 1.500 conflitos relacionados à terra na Amazônia Legal, concentrados no Pará, Maranhão e Rondônia. Muitos desses conflitos envolvem a grilagem de terras públicas, invasões de áreas protegidas e disputas por territórios indígenas, como a Terra Indígena Ituna-Itatá e a reserva extrativista Verde para Sempre, no Pará. A violência contra lideranças comunitárias e indígenas é alarmante, com dezenas de assassinatos reportados anualmente (CPT, 2024; ISA, 2024).

Os impactos ambientais e sociais no Arco são profundos. A perda de florestas compromete a biodiversidade, alterando ecossistemas únicos e colocando espécies em risco de extinção. As mudanças no ciclo hidrológico e a redução da resiliência da floresta agravam a vulnerabilidade climática global. Socialmente, o avanço da agropecuária gera desigualdades econômicas e pressiona comunidades locais a abandonar suas terras

ou aceitar condições precárias de trabalho em atividades ilegais (IPAM, 2024; INPE, 2024).

Apesar dos desafios, o Arco do Desmatamento apresenta oportunidades para implementar modelos de desenvolvimento sustentável. Estratégias como sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta (ILPF), restauração ecológica e valorização da sociobiodiversidade podem transformar a região em um polo de bioeconomia. Iniciativas de pagamento por serviços ambientais (PSA), créditos de carbono e biofábricas para produção de insumos ecológicos também têm o potencial de incentivar práticas sustentáveis e reduzir os passivos ambientais. Programas como o PLANA-VEG são exemplos de como alinhar conservação ambiental e desenvolvimento econômico em um contexto desafiador (MMA, 2024; Brazil-UK PACT, 2024).

## Metodologia

A construção do modelo teórico e estatístico partiu da definição clara da variável dependente: a área total desmatada por ano (em hectares), representando a intensidade anual do processo de supressão vegetal nos territórios analisados. A etapa inicial consistiu na identificação e sistematização de um conjunto abrangente de variáveis que poderiam explicar essa dinâmica, com base em três dimensões principais: fatores socioeconômicos, políticas públicas ambientais e contextos político-institucionais.

No âmbito socioeconômico, foram incluídos indicadores relacionados à pressão produtiva sobre o uso da terra, ao perfil da atividade agropecuária e à estrutura populacional. As variáveis testadas compreenderam o número de infrações ambientais registradas, o valor total arrecadado com multas, o indicador de eficiência arrecadatória, o valor médio das multas aplicadas, a área plantada, o efetivo bovino, o PIB total, o PIB agropecuário, a população residente, o PIB per capita, a proporção da população urbana e a taxa de urbanização.

Paralelamente, foram consideradas variáveis institucionais que representassem a vigência de instrumentos de regulação ambiental e políticas públicas setoriais. Para isso, foram criadas variáveis dummies que captam os efeitos da implementação de medidas específicas: o Programa de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm –

2004), o sistema de monitoramento por satélite do INPE (DETER – 2004), a Moratória da Soja (2006), a Lei de Crimes Ambientais (1998), o Cadastro Ambiental Rural – CAR (2012), o Fundo Amazônia (2008), a Moratória da Carne (2009) e o crédito rural condicionado à regularização ambiental (2008).

Com o objetivo de mensurar os impactos de diferentes políticas públicas e instrumentos regulatórios sobre o desmatamento na Amazônia Legal, foram incluídas no modelo variáveis dummies que representam a vigência ou implementação de medidas específicas ao longo dos anos. Essas variáveis binárias assumem valor 1 nos anos e localidades em que a política estava ativa e 0 nos demais casos. A seguir, apresenta-se a descrição dos instrumentos considerados, com base nas variáveis utilizadas no banco de dados:

- **D\_PPCDAM\_2004:** representa a vigência do Programa de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), lançado em 2004 pelo Governo Federal. O programa integra ações de monitoramento, ordenamento territorial, regularização fundiária e atuação repressiva, sendo amplamente reconhecido como um divisor de águas no enfrentamento ao desmatamento ilegal. O PPCDAm foi implementado em fases sucessivas (I a IV) e está formalmente em vigor, embora com diferentes níveis de prioridade ao longo dos governos.
- **D\_MONITORAMENTO\_INPE:** refere-se à presença do sistema de monitoramento por satélite DETER, desenvolvido pelo INPE e operacionalizado também a partir de 2004. O DETER permite a detecção quase em tempo real de alterações na cobertura florestal, viabilizando ações de fiscalização mais rápidas e efetivas. Continua ativo e sendo aprimorado com tecnologias complementares.
- **D\_ACORDO\_SOJA\_2006:** capta os efeitos da chamada Moratória da Soja, firmada em 2006 entre entidades ambientalistas, empresas do agronegócio e o governo, com o objetivo de bloquear a compra de soja cultivada em áreas desmatadas após aquela data. A moratória permanece em vigor e foi renovada por tempo indeterminado a partir de 2016, sendo considerada um caso emblemático de autorregulação setorial com base em rastreabilidade ambiental.

- D\_CRIMES\_AMBIENTAIS\_1998: indica a vigência da Lei nº 9.605/1998 (Lei de Crimes Ambientais), que estabeleceu sanções administrativas, civis e penais para infrações ambientais. Embora promulgada em 1998, sua aplicação ganhou impulso com a intensificação da fiscalização e com a maior institucionalização do controle ambiental ao longo dos anos 2000.
- D\_CAR\_2012: representa a obrigatoriedade do Cadastro Ambiental Rural (CAR), instituído pela Lei nº 12.651/2012 (Novo Código Florestal). Trata-se de um registro eletrônico georreferenciado das propriedades rurais, condição necessária para o acesso ao crédito rural e para a adesão a programas de regularização ambiental. O CAR continua sendo um instrumento central na política ambiental brasileira, embora enfrente desafios na validação dos dados e na responsabilização por passivos ambientais.
- D\_FundoAmazonia: identifica a operacionalização do Fundo Amazônia, criado em 2008 e gerido pelo BNDES, com o objetivo de captar e aplicar recursos em ações de prevenção, monitoramento e combate ao desmatamento. Após uma suspensão de repasses durante 2019–2022, o fundo foi reativado em 2023, com nova governança e ampliação dos parceiros internacionais.
- D\_MoratoriaCarne: corresponde à vigência da Moratória da Carne, estabelecida em 2009 por meio de compromissos assumidos por frigoríficos e grandes redes de varejo para não adquirir gado oriundo de áreas desmatadas ilegalmente. Assim como a moratória da soja, trata-se de uma iniciativa baseada em rastreabilidade, sendo monitorada por auditorias independentes e organizações da sociedade civil.
- D\_CreditoCondicionado: representa a implementação de restrições ao crédito rural oficial a partir de 2008, voltadas a municípios com alta incidência de desmatamento e/ou propriedades não regularizadas no CAR. A medida foi implementada por meio de resoluções do Banco Central e teve impacto significativo na redução da conversão de áreas florestais em municípios críticos.

Essas variáveis foram incorporadas ao modelo econométrico como forma de testar a eficácia de cada instrumento na redução do desmatamento. Estudos anteriores como os de Assunção et al. (2013), Azevedo et al. (2017), Gibbs et al. (2015), e Rajão et al. (2020) analisaram parte desses meca-

nismos e apontaram resultados positivos em termos de contenção do desflorestamento, sobretudo quando houve sinergia entre ações estatais e compromissos setoriais de mercado.

Para aprimorar a modelagem estatística, foram realizadas transformações logarítmicas sobre as variáveis de grandeza contínua, buscando estabilizar a variância, aproximar a distribuição à normalidade e facilitar a interpretação dos coeficientes em termos percentuais. Entre as variáveis transformadas, destacam-se: o logaritmo da área desmatada, do número de infrações, do valor arrecadado com multas, do valor médio das multas, da área plantada, do efetivo bovino, do PIB total, da população residente, do PIB per capita e do PIB agropecuário. Também foram testadas formas quadráticas ( $\text{PIBpc}^2$  e seu logaritmo) para captar efeitos não lineares.

Etapas cruciais da modelagem consistiu na construção de variáveis de interação teórica, que articulam políticas públicas, capacidades locais e pressões econômicas. Foram criadas interações como: Moratória da Carne x Efetivo Bovino, Moratória da Soja x Área Plantada, Crédito x CAR x Área Plantada, Crédito x CAR x Acordo da Soja x Área Plantada, Crédito x log do PIB agropecuário, além de variáveis que combinam regimes políticos com desempenho institucional: Eficácia institucional sob governos de direita, eficácia institucional sob governos de esquerda e a interação entre governo Lula e eficiência institucional.

Após rodadas sucessivas de testes, análise de colinearidade e avaliação de significância estatística, o modelo final foi composto por quatro variáveis: (1) log do PIB agropecuário, (2) interação entre crédito, CAR e área plantada, (3) interação entre Moratória da Carne e efetivo bovino, e (4) interação entre governo Lula e eficiência institucional. Esse modelo alcançou alto poder explicativo ( $R^2$  ajustado = 0,895), com todos os coeficientes estatisticamente significativos ao nível de 1%, e apresentou indicadores robustos de ajuste e validade, confirmando a coerência teórica e empírica da especificação adotada.

O processo de modelagem foi desenvolvido em etapas, partindo de uma formulação ampla baseada na literatura e nas hipóteses de pesquisa, até a obtenção do modelo estatisticamente significativo e teoricamente consistente. A variável dependente é o logaritmo da área desmatada anual (LogDesmatamento), considerada uma medida proporcional da intensidade do desflorestamento.

## 1. Modelo Geral (Especificação Inicial Ampla):

$$\text{LogDesmatamento}_t = \beta_0 + \beta_1 \text{NumInfrações}_t + \beta_2 \text{VlrInfrações}_t + \beta_3 \text{EficiênciaArrec}_t + \beta_4 \text{VlrMédiolInfrações}_t + \beta_5 \text{ÁreaPlantada}_t + \beta_6 \text{EfetivoBovino}_t + \beta_7 \text{PIB}_t + \beta_8 \text{População}_t + \beta_9 \text{PIBpc}_t + \beta_{10} \text{PIBAgropec}_t + \beta_{11} \text{Urbanização}_t + \varepsilon_t$$

## 2. Inclusão de Políticas Ambientais (Dummies Institucionais):

$$+ \sum \delta_i D_{\text{políticas}_i}, \text{ com } D_{\text{políticas}_i} \in \{\text{PPCDAm}, \text{MonitoramentoINPE}, \text{MoratóriaSoja}, \text{LeiCrimesAmbientais}, \text{CAR}, \text{FundoAmazônia}, \text{MoratóriaCarne}, \text{CréditoCondicionado}\}$$

## 3. Inclusão de Efeitos Políticos:

$$+ \theta_1 \cdot D_{\text{GovernoLula}} + \theta_2 \cdot D_{\text{GovernoBolsonaro}}$$

## 4. Transformações Logarítmicas e Não Lineares:

$$\text{LogDesmatamento}_t = f(\log(\text{Infrações}_t), \log(\text{ValorMultas}_t), \log(\text{ÁreaPlantada}_t), \log(\text{EfetivoBovino}_t), \log(\text{PIB}_t), \log(\text{Pop}_t), \log(\text{PIBpc}_t), \log(\text{PIBAgropec}_t), \dots)$$

## 5. Construção de Variáveis de Interação:

$$\text{MoratóriaCarne}_t \cdot \text{EfetivoBovino}_t, \text{MoratóriaSoja}_t \cdot \text{ÁreaPlantada}_t, \text{Crédito}_t \cdot \text{CAR}_t \cdot \text{ÁreaPlantada}_t, \text{GovernoLula}_t \cdot \text{EficiênciaInstitucional}_t$$

## 6. Especificação Final (Modelo Estimado):

$$\text{LogDesmatamento}_t = \beta_0 + \beta_1 \log(\text{PIBAgropec}_t) + \beta_2 (\text{Crédito}_t \cdot \text{CAR}_t \cdot \text{ÁreaPlantada}_t) + \beta_3 (\text{MoratóriaCarne}_t \cdot \text{EfetivoBovino}_t) + \beta_4 (\text{GovernoLula}_t \cdot \text{EficiênciaInstitucional}_t) + \varepsilon_t$$

Com:

$$R^2 \text{ ajustado} = 0,895$$

Todos os coeficientes significativos a  $p < 0,001$

Baixo erro padrão da estimativa ( $\sigma = 0,05258$ )

Estatística Durbin-Watson = 2,425 (sem autocorrelação)

Como parte da análise empírica, esta pesquisa incorporará a elaboração de projeções de desmatamento para os municípios do Arco do Desmatamento, com horizonte até o ano de 2050. A metodologia baseia-se na aplicação de modelos econométricos previamente estimados por regressão linear múltipla e regularização via LASSO, com a variável dependente logaritmizada ( $\log(\text{Desmatamento})$ ). As variáveis explicativas selecionadas refletem fatores institucionais, econômicos e ambientais, incluindo indicadores de políticas públicas, ações de monitoramento e fiscalização, mecanismos de comando e controle, além de variáveis compostas que captam efeitos de interação entre crédito rural, efetivo bovino, áreas cadastradas e presença de moratórias.

A partir desse modelo, foram delineados três cenários prospectivos: cenário pessimista, com enfraquecimento institucional e baixa pressão internacional; cenário moderado, com manutenção das estruturas de fiscalização e relativa pressão externa; e cenário otimista, marcado pelo fortalecimento das instituições ambientais e elevada exigência internacional por padrões sustentáveis. Em todos os cenários, foi adotada uma taxa média de crescimento do PIB agropecuário de 2,5% ao ano, em linha com as tendências históricas do setor.

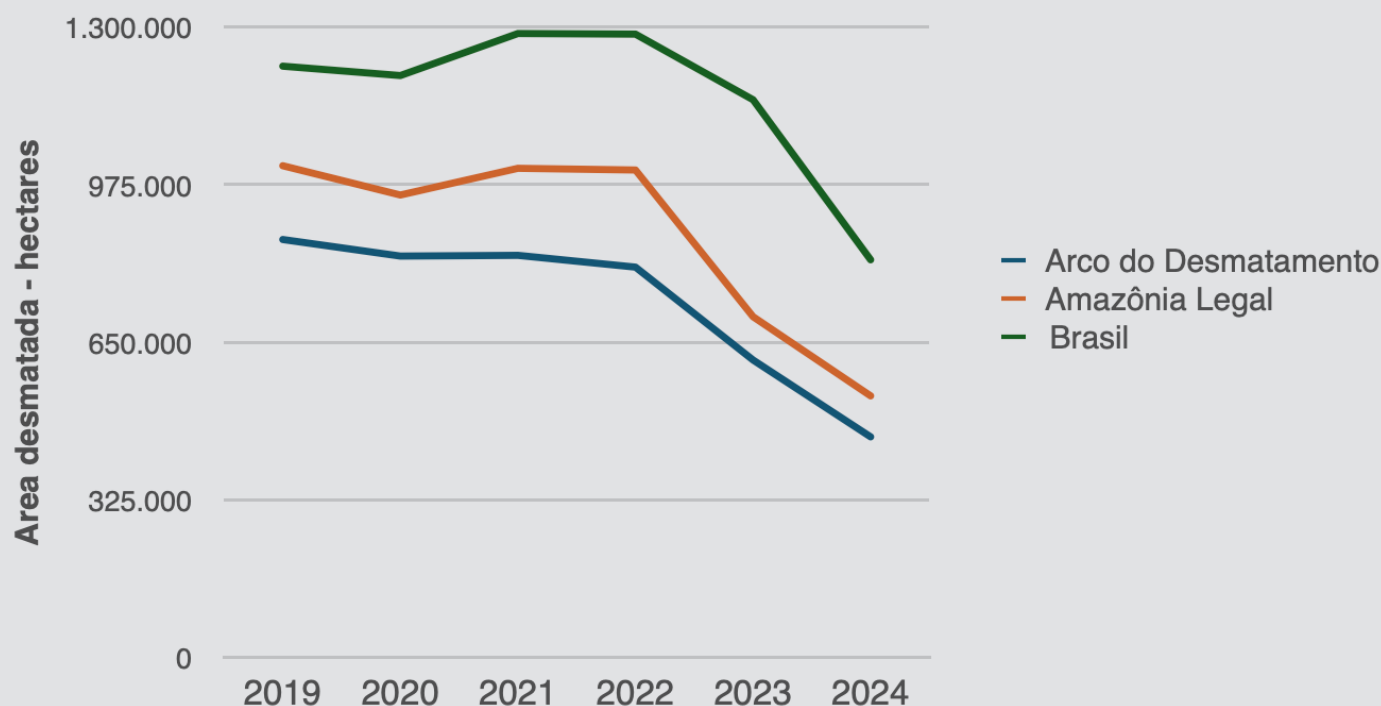
Essas projeções têm como objetivo oferecer uma visão prospectiva do comportamento esperado do desmatamento em diferentes condições de governança ambiental, subsidiando o debate sobre os impactos das políticas públicas e os riscos associados à erosão institucional.

## Resultados E Discussões

### DINÂMICA DO DESMATAMENTO NO BRASIL

Entre os anos de 2020 e 2024, os dados consolidados indicam uma tendência clara de redução das áreas desmatadas no Brasil, especialmente nos dois últimos anos da série. Após um aumento significativo em 2021 (+7,2%), o desmatamento começou a recuar em 2022 (-0,1%) e intensificou essa queda em 2023 (-10,5%) e 2024 (-28,7%).

GRÁFICO 5 - EVOLUÇÃO DO DESMATAMENTO NO BRASIL, AMAZÔNIA LEGAL E ARCO DO DESMATAMENTO - BRASIL - 2019-2024

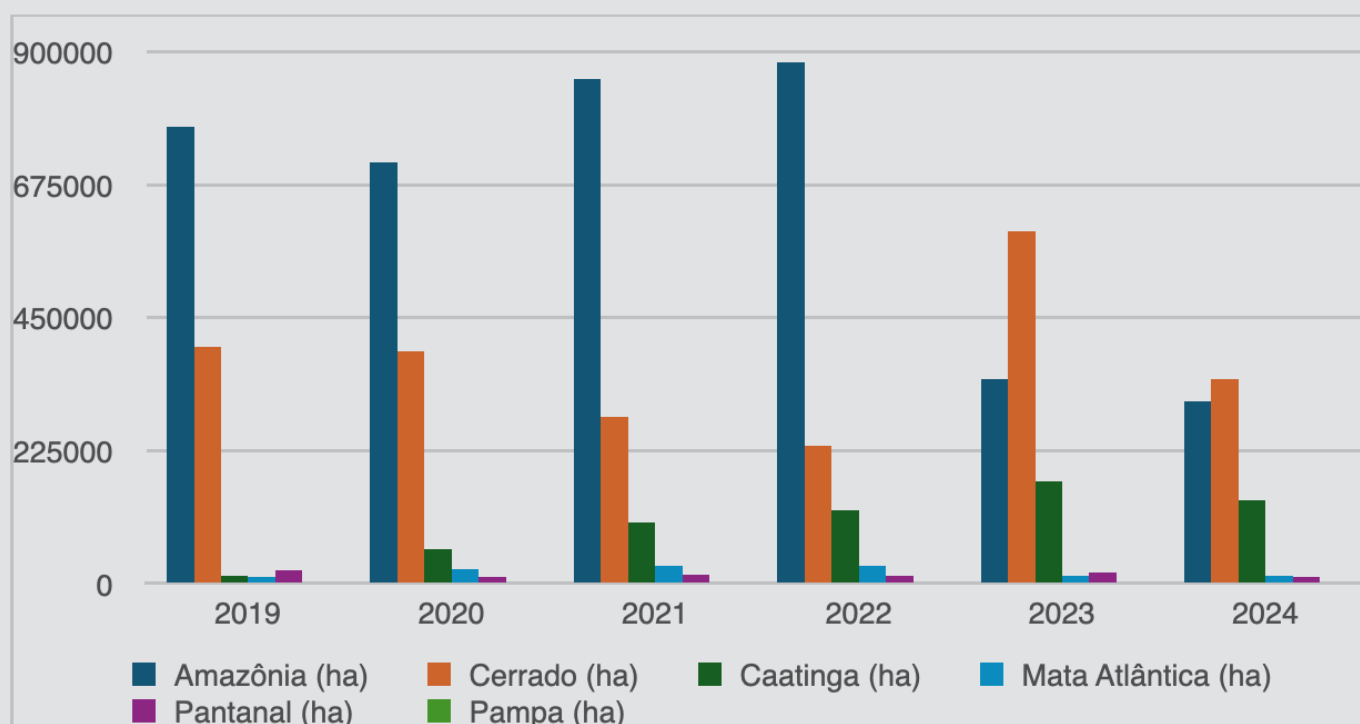


Essa trajetória é ainda mais expressiva na Amazônia Legal, onde as reduções atingiram -30,1% em 2023 e -23,2% em 2024, após um pico em 2021. No Arco do Desmatamento, região historicamente mais vulnerável, as quedas foram igualmente relevantes: -23,8% e -25,8%, respectivamente.

Os números refletem um recuo consistente do desmatamento, intensificado a partir de 2023 com a retomada de políticas ambientais sob o governo do Presidente Lula (2023–2026). Entre os fatores decisivos estão o reforço à fiscalização ambiental, a reconstrução institucional de órgãos como IBAMA e ICMBio, e o reposicionamento do Brasil no cenário internacional como ator relevante no combate às mudanças climáticas.

Embora os volumes absolutos de desmatamento ainda sejam altos, a tendência observada pode representar um ponto de inflexão em relação ao padrão histórico de avanço sobre os biomas brasileiros — especialmente a Amazônia —, indicando uma possível mudança estrutural no modelo de ocupação e uso do solo no país.

GRÁFICO 6. EVOLUÇÃO DO DESMATAMENTO NO BRASIL POR BIOMA - 2019/2024



O Gráfico 6 apresenta uma análise da evolução do desmatamento nos seis principais biomas do Brasil (Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa) entre os anos de 2019 e 2024. A partir de dados consolidados em hectares e percentuais relativos à área total de cada bioma, identificam-se padrões temporais, áreas críticas e possíveis deslocamentos geográficos da pressão antrópica sobre a vegetação nativa.

A Amazônia concentrou, historicamente, as maiores taxas absolutas de desmatamento no período analisado. Em 2019, foram 772 mil hectares desmatados, alcançando um pico em 2022 (882 mil ha). Contudo, o bioma registrou uma redução expressiva em 2023 (-60%) e 2024 (-11%), chegando a 307 mil ha no último ano. Em termos percentuais, o desmatamento caiu de 0,21% da área total do bioma em 2022 para 0,07% em 2024, sinalizando possível eficácia de políticas de controle ambiental.

O Cerrado apresentou comportamento oposto: após uma queda até 2022 (0,11% da área total), houve um aumento abrupto em 2023, atingindo 595 mil hectares (0,29%). Em 2024, o valor voltou a patamares intermediários (346 mil ha ou 0,17%), o que ainda reflete uma pressão significativa sobre o bioma.

A Caatinga teve crescimento quase constante no período: de 13 mil ha em 2019 para mais de 173 mil ha em 2023, atingindo 0,20% de sua área total. Mesmo com uma leve queda em 2024, o nível se manteve elevado, sugerindo nova fronteira de expansão agropecuária.

A Mata Atlântica manteve padrões baixos de desmatamento (menos de 30 mil ha/ano), com variações percentuais abaixo de 0,03% da área total do bioma. A estabilização reflete a histórica degradação do bioma, mas também a existência de políticas e áreas protegidas mais consolidadas.

Ambos os biomas Pampa e Pantanal registraram pequenas áreas absolutas desmatadas (abaixo de 20 mil ha/ano), mas com variações significativas em relação à sua extensão total. O Pantanal oscilou entre 0,07% e 0,14% de sua área, e o Pampa variou de 0,003% a 0,017%, com picos em 2021 e 2022.

Observa-se uma tendência de deslocamento da pressão de desmatamento da Amazônia para outros biomas como o Cerrado e a Caatinga, sobretudo entre 2022 e 2023. Tal movimento pode estar associado à intensificação da fiscalização na Amazônia e à menor cobertura normativa e institucional nos demais biomas.

As quedas observadas no desmatamento da Amazônia coincidem com a retomada de políticas ambientais a partir de 2023, como a reativação do Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento (PPCDAm), o fortalecimento do IBAMA e ICMBio, e o reposicionamento internacional do Brasil na pauta climática.

Apesar da tendência de redução do desmatamento na Amazônia, os dados revelam que a pressão sobre os biomas brasileiros permanece elevada e tende a se redistribuir territorialmente. O aumento do desmatamento em biomas como o Cerrado e a Caatinga exige maior atenção política e estratégica. A proteção efetiva da biodiversidade nacional demanda uma visão integrada e multibioma das políticas de controle ambiental.

A análise dos municípios que mais frequentemente figuraram nos rankings anuais de área desmatada no Brasil entre 2019 e 2024 revela um núcleo recorrente de territórios com forte pressão sobre os ecossistemas florestais, principalmente na Amazônia Legal. Cinco municípios se destacam por estarem presentes em 100% dos rankings anuais: Altamira (PA), São Félix do Xingu (PA), Porto Velho (RO), Lábrea (AM) e Apuí (AM). Essa frequência indica a persistência de vetores estruturais de desmatamento nes-

sas regiões, associada à expansão da fronteira agropecuária, à grilagem de terras públicas e à baixa governança fundiária e ambiental.

Outros municípios também apresentam recorrência significativa, como Pacajá (PA) e Portel (PA), ambos com 66,7% de presença nos rankings. Municípios como Itaituba (PA), Colniza (MT) e Boca do Acre (AM) aparecem em metade dos anos analisados, refletindo dinâmicas locais de uso e ocupação do solo, muitas vezes atreladas a grandes empreendimentos, estradas ou ausência de fiscalização efetiva.

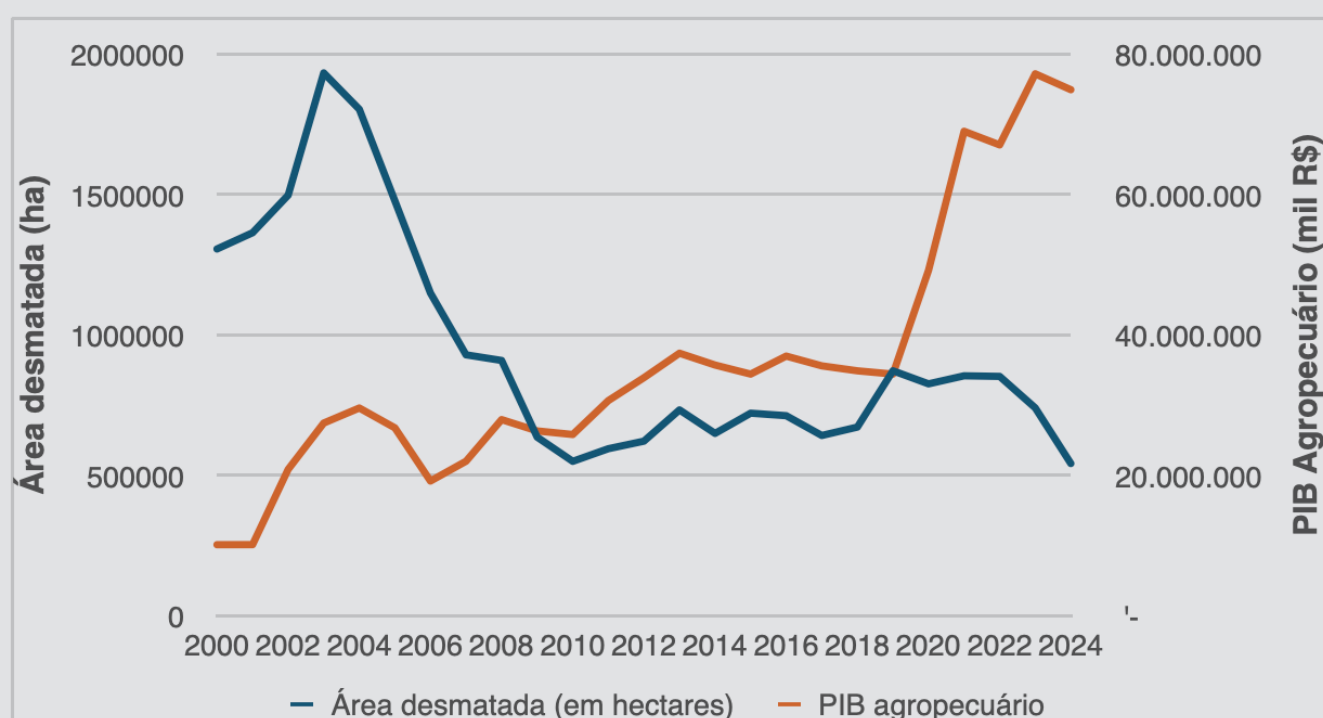
O levantamento também mostra a entrada de novos polos de desmatamento em 2023 e 2024, como Balsas, Grajaú, Riachão (MA), São Desidério e Formosa do Rio Preto (BA), Rio Sono (TO) e Feijó (AC), indicando um possível deslocamento parcial do eixo da devastação em direção ao Cerrado maranhense, baiano e tocantinense.

TABELA 1 – PRINCIPAIS MUNICÍPIOS DESMATADORES NO BRASIL  
2019-2024

| Município             | Estado | Frequência no Ranking (2019–2024) |
|-----------------------|--------|-----------------------------------|
| Altamira              | PA     | 100,0%                            |
| São Félix do Xingu    | PA     | 100,0%                            |
| Porto Velho           | RO     | 100,0%                            |
| Lábrea                | AM     | 100,0%                            |
| Apuí                  | AM     | 100,0%                            |
| Pacajá                | PA     | 66,7%                             |
| Portel                | PA     | 66,7%                             |
| Itaituba              | PA     | 50,0%                             |
| Colniza               | MT     | 50,0%                             |
| Boca do Acre          | AM     | 50,0%                             |
| Novo Aripuanã         | AM     | 33,3%                             |
| Feijó                 | AC     | 33,3%                             |
| Novo Progresso        | PA     | 16,7%                             |
| Formosa do Rio Preto  | BA     | 16,7%                             |
| Senador José Porfírio | PA     | 16,7%                             |

|                    |    |       |
|--------------------|----|-------|
| Candeias do Jamari | RO | 16,7% |
| Balsas             | MA | 16,7% |
| Grajaú             | MA | 16,7% |
| São Desidério      | BA | 16,7% |
| Rio Sono           | TO | 16,7% |
| Riachão            | MA | 16,7% |

GRÁFICO 7 - ÁREA DESMATADA VERSUS EVOLUÇÃO DO PIB AGROPECUÁRIO NOS ESTADOS DO ARCO DO DESMATAMENTO (AC, MT, PA, TO, MA)



Entre os anos de 2000 e 2024, o Arco do Desmatamento — abrangendo majoritariamente os estados do Pará, Mato Grosso, Maranhão, Rondônia, Tocantins e Acre — apresentou uma trajetória marcada por transformações significativas tanto no uso do solo quanto na dinâmica econômica regional. O conjunto dos dados evidencia uma redução média anual de 5,29% no desmatamento, ao mesmo tempo em que o PIB agropecuário da região cresceu, em média, 8,70% ao ano.

Essa aparente contradição entre menor desmatamento e maior valor adicionado pelo setor agropecuário reflete mudanças estruturais relevantes:

- Avanço tecnológico e intensificação produtiva, com maior uso de insumos, máquinas e técnicas de gestão do solo, permitindo o aumento da produção em áreas já convertidas;
- Pressão normativa e avanços nos mecanismos de controle ambiental, com fortalecimento de políticas públicas e maior difusão de sistemas de monitoramento por satélite;
- Mudança no perfil produtivo, com crescente inserção de cadeias mais organizadas, certificadas e voltadas à exportação — especialmente em Mato Grosso e Pará;
- Adoção de modelos de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e outras práticas sustentáveis em determinadas regiões.

Ainda assim, a persistência do desmatamento em alguns polos críticos demonstra que os avanços não foram uniformes. O Pará, por exemplo, continua sendo o estado que mais contribui em volume absoluto para a supressão florestal, embora também tenha reduzido sua taxa média de desmatamento entre 2000 e 2024.

As taxas geométricas de redução anual do desmatamento por estado foram:

- Acre: -1,10% ao ano
- Maranhão: -3,88% ao ano
- Mato Grosso: -7,50% ao ano
- Pará: -4,15% ao ano
- Rondônia: -9,65% ao ano
- Tocantins: -5,39% ao ano
- Arco como um todo: -5,29% ao ano

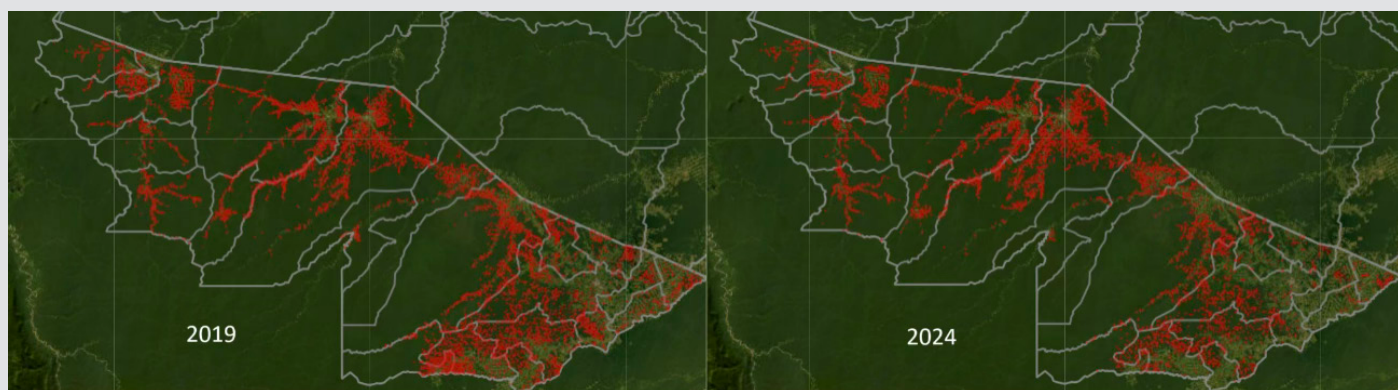
Esse padrão demonstra que o Arco do Desmatamento não representa um bloco homogêneo: há diferenças importantes quanto à eficácia das políticas ambientais estaduais, estrutura fundiária, tipologia dos imóveis rurais e capacidade institucional de fiscalização.

Por fim, a comparação entre a curva decrescente do desmatamento e a ascendente do PIB agropecuário serve como evidência empírica de que é possível dissociar crescimento econômico da destruição florestal. A trajetória da região indica uma janela de oportunidade para políticas que combinem desenvolvimento rural com conservação ambiental, reforçando o papel do Brasil como liderança em sustentabilidade no setor agropecuário.

## DIAGNÓSTICO DO DESMATAMENTO DOS ESTADOS QUE FAZEM PARTE DO ARCO DO DESMATAMENTO

### ACRE

FIGURA 2 – EVOLUÇÃO DOS ALERTAS DE DESMATAMENTO NO ACRE ENTRE 2019-2024



Entre os anos de 2019 e 2024, o estado do Acre apresentou uma dinâmica flutuante de desmatamento, com picos em 2022 e tendência de redução nos anos seguintes. Os dados de alertas, áreas desmatadas e médias diárias revelam importantes variações interanuais, associadas a fatores climáticos, econômicos e institucionais. O bioma Amazônia domina completamente o território afetado.

### Evolução da Área Desmatada

- **2019:** 57.430,4 ha (média diária de 171,4 ha/dia)
- **2020:** 58.159,0 ha (169,6 ha/dia)
- **2021:** 74.825,0 ha (223,4 ha/dia)
- **2022:** 91.237,5 ha (252,7 ha/dia)
- **2023:** 28.714,3 ha (78,9 ha/dia)
- **2024:** 37.530,3 ha (104,5 ha/dia)

A curva crescente de 2019 a 2022, com o ápice em 2022, indica um avanço significativo da pressão antrópica sobre a floresta amazônica acreana nesse período. Em contrapartida, os anos de 2023 e 2024 mostram uma retração expressiva, possivelmente relacionada à reestruturação das políticas ambientais federais e à intensificação de ações de fiscalização.

**Evolução do Total de Alertas**

- **2019:** 9.240 alertas
- **2020:** 11.521 alertas
- **2021:** 11.988 alertas
- **2022:** 10.428 alertas
- **2023:** 6.574 alertas
- **2024:** 7.585 alertas

A quantidade de alertas segue tendência semelhante à área desmatada, com redução significativa após 2022. Essa correlação aponta para uma possível efetividade de políticas públicas e ações integradas de monitoramento e controle.

Cinco municípios acreanos concentram a maior parte do desmatamento acumulado no período, tornando-se epicentros da degradação florestal no Acre:

| Município      | Área Desmatada Total (ha) | Frequência no Top 5 |
|----------------|---------------------------|---------------------|
| Feijó          | ~61.474,5                 | 6 vezes (100%)      |
| Sena Madureira | ~42.173,7                 | 6 vezes (100%)      |
| Tarauacá       | ~38.166,6                 | 6 vezes (100%)      |
| Rio Branco     | ~39.155,6                 | 6 vezes (100%)      |
| Manoel Urbano  | ~24.357,3                 | 6 vezes (100%)      |

Esses municípios aparecem de forma recorrente entre os dez mais desmatados em todos os anos, indicando uma persistência das pressões fundiárias, expansão agropecuária e fragilidade na governança territorial. Feijó lidera de forma destacada o ranking estadual, com mais de 9 mil hectares desmatados em 2024, sendo também o município com os maiores eventos pontuais e volumes acumulados.

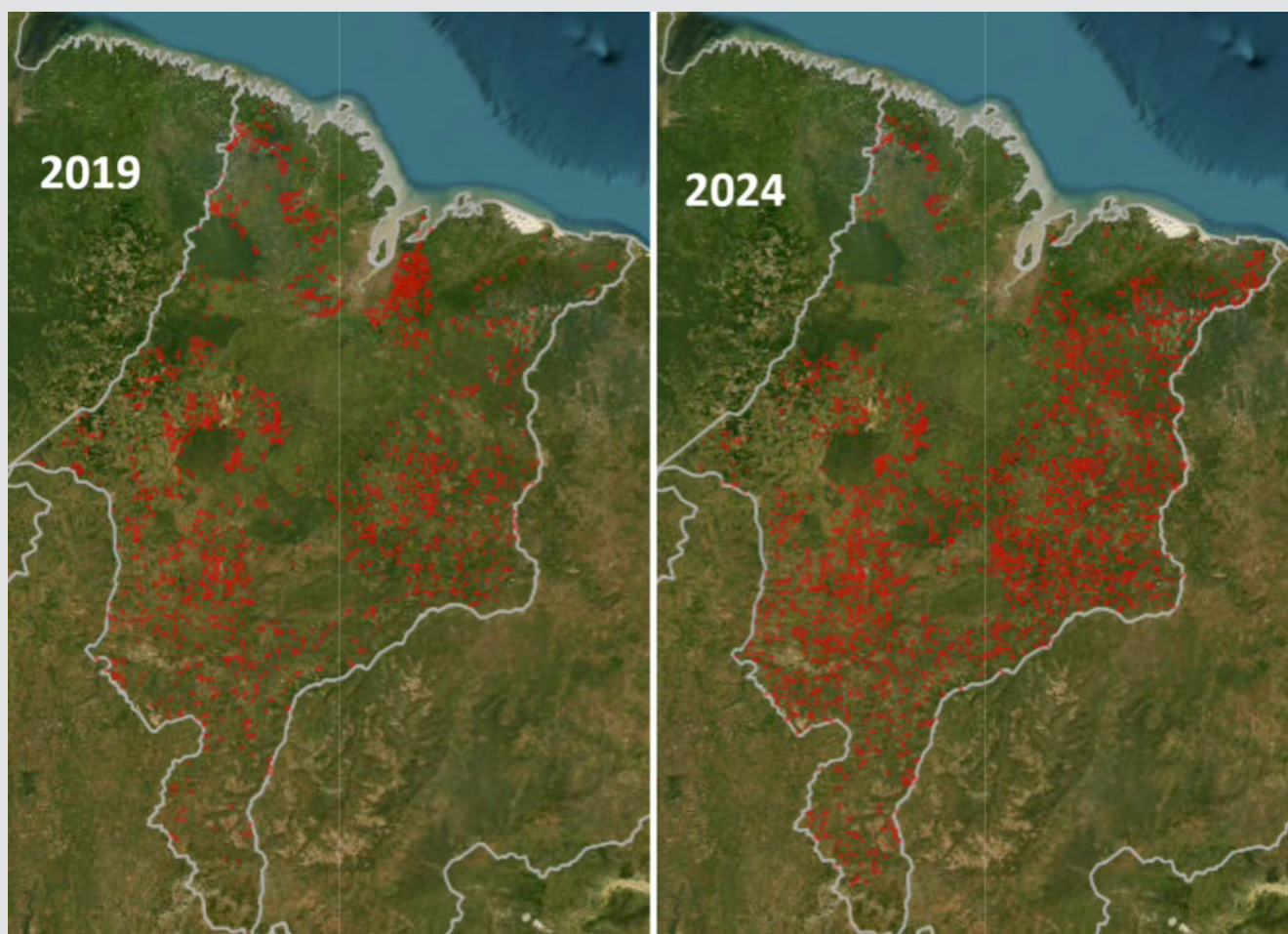
Os dados evidenciam que o desmatamento no Acre não é um fenômeno difuso, mas concentrado em núcleos geográficos específicos com baixa variação interanual quanto aos principais responsáveis. A presença constante de **Feijó, Sena Madureira, Tarauacá, Rio Branco e Manoel Urbano** sugere que políticas públicas devem priorizar esses territórios com ações preventivas e estruturantes, incluindo:

- Fortalecimento do ordenamento territorial,
- Apoio à produção sustentável,
- Regularização fundiária,
- Monitoramento por sensoriamento remoto.

Esses cinco municípios respondem, juntos, por mais de 50% do desmatamento total anual do estado, consolidando-se como áreas críticas para a conservação da Amazônia acreana.

## MARANHÃO

FIGURA 3 – EVOLUÇÃO DOS ALERTAS DE DESMATAMENTO NO MARANHÃO ENTRE 2019-2024



Esses municípios aparecem de forma recorrente entre os dez mais desmatados em todos os anos, indicando uma persistência das pressões fundiárias, expansão agropecuária e fragilidade na governança territorial. Feijó lidera de forma destacada o ranking estadual, com mais de 9 mil hectares desmatados em 2024, sendo também o município com os maiores eventos pontuais e volumes acumulados.

### **Evolução da Área Desmatada**

- **2019:** 57.797,6 ha (161,0 ha/dia)
- **2020:** 142.822,6 ha (390,2 ha/dia)
- **2021:** 99.910,5 ha (280,6 ha/dia)
- **2022:** 74.773,7 ha (206,6 ha/dia)
- **2023:** 180.020,6 ha (494,6 ha/dia)
- **2024:** 126.453,0 ha (348,4 ha/dia)

A curva mostra um forte crescimento de 2019 para 2020, queda relativa em 2021 e 2022, e novo pico em 2023, quando o Maranhão registrou seu maior valor da série histórica. Em 2024, a área desmatada reduziu, mas ainda se manteve em patamar elevado.

### **Evolução do Total de Alertas**

- **2019:** 2.440 alertas
- **2020:** 13.112 alertas
- **2021:** 4.175 alertas
- **2022:** 2.263 alertas
- **2023:** 7.690 alertas
- **2024:** 3.774 alertas

A quantidade de alertas acompanha a dinâmica da área desmatada, com destaque para 2020 e 2023. Os anos de menor número de alertas (2022 e 2024) sugerem períodos de maior controle ou menor pressão, embora os dados ainda indiquem níveis críticos.

A análise dos rankings anuais permite identificar os municípios com maior persistência entre os mais desmatados do estado:

| Município      | Área Desmatada Estimada (ha) | Frequência no Top 10 |
|----------------|------------------------------|----------------------|
| <b>Balsas</b>  | ~31.046,3                    | 6 vezes (100%)       |
| <b>Grajaú</b>  | ~33.724,0                    | 6 vezes (100%)       |
| <b>Codó</b>    | ~20.421,3                    | 6 vezes (100%)       |
| <b>Caxias</b>  | ~18.594,5                    | 5 vezes (83%)        |
| <b>Riachão</b> | ~13.441,1                    | 4 vezes (67%)        |

Esses municípios acumulam os maiores volumes de desmatamento e aparecem de forma recorrente nos rankings anuais. **Grajaú, Balsas e Codó** lideram a lista, com registros de desmatamento acima de 5 mil hectares em anos consecutivos. Já **Caxias e Riachão** mostram crescimento progressivo ao longo do período.

### Biomass Atingidos

- **Cerrado:** responde por mais de 85% da área desmatada anualmente.
- **Amazônia:** aparece de forma relevante, especialmente nas regiões centro-norte e oeste do estado.

A forte concentração no Cerrado maranhense reflete a expansão da fronteira agrícola e da pecuária, com impactos cada vez maiores sobre remanescentes florestais e áreas de transição.

Os dados revelam que o desmatamento no Maranhão segue padrão concentrado em núcleos agropecuários já consolidados e em áreas com histórico de conflitos fundiários e grilagem. O fato de cinco municípios concentrarem, juntos, mais da metade do desmatamento total do estado sugere que ações de controle e prevenção devem se concentrar prioritariamente nessas localidades.

Entre os fatores críticos estão:

- A ausência de regularização fundiária e ordenamento territorial;
- A pressão do agronegócio sobre áreas protegidas e terras indígenas;
- O desmonte ou baixa capilaridade dos sistemas estaduais de fiscalização.

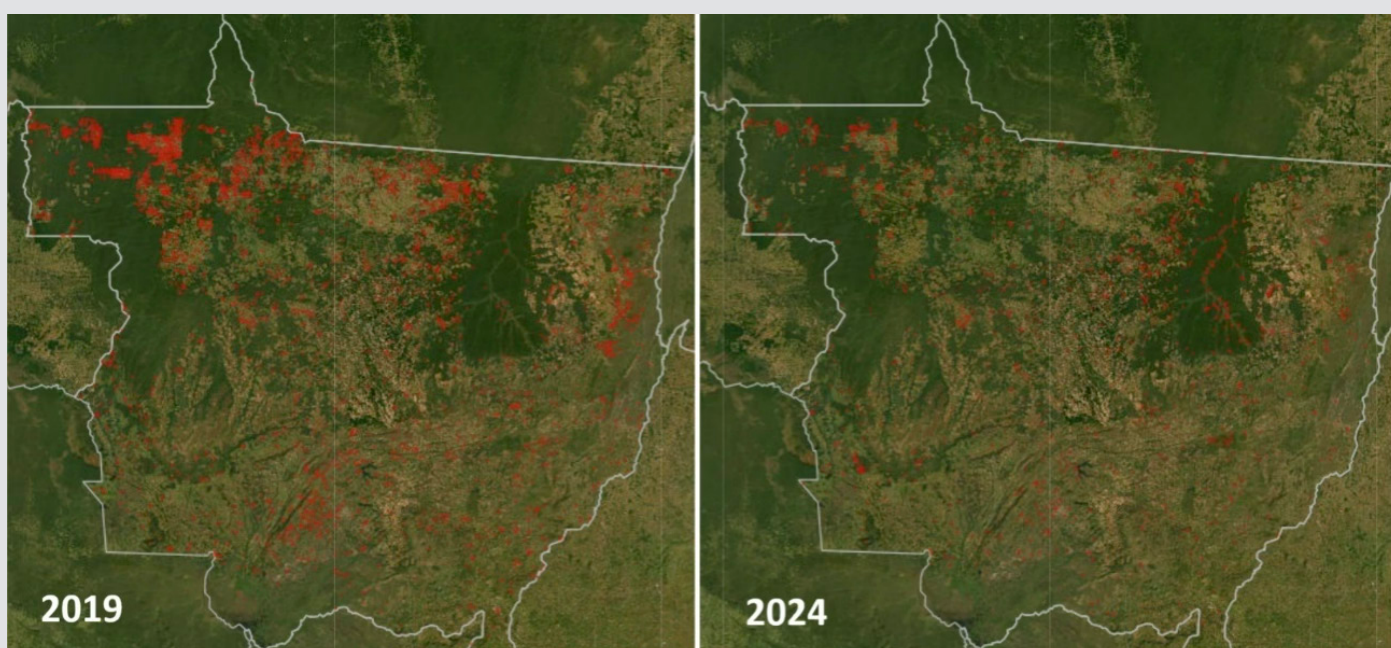
Para conter o avanço do desmatamento no Maranhão, é necessário:

- Fortalecer as políticas de comando e controle nos municípios críticos;
- Priorizar ações de fomento à produção sustentável no Cerrado e na Amazônia maranhense;
- Aumentar a presença do Estado com programas de regularização fundiária e apoio técnico aos pequenos produtores;
- Reforçar parcerias federativas para monitoramento contínuo por sensoriamento remoto.

Esses cinco municípios (Balsas, Grajaú, Codó, Caxias e Riachão) devem ser considerados zonas prioritárias em qualquer plano estadual ou federal de combate ao desmatamento na região.

## MATO GROSSO

FIGURA 3 – EVOLUÇÃO DOS ALERTAS DE DESMATAMENTO NO MATO GROSSO ENTRE 2019-2024



Entre 2019 e 2024, o estado de Mato Grosso apresentou uma trajetória de desmatamento marcada por elevados patamares iniciais, redução progressiva e uma queda mais acentuada a partir de 2023. O estado, que historicamente lidera os rankings nacionais de supressão vegetal, teve a Amazônia como bioma mais afetado, seguido pelo Cerrado e, em menor grau, pelo Pantanal. A combinação de pressões econômicas sobre a terra, avanço da fronteira agropecuária e fragilidade no controle fundiário ajudam a explicar os números robustos, ainda que com sinais recentes de retração.

### **Evolução da Área Desmatada**

- **2019:** 133.232,1 ha (média diária de 367,0 ha/dia)
- **2020:** 133.576,9 ha (366,0 ha/dia)
- **2021:** 131.303,6 ha (362,7 ha/dia)
- **2022:** 121.955,2 ha (334,1 ha/dia)
- **2023:** 83.735,8 ha (230,7 ha/dia)
- **2024:** 49.182,8 ha (134,7 ha/dia)

Após manter índices anuais acima de 130 mil hectares até 2021, o estado iniciou trajetória de redução consistente no desmatamento. A queda acumulada de mais de 84 mil hectares entre 2021 e 2024 representa um recuo superior a 64%, sinalizando mudança no padrão recente.

### **Evolução do Total de Alertas**

- **2019:** 4.548 alertas
- **2020:** 6.096 alertas
- **2021:** 4.692 alertas
- **2022:** 3.974 alertas
- **2023:** 3.358 alertas
- **2024:** 1.699 alertas

Os dados de alertas emitidos refletem a tendência de retração da área desmatada. Após um pico em 2020, os alertas vêm diminuindo ano a ano, o que pode estar associado a ações integradas de monitoramento por sensoriamento remoto e aumento da repressão a ilícitos ambientais.

Cinco municípios concentram parte expressiva do desmatamento no estado, aparecendo de forma recorrente nos rankings anuais:

| Município                    | Área Total<br>Desmatada (ha) | Frequência no Top<br>10 (2019–2024) |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Colniza</b>               | ~75.360,54                   | 6 vezes (100%)                      |
| <b>Aripuanã</b>              | ~46.206,53                   | 6 vezes (100%)                      |
| <b>Juara</b>                 | ~23.834,64                   | 6 vezes (100%)                      |
| <b>Nova<br/>Bandeirantes</b> | ~31.869,02                   | 5 vezes (83%)                       |
| <b>Apiacás</b>               | ~26.244,18                   | 5 vezes (83%)                       |

Esses cinco municípios ocupam as primeiras posições de forma sistemática, revelando núcleos estruturais de expansão do desmatamento. **Colniza**, com mais de 75 mil hectares desmatados no período, é o líder absoluto estadual, seguido por **Aripuanã** e **Juara**, ambos com histórico consolidado de supressão florestal em larga escala.

A persistência desses municípios entre os maiores desmatadores do estado sugere uma conjuntura local marcada por intensa pressão sobre os recursos florestais. A fronteira agrícola, o avanço da pecuária extensiva e a ocupação irregular do solo continuam a impulsionar o desmatamento, mesmo diante de restrições legais.

O bioma **Amazônia**, predominante na região noroeste do estado, é o mais impactado, respondendo anualmente por cerca de 70% a 80% da área total desmatada. Contudo, há uma contribuição significativa do **Cerrado**, sobretudo no centro-leste do estado, e ocorrências pontuais no **Pantanal**, cuja fragilidade ecológica exige atenção especial.

As medidas de controle parecem ter surtido efeito a partir de 2023, com a redução expressiva nas taxas de desmatamento e nos alertas emitidos. Ainda assim, o volume absoluto permanece alto, exigindo políticas públicas robustas e territorializadas para conter o avanço da degradação ambiental.

O desmatamento em Mato Grosso entre 2019 e 2024 apresenta forte concentração territorial, estabilidade elevada nos primeiros anos e sinais de retração recentes. Os cinco municípios destacados devem ser tratados como

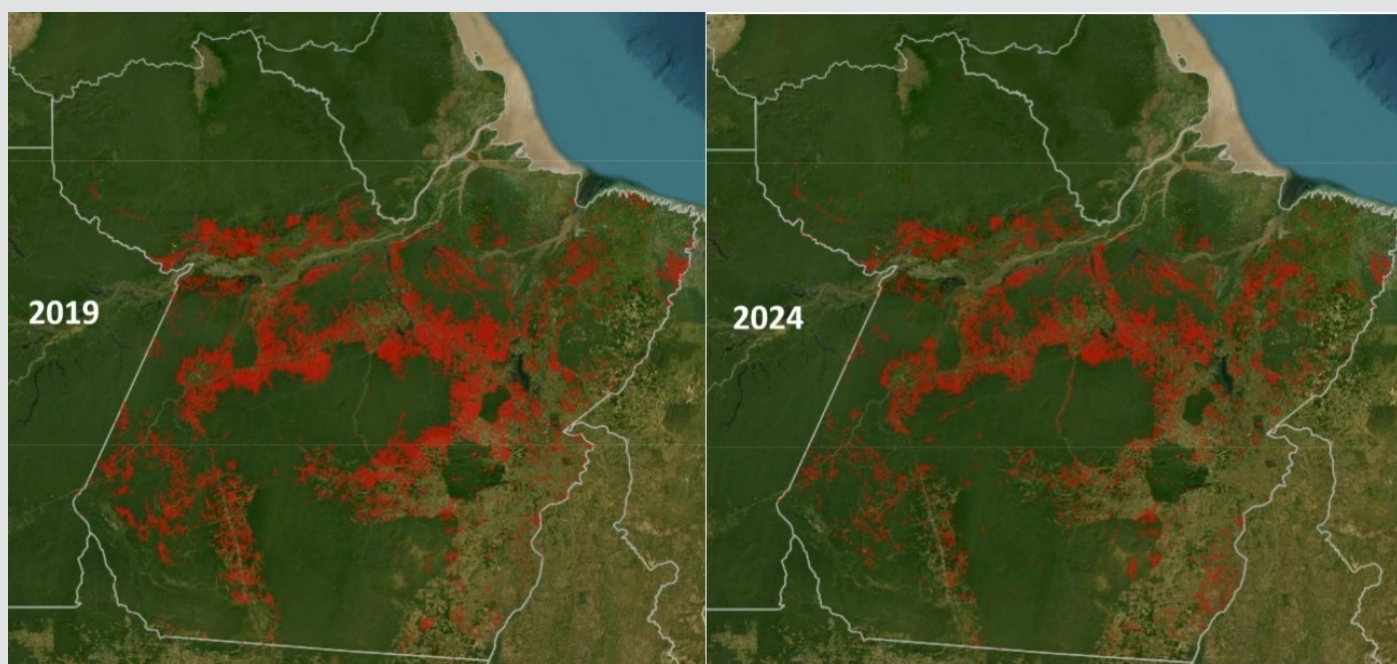
zonas prioritárias para a ação estatal, envolvendo:

- Ordenamento fundiário e combate à grilagem
- Fiscalização ambiental ativa e continuada
- Fomento à agricultura de baixo carbono e práticas sustentáveis
- Monitoramento contínuo com uso de tecnologias de detecção remota

A mitigação do desmatamento passa, necessariamente, por uma transformação do modelo de desenvolvimento na região, com foco na conciliação entre produção e conservação florestal.

## PARÁ

FIGURA 4 – EVOLUÇÃO DOS ALERTAS DE DESMATAMENTO NO MATO GROSSO ENTRE 2019-2024



Entre 2019 e 2024, o estado do Pará manteve-se como o epicentro do desmatamento no Brasil, com volumes anuais que superam amplamente os demais estados da Amazônia Legal. Apesar da tendência de queda a partir de 2023, os valores acumulados revelam a persistência de uma pressão intensa sobre a floresta amazônica paraense. O bioma Amazônia responde por mais de 98% da área desmatada no período, enquanto o Cerrado representa participação residual, com destaque pontual apenas em 2022 e 2024.

## Evolução da Área Desmatada

- **2019:** 243.669,5 ha (média diária de 680,6 ha/dia)
- **2020:** 310.938,2 ha (866,1 ha/dia)
- **2021:** 352.907,4 ha (969,5 ha/dia)
- **2022:** 357.666,0 ha (979,9 ha/dia)
- **2023:** 143.327,5 ha (392,7 ha/dia)
- **2024:** 131.288,8 ha (371,9 ha/dia)

A trajetória ascendente entre 2019 e 2022 indica um processo de avanço contínuo da degradação florestal, com ápice em 2022. Nos dois anos seguintes, a curva inverte-se de forma significativa, com mais de 60% de redução em relação ao pico, o que pode estar relacionado ao fortalecimento das políticas de comando e controle e à mudança na conjuntura política nacional.

Ao longo do período, o bioma Amazônia concentrou entre 97,3% (2024) e 99,96% (2019) do desmatamento no estado. O bioma Cerrado, embora minoritário no território paraense, apresentou aumento relativo em 2022 e 2024:

- **2022:** 3.687,1 ha de Cerrado (1,03%)
- **2024:** 5.087,2 ha de Cerrado (3,87%)

Apesar de modesta, essa ampliação da área desmatada no Cerrado do Pará sinaliza a necessidade de monitoramento mais atento, sobretudo nas bordas ecotonais e áreas de expansão agropecuária.

## Evolução do Total de Alertas

- **2019:** 18.339 alertas
- **2020:** 25.364 alertas
- **2021:** 23.279 alertas
- **2022:** 21.444 alertas
- **2023:** 13.995 alertas
- **2024:** 12.268 alertas

A redução do número de alertas acompanha a retração da área desmatada, especialmente a partir de 2023, confirmando uma correlação positiva entre volume desmatado e quantidade de eventos monitorados.

Cinco municípios concentraram grande parte do desmatamento acumulado no Pará, aparecendo com alta frequência nos rankings anuais:

| Município          | Área Total Desmatada (ha) | Frequência no Top 10 |
|--------------------|---------------------------|----------------------|
| São Félix do Xingu | ~164.736,2                | 6 vezes (100%)       |
| Altamira           | ~132.767,9                | 6 vezes (100%)       |
| Pacajá             | ~93.049,6                 | 6 vezes (100%)       |
| Portel             | ~88.933,4                 | 6 vezes (100%)       |
| Itaituba           | ~86.171,1                 | 6 vezes (100%)       |

Esses municípios estiveram presentes em todos os anos analisados, consolidando-se como focos crônicos de degradação. São Félix do Xingu lidera com mais de 164 mil hectares desmatados no período, seguido por Altamira com cerca de 133 mil hectares. Os cinco primeiros colocados juntos respondem por cerca de 43% da área total desmatada no Pará entre 2019 e 2024.

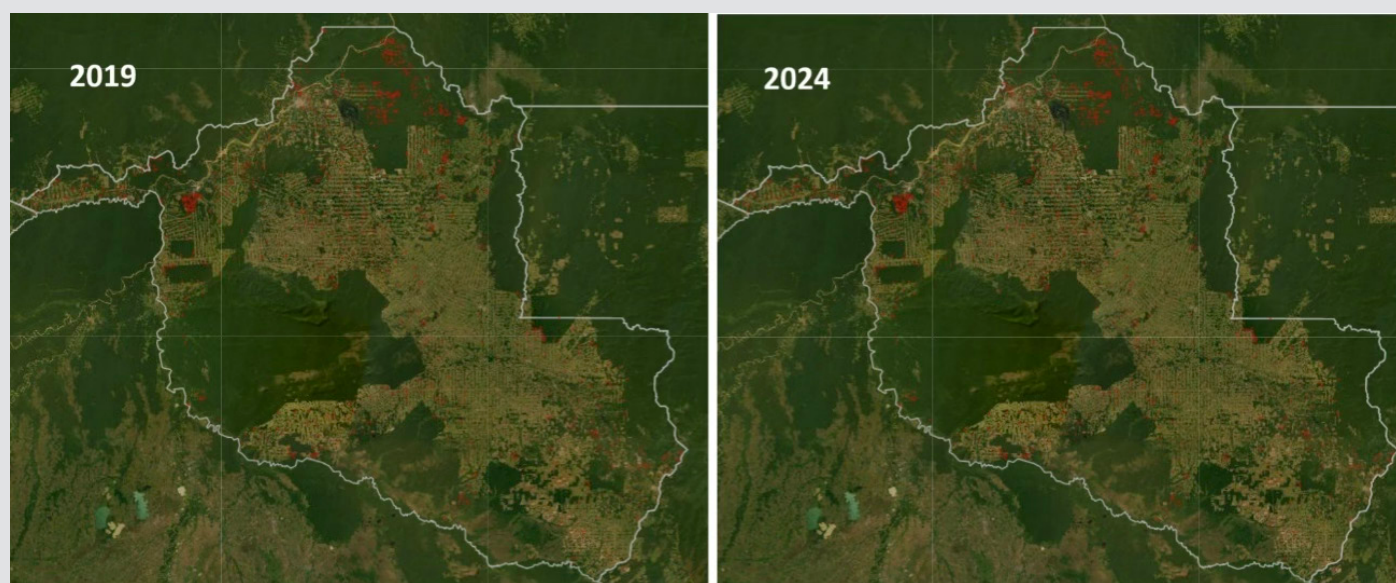
Os dados evidenciam que o desmatamento no Pará é altamente concentrado, geograficamente e temporalmente. Municípios como São Félix do Xingu, Altamira, Pacajá, Portel e Itaituba apresentam características estruturais de vulnerabilidade ambiental, com fortes pressões associadas à expansão agropecuária, grilagem de terras e ausência de regularização fundiária. As taxas elevadas de desmatamento nesses territórios, somadas à sua recorrência nos rankings, reforçam a necessidade de atuação focalizada, com políticas públicas que combinem:

- Repressão efetiva ao desmatamento ilegal,
- Estímulo à produção sustentável,
- Regularização fundiária em áreas prioritárias,
- Investimento em inteligência territorial e sistemas de monitoramento.

Apesar da redução recente nos alertas e áreas desmatadas, os números absolutos seguem elevados, e o Pará continua desempenhando papel determinante nas dinâmicas ambientais da Amazônia Legal. O combate ao desmatamento neste estado é decisivo para o cumprimento das metas climáticas do Brasil e para a conservação do bioma amazônico em escala global.

## RONDÔNIA

FIGURA 5 – EVOLUÇÃO DOS ALERTAS DE DESMATAMENTO EM RONDÔNIA ENTRE 2019-2024



Entre os anos de 2019 e 2024, o estado de Rondônia apresentou uma trajetória de forte pressão antrópica sobre a floresta amazônica, com picos em 2021 e uma queda progressiva nos anos subsequentes. Os dados de alertas, áreas desmatadas e médias diárias revelam uma tendência preocupante até 2022, seguida de retração consistente, possivelmente associada à reestruturação das políticas ambientais e ao aumento da fiscalização. O bioma Amazônia domina amplamente a dinâmica territorial do desmatamento em Rondônia.

### Evolução da Área Desmatada

- **2019:** 108.041,4 ha (média diária de 301,0 ha/dia)
- **2020:** 108.242,5 ha (307,5 ha/dia)
- **2021:** 130.586,4 ha (389,8 ha/dia)
- **2022:** 120.899,4 ha (334,0 ha/dia)
- **2023:** 37.771,9 ha (104,3 ha/dia)
- **2024:** 19.225,0 ha (55,7 ha/dia)

A curva ascendente entre 2019 e 2021, com ápice em 2021, evidencia uma fase de acirramento das atividades de desmatamento, com valores superiores a 100 mil hectares por ano. A queda acentuada a partir de 2023 marca uma inflexão no padrão, com reduções consecutivas e expressivas, especialmente em 2024, que teve o menor valor da série histórica recente.

**Evolução do Total de Alertas**

- **2019:** 5.197 alertas
- **2020:** 5.444 alertas
- **2021:** 5.910 alertas
- **2022:** 4.842 alertas
- **2023:** 2.063 alertas
- **2024:** 1.176 alertas

A evolução do número de alertas acompanha a tendência da área desmatada, com picos entre 2019 e 2021 e uma queda consistente após 2022. Essa correlação sinaliza maior efetividade das políticas de controle territorial, além de possível reorganização das cadeias produtivas associadas à conversão de uso do solo.

Cinco municípios concentram a maior parte do desmatamento acumulado no período, com recorrência nos rankings anuais e atuação decisiva na pressão sobre a cobertura florestal rondoniense:

| Município          | Área Desmatada Total (ha)* | Frequência no Top 5 |
|--------------------|----------------------------|---------------------|
| Porto Velho        | ~168.026,5                 | 6 vezes (100%)      |
| Candeias do Jamari | ~58.215,8                  | 6 vezes (100%)      |
| Nova Mamoré        | ~44.436,4                  | 6 vezes (100%)      |
| Cujubim            | ~38.230,6                  | 6 vezes (100%)      |
| Machadinho D'Oeste | ~22.782,7                  | 6 vezes (100%)      |

Esses municípios mantiveram posição estável entre os maiores desmatadores do estado, sendo responsáveis por mais da metade da área total desmatada em Rondônia no período. Porto Velho, em especial, lidera o ranking em todos os anos, com grande destaque também para Candeias do Jamari, Nova Ma-

moré e Cujubim, que se alternam entre as primeiras colocações. Machadinho D'Oeste completa o núcleo persistente da degradação.

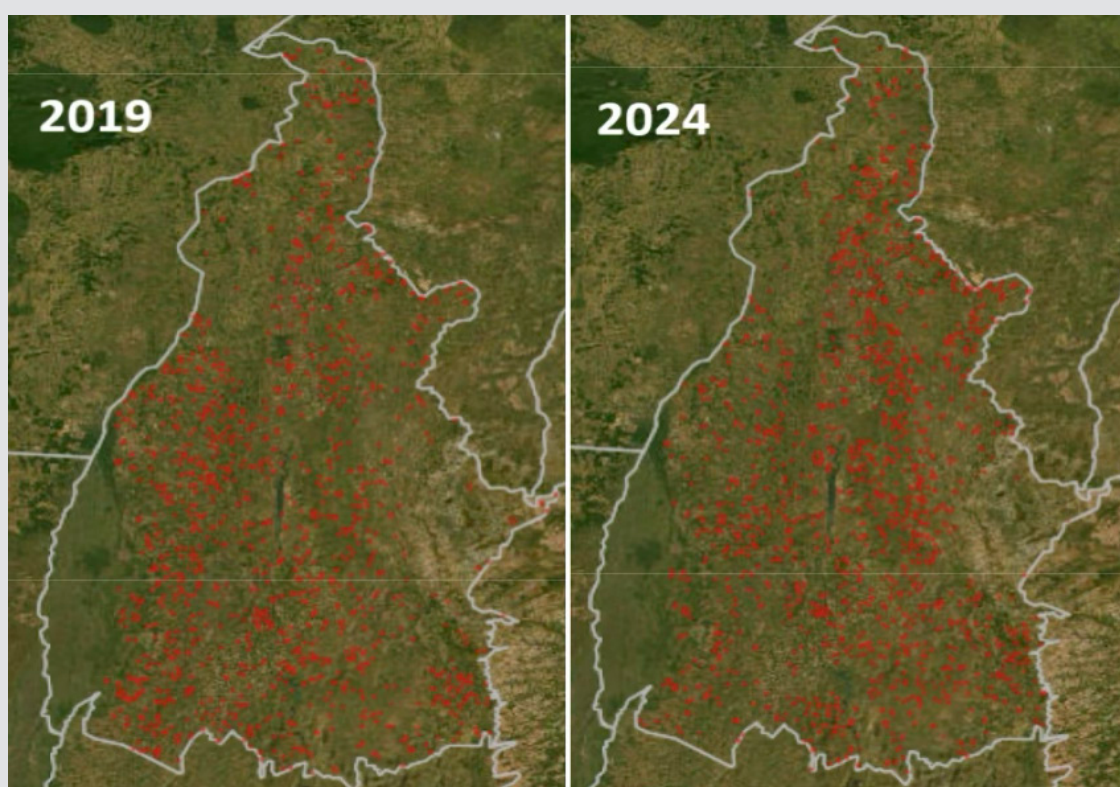
A distribuição territorial do desmatamento em Rondônia revela **forte concentração geográfica** e baixa rotatividade nos principais municípios responsáveis. A região metropolitana de Porto Velho e o eixo central do estado formam o principal corredor de conversão florestal. Essa estabilidade nas posições aponta para problemas estruturais que requerem intervenção pública com estratégias de longo prazo. As ações prioritárias devem incluir:

- Reforço ao ordenamento territorial e zoneamento ecológico-econômico;
- Incentivo à transição agroecológica e sistemas produtivos sustentáveis;
- Combate à grilagem e à ocupação ilegal;
- Fortalecimento da governança ambiental e controle social.

Esses cinco municípios respondem juntos por uma parcela majoritária do desmatamento total anual no estado, consolidando-se como zonas críticas da Amazônia rondoniense, onde políticas integradas e territorializadas são urgentes para reverter a trajetória de degradação ambiental.

## TOCANTINS

FIGURA 6 – EVOLUÇÃO DOS ALERTAS DE DESMATAMENTO EM TOCANTINS ENTRE 2019-2024



Entre os anos de 2019 e 2024, o estado do Tocantins apresentou uma dinâmica oscilante de desmatamento, com pico expressivo em 2023, seguido de redução em 2024. Os dados de alertas, áreas desmatadas e médias diárias revelam variações interanuais significativas, associadas ao avanço da fronteira agrícola, à pressão sobre o bioma Cerrado e à limitada efetividade de políticas de controle. O Cerrado domina amplamente o território afetado, embora áreas amazônicas também tenham sido impactadas.

### Evolução da Área Desmatada

- **2019:** 76.597,9 ha ( 212,8 ha/dia)
- **2020:** 74.510,6 ha (203,6 ha/dia)
- **2021:** 40.780,2 ha (116,8 ha/dia)
- **2022:** 40.235,3 ha (110,8 ha/dia)
- **2023:** 140.147,0 ha (387,1 ha/dia)
- **2024:** 91.522,6 ha (252,1 ha/dia)

Após uma relativa estabilidade entre 2019 e 2020, o Tocantins apresentou retração nos anos seguintes até 2022. No entanto, 2023 marcou um crescimento exponencial do desmatamento, mais do que triplicando em relação ao ano anterior. Essa curva foi parcialmente revertida em 2024, mas os níveis permaneceram elevados. A alta em 2023 e o patamar de 2024 indicam renovada pressão antrópica, especialmente sobre o Cerrado.

### Evolução do Total de Alertas

- **2019:** 1.847 alertas
- **2020:** 4.740 alertas
- **2021:** 1.325 alertas
- **2022:** 673 alertas
- **2023:** 4.781 alertas
- **2024:** 2.084 alertas

O número de alertas acompanha, em geral, a variação na área desmatada, com picos em 2020 e 2023. A forte queda em 2021 e 2022 reflete um breve período de contenção, posteriormente revertido. A correlação entre alertas e área suprimida aponta para a necessidade de fortalecimento do monitoramento contínuo e respostas mais ágeis.

Cinco municípios concentram os maiores volumes de desmatamento acumulado no período, sendo responsáveis por parcelas substanciais do total estadual:

| <b>Município</b>         | <b>Área Desmatada Total (ha)*</b> | <b>Frequência no Top 10</b> |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Paranã                   | ~26.256,7                         | 6 vezes (100%)              |
| Peixe                    | ~13.786,0                         | 5 vezes (83,3%)             |
| Rio Sono                 | ~15.445,8                         | 3 vezes (50%)               |
| Ponte Alta do Tocantins  | ~11.559,0                         | 4 vezes (66,7%)             |
| Dois Irmãos do Tocantins | ~6.294,7                          | 4 vezes (66,7%)             |

Esses municípios aparecem de forma recorrente entre os dez mais desmatados em todos os anos, indicando uma persistência das pressões agropecuárias e da fragilidade na governança fundiária e ambiental. Paranã lidera de forma destacada o ranking estadual, mantendo-se como epicentro da degradação florestal e do Cerrado. Em 2024, Paranã voltou a figurar no topo com mais de 5.200 hectares suprimidos.

Os dados mostram que o desmatamento no Tocantins está concentrado em núcleos territoriais específicos, cuja recorrência revela a permanência de fatores estruturais, como:

- Avanço da agropecuária e da fronteira agrícola,
- Déficits na fiscalização ambiental,
- Baixa eficácia de políticas públicas locais de contenção,
- Fragilidade no controle do uso e ocupação do solo.

A presença constante de municípios como Paranã, Peixe, Ponte Alta do Tocantins e Dois Irmãos do Tocantins sugere que as ações de enfrentamento devem priorizar esses territórios, por meio de:

- Planejamento territorial e fortalecimento do zoneamento ecológico-econômico,
- Fomento à produção sustentável e à agroecologia,
- Monitoramento e responsabilização por desmatamentos ilegais,
- Investimentos em regularização fundiária e assistência técnica ambiental.

Esses cinco municípios respondem juntos por uma fração considerável do desmatamento total anual do estado, consolidando-se como áreas críticas para a conservação do Cerrado e da Amazônia no Tocantins.

## O MODELO ESTATÍSTICO PARA DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO DESMATAMENTO

QUADRO 1 – COEFICIENTES DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

| Variável                                  | B      | Erro Padrão | Beta   | t      | Sig.   | IC 95% | IC 95% (Sup.) | Ordem Zero | Parcial | Parte  | Tolerância | VIF   |
|-------------------------------------------|--------|-------------|--------|--------|--------|--------|---------------|------------|---------|--------|------------|-------|
| (Constante)                               | 4.068  | 0.538       |        | 7.561  | <0,001 | 2.945  | 5.19          |            |         |        |            |       |
| Logaritmo do PIB                          | 0.293  | 0.074       | 0.401  | 3.946  | <0,001 | 0.138  | 0.447         | -0.49      | 0.662   | 0.26   | 0.422      | 2.372 |
| Interação entre crédito rural, CAR e      | -0.028 | 0.006       | -0.623 | -4.556 | <0,001 | -0.04  | -0.015        | -0.763     | -0.714  | -0.301 | 0.233      | 4.288 |
| Interação entre Moratória da              | -0.029 | 0.005       | -0.645 | -5.631 | <0,001 | -0.04  | -0.018        | -0.892     | -0.783  | -0.372 | 0.332      | 3.011 |
| Interação entre governo Lula e eficiência | -0.035 | 0.009       | -0.312 | -3.937 | <0,001 | -0.054 | -0.017        | -0.189     | -0.661  | -0.26  | 0.694      | 1.442 |

QUADRO 2 – QUALIDADE DO MODELO ESTATÍSTICO

| R     | R²    | R² Ajustado | Erro Padrão | Akaike   | Amemiya | Mallow | Schwarz  | PRESS | Durbin-Watson |
|-------|-------|-------------|-------------|----------|---------|--------|----------|-------|---------------|
| 0,955 | 0,913 | 0,895       | 0,05258     | -142,854 | 0,131   | 5,000  | -136,760 | 0,101 | 2,425         |

O modelo estimado apresenta um desempenho estatístico altamente satisfatório, com coeficientes robustos e indicadores de qualidade de ajuste compatíveis com padrões científicos exigentes. A variável dependente considerada foi o logaritmo da área desmatada, e o modelo incorporou quatro variáveis explicativas selecionadas por sua relevância teórica e empírica: o logaritmo do PIB agropecuário, a interação entre crédito rural, CAR e área plantada, a interação entre a Moratória da Carne e o efetivo bovino, e a interação entre governo Lula e eficiência institucional.

O coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajustado) alcançou o valor de **0,895**, indicando que **89,5% da variabilidade da área desmatada** nos municípios analisados é explicada pelo conjunto de variáveis independentes. Esse resultado é reforçado pelo alto valor de R (0,955) e pelo baixo **erro padrão da estimativa (0,05258)**, evidenciando a precisão do modelo. O teste de autocorrelação dos resíduos, medido pelo **estatístico Durbin-Watson (2,425)**, também sugere que não há presença de autocorrelação serial significativa, assegurando a validade das inferências.

No que se refere aos coeficientes individuais, todas as variáveis apresentaram **significância estatística ao nível de 1% ( $p < 0,001$ )**. O **logaritmo do PIB agropecuário** ( $B = 0,293$ ;  $Beta = 0,401$ ) revelou associação **positiva e significativa com o desmatamento**, refletindo a dinâmica estrutural de conversão da cobertura vegetal em áreas produtivas. Isso reforça a hipótese de que o avanço do agronegócio continua sendo um dos principais motores do desflorestamento no Arco.

Por outro lado, três variáveis compostas apresentaram **efeitos negativos significativos sobre o desmatamento**. A interação **Crédito x CAR x Área Plantada** ( $B = -0,028$ ;  $Beta = -0,623$ ) aponta para uma **relação inversa**, sugerindo que municípios com maior acesso ao crédito, maior regularidade fundiária (CAR) e base agrícola formalizada tendem a apresentar **menores taxas de desflorestamento**, possivelmente devido ao maior monitoramento e à indução de práticas produtivas sustentáveis.

A **interação entre a Moratória da Carne e o efetivo bovino** ( $B = -0,029$ ;  $Beta = -0,645$ ) também apresenta forte efeito redutor sobre o desmatamento. Isso sugere que a aplicação de restrições setoriais sobre a pecuária, aliada a mecanismos de rastreabilidade e pressão institucional sobre os frigoríficos, **tem contribuído efetivamente para conter o avanço da derrubada de florestas** em regiões com forte atividade pecuária.

Por fim, a variável **governo Lula x eficiência institucional** ( $B = -0,035$ ;  $Beta = -0,312$ ) indica que a combinação entre **governança federal pró-ambiental e capacidade institucional local** está associada a **níveis significativamente mais baixos de desmatamento**. Trata-se de um achado relevante, pois evidencia que os efeitos das políticas públicas ambientais dependem não apenas de sua existência formal, mas de sua operacionalização efetiva nos territórios.

Os valores de **tolerância e VIF** revelam que **não há colinearidade significativa entre as variáveis** incluídas, assegurando a estabilidade das estimativas.

A variável com maior VIF foi a interação **Crédito x CAR x Área Plantada** (VIF = 4,288), ainda dentro do limite aceitável (< 5), o que não compromete a robustez do modelo.

Em síntese, os resultados confirmam a **centralidade de fatores econômicos, regulatórios e institucionais na dinâmica do desmatamento**, oferecendo subsídios empíricos para o aprimoramento de políticas públicas de controle, fomento e governança territorial. O modelo pode ser considerado estatisticamente sólido, teoricamente coerente e metodologicamente rigoroso.

ANOVA<sup>a</sup>

| Modelo |           | Soma dos Quadrados | df | Quadrado Médio | F      | Sig.               |
|--------|-----------|--------------------|----|----------------|--------|--------------------|
| 1      | Regressão | ,579               | 4  | ,145           | 52,391 | <,001 <sup>b</sup> |
|        | Resíduo   | ,055               | 20 | ,003           |        |                    |
|        | Total     | ,635               | 24 |                |        |                    |

a. Variável Dependente: Logaritmo da área desmatada

b. Preditores: (Constante), Interação entre governo Lula e eficiência institucional, Interação entre Moratória da Carne e efetivo bovino, Logaritmo do PIB agropecuário, Interação entre crédito rural, CAR e área plantada

Correlações de coeficiente<sup>a</sup>

| Modelo |              |                                                         | Interação entre governo Lula e eficiência institucional | Interação entre Moratória da Carne e efetivo bovino | Logaritmo do PIB agropecuário | Interação entre crédito rural, CAR e área plantada |
|--------|--------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1      | Correlações  | Interação entre governo Lula e eficiência institucional | 1,000                                                   | -,378                                               | -,325                         | ,546                                               |
|        |              | Interação entre Moratória da Carne e efetivo bovino     | -,378                                                   | 1,000                                               | -,077                         | -,653                                              |
|        |              | Logaritmo do PIB agropecuário                           | -,325                                                   | -,077                                               | 1,000                         | -,520                                              |
|        |              | Interação entre crédito rural, CAR e área plantada      | ,546                                                    | -,653                                               | -,520                         | 1,000                                              |
|        | Covariâncias | Interação entre governo Lula e eficiência institucional | 8,058E-5                                                | -1,740E-5                                           | ,000                          | 2,979E-5                                           |
|        |              | Interação entre Moratória da Carne e efetivo bovino     | -1,740E-5                                               | 2,631E-5                                            | -2,947E-5                     | -2,035E-5                                          |
|        |              | Logaritmo do PIB agropecuário                           | ,000                                                    | -2,947E-5                                           | ,006                          | ,000                                               |
|        |              | Interação entre crédito rural, CAR e área plantada      | 2,979E-5                                                | -2,035E-5                                           | ,000                          | 3,691E-5                                           |

a. Variável Dependente: Logaritmo da área desmatada

#### Diagnóstico de colinearidade<sup>a</sup>

| Modelo | Dimensão | Autovvalor | Índice de condição | Proporções de variância |                               |                                    |                                      |                                |
|--------|----------|------------|--------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
|        |          |            |                    | (Constante)             | Logaritmo do PIB agropecuário | Interação entre crédito rural, CAR | Interação entre Moratória da Carne e | Interação entre governo Lula e |
| 1      | 1        | 3,924      | 1,000              | ,00                     | ,00                           | ,00                                | ,01                                  | ,01                            |
|        | 2        | ,737       | 2,308              | ,00                     | ,00                           | ,02                                | ,00                                  | ,50                            |
|        | 3        | ,282       | 3,733              | ,00                     | ,00                           | ,07                                | ,05                                  | ,16                            |
|        | 4        | ,058       | 8,237              | ,00                     | ,00                           | ,63                                | ,93                                  | ,23                            |
|        | 5        | ,000       | 145,856            | 1,00                    | 1,00                          | ,27                                | ,00                                  | ,10                            |

a. Variável Dependente: Logaritmo da área desmatada

#### Estatísticas de resíduos<sup>a</sup>

|                     | Mínimo  | Máximo | Média  | Erro Desvio | N  |
|---------------------|---------|--------|--------|-------------|----|
| Valor previsto      | 5,6960  | 6,2539 | 5,9432 | ,15536      | 25 |
| Resíduo             | -,10780 | ,10022 | ,00000 | ,04799      | 25 |
| Erro Valor previsto | -1,592  | 2,000  | ,000   | 1,000       | 25 |
| Erro Resíduo        | -2,050  | 1,906  | ,000   | ,913        | 25 |

a. Variável Dependente: Logaritmo da área desmatada

A análise de variância (ANOVA) confirmou a **significância global do modelo**. A estatística F foi igual a 52,391, com valor de p inferior a 0,001, evidenciando que, em conjunto, as variáveis independentes explicam significativamente a variação na variável dependente. A soma dos quadrados do resíduo foi de apenas 0,055 em relação a um total de 0,635, sinalizando que o modelo reduziu substancialmente o erro de predição.

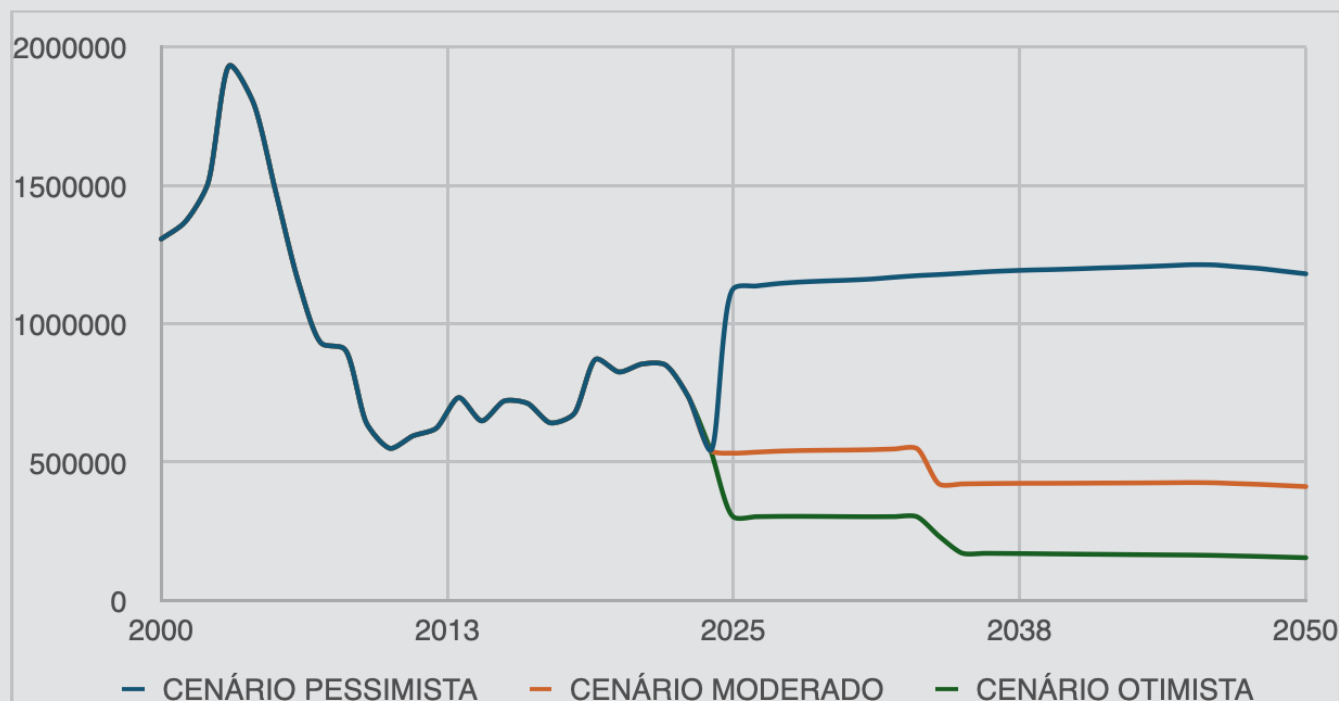
A inspeção das **correlações entre os preditores** revelou valores moderados, com destaque para a correlação positiva de 0,546 entre a interação Crédito x CAR x Área Plantada e a interação Governo Lula x Eficiência Institucional. A interação Moratória da Carne x Efetivo Bovino apresentou correlação negativa com essa mesma variável (-0,653), o que é esperado diante da natureza contrabalanceadora dessas políticas sobre o desmatamento. O logaritmo do PIB agropecuário mostrou correlação moderada negativa com essas interações, mas sem indicar multicolinearidade severa.

O **diagnóstico de colinearidade** com base no índice de condição e proporções de variância evidencia que não há presença significativa de multicolinearidade que comprometa os coeficientes estimados. O maior índice de condição foi 145,856, associado à dimensão com autovalor muito próximo de zero, mas os fatores de inflação da variância (VIF) permaneceram abaixo dos valores críticos usuais (máximo observado: 4,288), e os vetores de proporção de variância sugerem **ausência de colinearidade estruturante** entre os preditores centrais.

Por fim, todos os coeficientes estimados no modelo foram estatisticamente significativos ao nível de 1% ( $p < 0,001$ ), com sinais coerentes com as hipóteses teóricas. As interações que envolvem políticas públicas se mostraram fundamentais para explicar o comportamento do desmatamento na série analisada, reforçando a tese de que o efeito dessas políticas depende fortemente de seus contextos institucionais e produtivos.

## PROJEÇÕES DE DESMATAMENTO FRENTE AO CRESCIMENTO DO PIB AGROPECUÁRIO NO BRASIL: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TRÊS CENÁRIOS (2000–2050)

GRÁFICO 8 - CENÁRIOS PARA O ARCO BRASILEIRO DO DESMATAMENTO



A presente análise apresenta três cenários prospectivos sobre o desmatamento no Brasil até 2050, considerando como pano de fundo a trajetória do PIB agropecuário com crescimento médio estimado de 2,5% ao ano. Os cenários – **pessimista, moderado e otimista** – foram formulados a partir de variáveis institucionais e geopolíticas que influenciam o grau de pressão internacional e o fortalecimento de mecanismos nacionais de controle ambiental, como fiscalização, monitoramento e crédito orientado.

No **cenário pessimista**, a combinação de pressão internacional branda e enfraquecimento institucional resulta em um crescimento persistente do desmatamento, mesmo com a estabilidade e expansão da atividade agropecuária. A série estimada aponta que, após uma queda inicial até 2024 (ano base do modelo econométrico), o desmatamento volta a crescer de forma quase linear até atingir patamares superiores a 1,2 milhão de hectares em 2045. O pico ocorre entre 2032 e 2046, com tendência de estabilização apenas no final do período projetado.

O **cenário moderado** reflete uma conjuntura em que a pressão internacional se intensifica e as instituições brasileiras responsáveis pelo controle ambiental mantêm relativo grau de eficácia. Neste cenário, o desmatamento permanece em patamar estável e inferior ao histórico da década de 2000, situando-se ao redor de 540 mil hectares por ano. Há leve oscilação nos anos subsequentes a 2025, mas sem retomada da tendência crescente observada no cenário pessimista. Trata-se de uma trajetória que combina crescimento agrícola com governança ambiental razoável.

Já o **cenário otimista**, o mais ambicioso dos três, considera uma pressão internacional muito forte, acompanhada de um grande fortalecimento institucional das políticas públicas de controle e de incentivos sustentáveis. Neste caso, projeta-se uma trajetória decrescente e contínua do desmatamento até 2050. O país poderia reduzir sua taxa anual para menos de 170 mil hectares já em 2040, com perspectiva de atingir patamares próximos ao desmatamento zero até meados da década de 2050. O modelo sinaliza que mesmo com a expansão da atividade agropecuária, o desmatamento pode ser reduzido de forma significativa caso haja um arranjo institucional robusto e compromissos internacionais efetivos.

A comparação entre os cenários evidencia que **o desmatamento não é função direta do crescimento agropecuário**, mas sim do **arcabouço institucional e político que regula sua interface com o uso da terra e com os instrumentos de controle ambiental**. Em outras palavras, o mesmo crescimento

do setor agrícola pode ser compatível com distintos níveis de desmatamento, dependendo da qualidade e efetividade das políticas públicas e das pressões internacionais. Tais resultados reforçam o papel estratégico de mecanismos como o Cadastro Ambiental Rural (CAR), os sistemas de monitoramento por satélite, as moratórias da soja e da carne, o crédito condicionado à regularização ambiental, entre outros instrumentos analisados.

## Conclusão

A presente análise confirmou a tese central de que a dinâmica do desmatamento no Arco do Desmatamento brasileiro é uma função complexa e multifacetada, não determinada exclusivamente pelo crescimento da atividade agropecuária. Os resultados do modelo econômico demonstram, com alta significância estatística, que a trajetória de desmatamento é significativamente modulada por fatores institucionais e de governança.

O crescimento do PIB agropecuário, embora associado positivamente à supressão vegetal, pode ser dissociado de seu impacto ambiental quando combinado a um arcabouço de políticas públicas robusto. A evidência empírica sugere que instrumentos como a condicionalidade do crédito rural, o Cadastro Ambiental Rural (CAR) e a Moratória da Carne desempenham um papel crucial na contenção da derrubada de florestas, especialmente em áreas de alta pressão. Além disso, a capacidade institucional e o alinhamento político em nível federal mostram-se determinantes para a efetividade dessas medidas.

A recente queda no desmatamento na Amazônia, em contraste com a aceleração em outros biomas como o Cerrado e a Caatinga, aponta para a persistência do desafio do deslocamento geográfico da pressão, reforçando a necessidade de uma visão de planejamento territorial e de políticas de controle que transcendam as fronteiras dos biomas. Em suma, as projeções e as análises do modelo reforçam a urgência de fortalecer a governança ambiental, integrando a bioeconomia e os mecanismos de mercado à agenda de conservação, de modo a garantir que o desenvolvimento econômico da região seja, de fato, compatível com a preservação de seu inestimável patrimônio natural.

Instituto Esfera de Estudos e Inovação

**Análise dos Determinantes do Desmatamento no Arco do Desmatamento Brasileiro.**

Waldecy Rodrigues

Diretor Acadêmico: Fernando Meneguim

Produção e Montagem: Esfera Brasil

Direção de Comunicação: Igor Marcelino

Gerente Editorial: Tatiana Santiago

Revisão Textual: Luís Filipe Pereira

Diagramação e Ilustrações: Gabriel Piante



O conteúdo deste trabalho é de responsabilidade dos autores e não representa o posicionamento da Esfera Brasil. É permitida a reprodução deste texto e dos dados contidos, desde que seja citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

Como citar este texto:

W. Rodrigues. **Análise dos Determinantes do Desmatamento no Arco do Desmatamento Brasileiro.** São Paulo: Instituto Esfera de Estudos e Inovação, Set 2025.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; PESSOA, P. Credit constraints and deforestation: Evidence from the Brazilian Amazon. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2013. Disponível em: <https://climatepolicyinitiative.org/publication/credit-constraints-and-deforestation/>. Acesso em: 7 jul. 2025.

ARIMA, E. Y. et al. Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, v. 6, n. 2, p. 024010, 2011.

SOARES-FILHO, B. et al. Cracking Brazil's Forest Code. *Science*, v. 344, n. 6182, p. 363–364, 2014.

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. DETER-ing Deforestation in the Amazon: Environmental Monitoring and Law Enforcement. *American Economic Journal: Applied Economics*, v. 15, n. 2, p. 125–156, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1257/app.20200196>.

GIBBS, H. K. et al. Brazil's Soy Moratorium. *Science*, v. 347, n. 6220, p. 377–378, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aaa0181>.

RUDORFF, B. F. T. et al. The soy moratorium in the Amazon biome monitored by remote sensing images. *Remote Sensing*, v. 3, n. 1, p. 185–202, 2011.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Sistema DETER – Detecção de Desmatamento em Tempo Real. Disponível em: <https://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/deter>. Acesso em: 6 jul. 2025.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Desmatamento na Amazônia Legal cai 34% no primeiro ano do governo Lula. 2023. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/amazonia-queda-desmatamento-2023/>.

MAPBIOMAS ALERTA. Painel Dinâmico de Alertas de Desmatamento com Validação Independente. 2025. Disponível em: <https://alerta.mapbiomas.org/>.

WWF-BRASIL. Políticas de comando e controle na Amazônia e os avanços recentes no combate ao desmatamento ilegal. 2024. Disponível em: <https://www.wwf.org.br>.

ARAUJO, A. P. S. R. et al. Biotecnologia e desenvolvimento regional: o caso da indústria de medicamentos de uso humano e fitoterápicos no Brasil e na região da Amazônia Legal. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v. 14, p. 428–454, 2018.

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID). Relatório do BID mostra o potencial da bioeconomia para reverter o desmatamento na Região Amazônica. 2021. Disponível em: <https://www.iadb.org/pt-br/noticias/relatorio-do-bid-mostra-o-potencial-da-bioeconomia-para-reverter-o-desmatamento-na-regiao>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa 2025–2028 – PLANAVEG. Brasília: MMA, 2024.

BRAZIL-UK PACT. Chamada de propostas para o setor de florestas: Estruturando mecanismos financeiros para o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG). Londres, 2024.

BRITO, S. C.; RODRIGUES, W. Avaliação do marco regulatório na produção de medicamentos fitoterápicos no Brasil. *Revista de Políticas Públicas*, v. 19, p. 531–538, 2015.

CHATURVEDI, S. *The Economics of Sustainable Development: Challenges and Solutions*. 2024.

CHOW, J. Forests as Capital: Financial Mechanisms for Tropical Forest Conservation. *Journal of Sustainable Forestry*, v. 34, n. 7, p. 561–579, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/10549811.2015.1066345>.

COLE, R. J. et al. Forest restoration in practice across Latin America. *Biological Conservation*, v. 276, p. 109804, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.109804>.

COSENZA, D. N. et al. Avaliação econômica de projetos de sistemas agroflorestais. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 35, n. 82, p. 147–158, 2015. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/1218>.

COMISSÃO PASTORAL DA TERRA (CPT). *Conflitos no Campo Brasil 2023*. Goiânia: CPT, 2024. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br>.

D'AMBROSIO, A.; GRUNDMANN, H.; DONKER, T. An open-source integrated framework for the automation of citation collection and screening in systematic reviews. *arXiv preprint*, arXiv:2202.10033, 2022. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2202.10033>.

DE GROOT, R. S. et al. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values into landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, v. 7, n. 3, p. 260–272, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>.

DIXIT, G.; KULKARNI, V. Nexus between Ecological Conservation and Socio-Economic Development and its Dynamics. *Journal of Advances and Scholarly Research in Allied Education*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.29070/nhmjtt59>.

EMBRAPA. Avaliação econômica de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: as experiências da Embrapa. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/50278106/embrapa-divulga-avaliacao-economica-de-sistemas-de-integracao-lavoura-pecuaria-floresta>.

EMBRAPA. Avaliação econômica de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1117676/1/Avaliacaoeconomiasistemas.pdf>.

EMBRAPA. Cálculo de Indicadores Financeiros para Sistemas Agroflorestais. 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/917042/1/ResumoCBSAFAnalisedeIndicadoresFinanceiros.pdf>.

EMBRAPA. Estudo comprova viabilidade econômica de biofábrica da bactéria benéfica Bt. Brasília: Embrapa Notícia, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/95311128/estudo-comprova-viabilidade-economica-de-biofabrica-da-bacteria-benefica-bt>.

ERMGASSEN, S. Z.; LÖFQVIST, S. Financing ecosystem restoration. *Current Biology*, v. 34, n. 5, p. 1231–1245, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.04.004>.

FORERO-MONTAÑA, J. et al. Analysis of the potential of small-scale enterprises of artisans and sawyers as instruments for sustainable forest management in Puerto Rico. *Journal of Sustainable Forestry*, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/10549811.2017.1406372>.

GLOBAL FOREST WATCH. Global Forest Watch 2021 Report: Forest Loss in Brazil. 2021. Disponível em: <https://www.globalforestwatch.org>.

GÓMEZ, J. F. Financing sustainable projects and activities: Innovative schemes based on public-private partnerships. *Cuadernos Orkestra*, v. 3, p. 45–62, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.orkestra.2024.01.004>.

GUANILO, M. C. D. T. U.; TAKAHASHI, R. F.; BERTOLOZZI, M. R. Revisão sistemática: noções gerais. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, v. 45, n. 5, p. 1260–1266, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/reeusp/a/CRjvBKKvRRGL7vGsZLQ8bQj/>.

HARBI, J. et al. Assessing the Sustainability of NTFP-Based Community Enterprises. *Forests*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14061251>.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal – PRODES. São José dos Campos, 2023. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br>.

IPAM – INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA. Relatório de Desmatamento no Arco da Amazônia. Brasília, 2024.

ISA – INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. Nova Geografia do Arco do Desmatamento. São Paulo, 2024.

ITTO – INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. Advancing Forest Landscape Restoration in the Tropics. ITTO Technical Series, v. 45, p. 1–76, 2023. Disponível em: [https://www.itto.int/technical\\_report](https://www.itto.int/technical_report).

KUMAR, P.; SHARMA, L.; SHARMA, N. Sustainable Development Balancing Economic Viability, Environmental Protection, and Social Equity. *Advances in Logistics, Operations, and Management Science Book Series*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-2197-3.ch012>.

LÖFQVIST, S.; GARRETT, R. D.; GHAZOUL, J. Incentives and barriers to private finance for forest and landscape restoration. *Nature Ecology and Evolution*, v. 7, p. 123–135, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-023-01918-5>.

MAGALHÃES FILHO, L. N. L. et al. A Global Meta-Analysis for Estimating Local Ecosystem Service Value Functions. *Preprints*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.20944/preprints202106.0497.v1>.

MAIER, C.; HEBERMEHL, W.; GROSSMANN, C. M. Innovations for securing forest ecosystem service provision in Europe. *Ecosystem Services*, v. 48, p. 101303, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101303>.

MAPBIOMAS. Relatório Anual do Desmatamento no Brasil. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org>.

MAY, P. H.; VEIGA NETO, F. C.; CHÉVEZ POZO, O. Valoração econômica da biodiversidade: estudos de caso no Brasil. Brasília: MMA, 2000. Disponível em: [https://antigo.mma.gov.br/estruturas/chm/\\_arquivos/valbiod.pdf](https://antigo.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/valbiod.pdf).

NATURAL CAPITAL PROJECT (NATCAP). InVEST – Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs. Stanford University, 2025. Disponível em: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>.

NATURA. Promoção de bioeconomia da sociobiodiversidade amazônica: o caso da Natura. Fundação Getúlio Vargas, 2021. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/items/df20ff56-10d2-4980-8294-dd36f2b80482/full>.

PATRICK, E.; BUTSIC, V.; POTTS, M. D. Using payment for ecosystem services to meet national reforestation commitments. *Environmental Research Letters*, v. 18, n. 4, p. 450–467, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acf45c>.

PAULO, R. D. S. et al. (Orgs.). Mapeamento participativo e cartografia social: aspectos conceituais e trajetórias de pesquisa. Rio de Janeiro: IVIDES.org, 2021. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/19350>.

REIS, J. C. dos et al. Análise dos benefícios econômicos da diversificação da produção em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. Embrapa Gado de Corte, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1098972/>.

RIBEIRO, L. F. C.; MILANEZ, D. H. Guia para realizar uma revisão sistemática da literatura. Revista Brasileira de Computação Aplicada, v. 10, n. 1, p. 47–59, 2018. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/286131326.pdf>.

RODE, J.; PINZON, A.; STABILE, M. C. C. Why blended finance could help transitions to sustainable landscapes. Ecosystem Services, v. 39, p. 100945, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100945>.

RODRIGUES, W. et al. Competitividade e mudança institucional na cadeia produtiva de plantas medicinais no Brasil. Interações, v. 17, p. 267–277, 2016.

RODRIGUES, W.; BARBOSA, G. F. Plantas medicinais: uma alternativa econômica para conservação do Cerrado brasileiro? Informe Gepec, v. 16, p. 144–159, 2012.

RODRIGUES, W.; CAMARGO, W. Território e Desenvolvimento em Karl Polanyi: uma revisão sistemática. Redes, v. 25, n. 4, p. 1764–1786, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17058/redes.v25i4.14385>.

RODRIGUES, W.; MELO, J. A. Avaliação econômica de tecnologias de agricultura de baixo carbono em regiões de Cerrado. Informe Gepec, v. 21, n. 1, p. 82–100, 2017. DOI: <https://doi.org/10.48075/igepec.v21i1.15871>.

RODRIGUES, W.; NOGUEIRA, J. M. Competitividade da cadeia produtiva de plantas medicinais no Brasil: uma perspectiva a partir do comércio exterior. Informe Gepec, v. 12, p. 91–105, 2008.

WANG, X.; ZHENG, J. The evolution of sustainable economic development: Trends, trade-offs and trajectories for balanced economic activities. 2024. DOI: <https://doi.org/10.62617/se.v2i1.12>.

WU, T. et al. Triple Bottom Line or Trilemma? Global Tradeoffs Between Prosperity, Inequality, and the Environment. World Development, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2024.106595>.



**i3** instituto  
esfera

[esferabrasil.com.br](http://esferabrasil.com.br)