


FÓRUM - POLÍTICAS PÚBLICAS, GESTÃO SOCIAL DE RECURSOS NATURAIS E NEGÓCIOS DA FLORESTA NA AMAZÔNIA

Submetido 30-06-2024. Aprovado 20-02-2025

Avaliado pelo sistema de revisão duplo-anônimo. Editores convidados: Raoni Fernandes Azerêdo, Mário Vasconcellos Sobrinho, Ana Maria de Albuquerque Vasconcellos, Mariluce Paes de Souza, Zilma Borges de Souza

O/A primeiro/a avaliador/a não autorizou a divulgação de sua identidade e relatório de avaliação por pares. Gustavo Inácio de Moraes , Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação: Pós-Graduação em Economia do Desenvolvimento, Porto Alegre, RS, Brasil, mas não autorizou a divulgação de seu relatório de avaliação por pares.

Versão original | DOI: <http://dx.doi.org/10.12660/cgpc.v30.91454>

DETERMINANTES DO DESMATAMENTO HISTÓRICO E RECENTE DA AMAZÔNIA NA PERSPECTIVA DA ESTATÍSTICA ESPACIAL

Determinants of Historical and Recent Deforestation of the Amazon from the Perspective of Spatial Statistics

Determinantes de la deforestación histórica y reciente de la Amazonía desde la perspectiva de la estadística espacial

Henrique Parizotto Lacaz Martins*¹ | henriquelacaz@gmail.com | ORCID: 0009-0006-5885-4676

Eduardo de Rezende Francisco¹ | eduardo.francisco@fgv.br | ORCID: 0000-0001-8895-2089

*Autor correspondente

¹Fundação Getúlio Vargas, Escola de Administração de Empresas de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

RESUMO

A Amazônia abriga a maior floresta tropical do mundo. Sua biodiversidade representa aproximadamente 15% de todas as espécies existentes, muitas endêmicas à região. No entanto, 21% de sua vegetação nativa no Brasil já foi devastada. Buscando identificar espacialmente os determinantes da degradação da floresta, modelos lineares (OLS) e espaciais autorregressivos (SAR) analisaram a influência de 94 variáveis socioeconômicas e de uso do solo (INPE, IBGE, MapBiomas) no desmatamento relativo dos 773 municípios da Amazônia brasileira. O primeiro modelo (desmatamento histórico até 2007) apresentou índice *I* de Moran de 0,781 e R^2 de 87,12%, e o segundo modelo (desmatamento entre 2008 e 2022) com índice *I* de Moran de 0,621 e R^2 de 60,18% – ambos com alta dependência espacial. Destacando contrapontos, o desmatamento histórico está associado a múltiplos fatores, como agropecuária, crescimento populacional e desenvolvimento de infraestrutura, enquanto o desmatamento recente é predominantemente influenciado pela expansão agropecuária, especialmente pelo cultivo de soja e criação de gado.

Palavras-chave: desmatamento, Amazônia, estatística espacial, agropecuária, sustentabilidade.

ABSTRACT

The Amazon hosts the world's largest tropical rainforest. Its biodiversity represents approximately 15% of all existing species, many of which are endemic to the region. However, 21% of its native vegetation in Brazil has already been devastated. This study adopted linear (OLS) and spatial autoregressive (SAR) models to analyze the influence of 94 socioeconomic and land use variables (INPE, IBGE, MapBiomas) on the relative deforestation of 773 municipalities of the Brazilian Amazon in order to spatially identify determinants of forest degradation. The first model (historical deforestation up to 2007) presented Moran's *I* of 0.781 and R^2 of 87.12%, and the second model (deforestation between 2008 and 2022) presented Moran's *I* of 0.621 and R^2 of 60.18% – both with high spatial dependence. The research found that historical deforestation is associated with multiple factors such as agriculture, population growth, and infrastructure development. In contrast, recent deforestation is predominantly influenced by agricultural expansion, especially soybean cultivation and cattle ranching.

Keywords: deforestation, Amazon, spatial statistics, agriculture, sustainability.

RESUMEN

La Amazonía alberga la mayor selva tropical del mundo, con una biodiversidad que representa aproximadamente 15% de todas las especies existentes, muchas endémicas. Sin embargo, 21% de su vegetación nativa en Brasil ha sido devastada. Buscando identificar espacialmente los determinantes de la degradación forestal, modelos lineales (OLS) y espaciales autorregresivos (SAR) analizaron la influencia de 94 variables socioeconómicas y de uso del suelo (INPE, IBGE, MapBiomas) en la deforestación relativa de los 773 municipios de la Amazonía brasileña. El primer modelo (deforestación histórica hasta 2007) mostró índice *I* de Moran de 0.781 y R^2 de 87.12%, mientras que el segundo modelo (deforestación entre 2008 y 2022) mostró índice *I* de Moran de 0.621 y R^2 de 60.18%, ambos con alta dependencia espacial. La deforestación histórica está asociada a factores como agropecuaria, crecimiento poblacional y desarrollo de infraestructuras, mientras que la deforestación reciente se debe principalmente a la expansión agropecuaria, especialmente cultivo de soja y ganadería.

Palabras clave: deforestación, Amazonia, estadística espacial, agropecuaria, sostenibilidad.

INTRODUÇÃO

Ao todo, a Amazônia brasileira já teve 21% de sua vegetação nativa devastada, a maior perda registrada entre os países amazônicos (MapBiomas, 2021). Isso representa mais de 800 mil km², uma área maior do que a de países como França, Chile e Espanha. Não há, porém, uma resposta conclusiva sobre quais variáveis estariam mais relacionadas a esse fenômeno. Ademais, os estudos que abordaram tal questão por meio de metodologias econométricas tiveram maior expressão nas décadas de 1990 a 2010, pouco capturando as mudanças recentes no fenômeno de desmatamento amazônico.

Reis e Margulis (1991) foram pioneiros nesta análise, ao desenvolver um modelo logístico, o qual demonstrou a alta elasticidade do desmatamento, registrado na década de 1980, em relação à expansão das áreas de lavoura, seguida pelas elasticidades em relação à população e às rodovias. Ferraz (2000) utilizou dados em painel de oito estados da Amazônia brasileira, de 1980 a 1998, para estimar um modelo econométrico que analisa os determinantes da expansão agrícola e do desmatamento na região, e identificou a associação principalmente com créditos agrícolas e com a variação do preço da terra. Rivero et al. (2009) analisaram que a pecuária é o principal fator associado ao desmatamento na Amazônia, conforme evidenciado pelo modelo econométrico desenvolvido utilizando dados em painel de 782 municípios da Amazônia Legal, referente ao período de 2000 a 2006.

Este artigo tem como objetivo apresentar novas evidências sobre o desmatamento na Amazônia, comparando variáveis associadas ao desmatamento histórico, definido neste trabalho como a supressão de floresta nativa acumulada até 2008, com o desmatamento recente, registrado no período de 2008 a 2022. Dessa forma, busca-se analisar em que medida os padrões de desmatamento sofreram alterações nos tempos recentes.

A abordagem metodológica proposta inova ao utilizar-se de ferramentas de estatística espacial. Compreender a distribuição espacial de dados oriundos de fenômenos ocorridos no espaço é hoje um desafio para esclarecer questões fundamentais em diversas áreas do conhecimento (Francisco, 2010). Em relação ao desmatamento, não é diferente. A incorporação do fator geográfico nas técnicas de inferência estatística, apresenta resultados relevantes para entender a relação entre a destruição da floresta amazônica e variáveis dependentes de natureza socioeconômica e de uso do solo. Identificar tais tendências permite a formulação de políticas públicas eficazes de conservação, de promoção do desenvolvimento sustentável e de gestão social de recursos naturais (Mesquita, 2014; Vasconcellos et al., 2018).

REVISÃO DA LITERATURA

A Amazônia apresenta uma diversidade interna tanto em suas características naturais quanto em seu processo de ocupação, o que resulta em uma divisão territorial em três macrorregiões distintas (Diniz et al., 2009). A primeira, o Arco do Povoamento Adensado ou Amazônia Oriental, inclui os estados de Mato Grosso, Rondônia, Tocantins, partes do sudeste e nordeste do Pará, sudeste do Acre e sul do Amapá. A segunda, a Amazônia Central, abrange o oeste e norte do

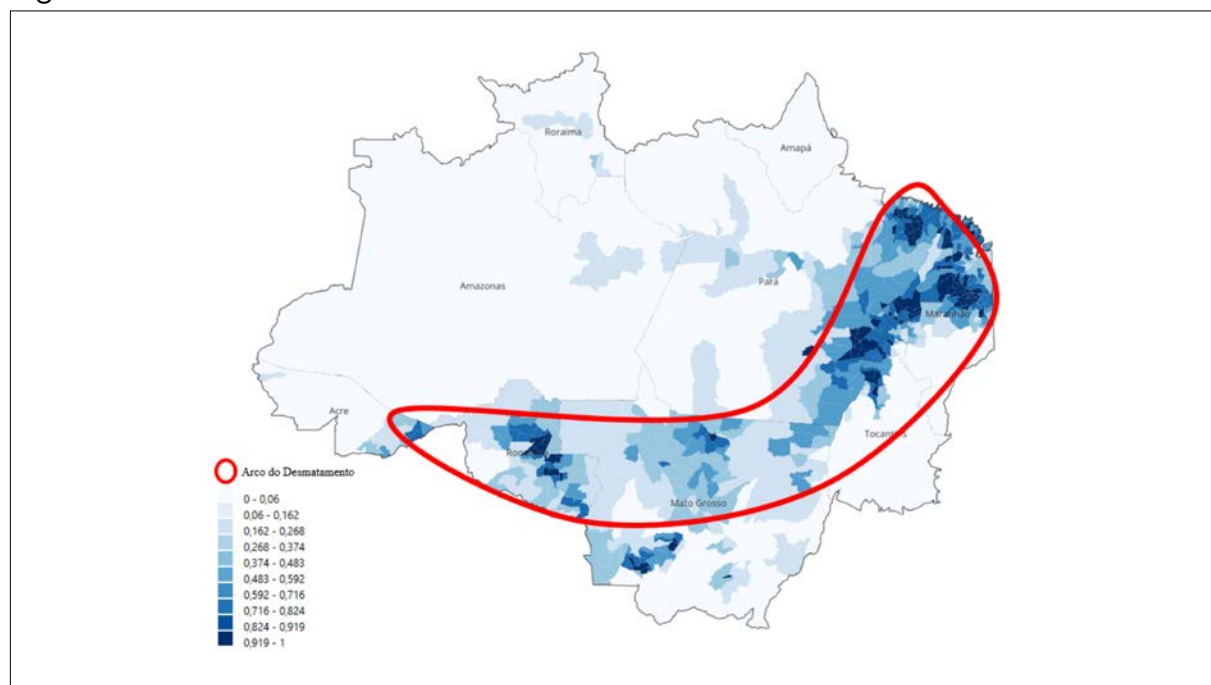
Pará, norte do Amapá e o Vale do Rio Madeira no Amazonas. A terceira, a Amazônia Ocidental, engloba o estado de Roraima, o restante do Amazonas e as partes central e oeste do Acre.

Essa configuração territorial está associada aos meios de acesso à região, os quais influenciam o processo migratório, o crescimento demográfico e os adensamentos urbanos subsequentes. Além disso, tais regiões foram ocupadas em períodos distintos, caracterizados por diferentes lógicas de ocupação do solo e, conseqüentemente, têm diferentes razões para o desmatamento. O objetivo desta seção é discutir esse processo histórico, evidenciando as principais causas do desmatamento em cada período.

Desmatamento de 1970-1990

Até meados do século XX, os altos custos de transporte e exploração na Amazônia, devido às condições geológicas, resultavam em baixa rentabilidade, especialmente na agropecuária. Isso fez da Amazônia uma fronteira econômica, demográfica e geopolítica por séculos. A partir dos anos 1960, investimentos governamentais em rodovias, incentivos fiscais e crédito, além da proximidade de centros urbanos como Brasília, Belém e Manaus, viabilizaram atividades agropecuárias antes impraticáveis (Margulis, 2004).

Figura 1 - Arco do Desmatamento (% da área desmatada até 2007)



Nota: Elaboração própria, a partir dos dados do INPE.

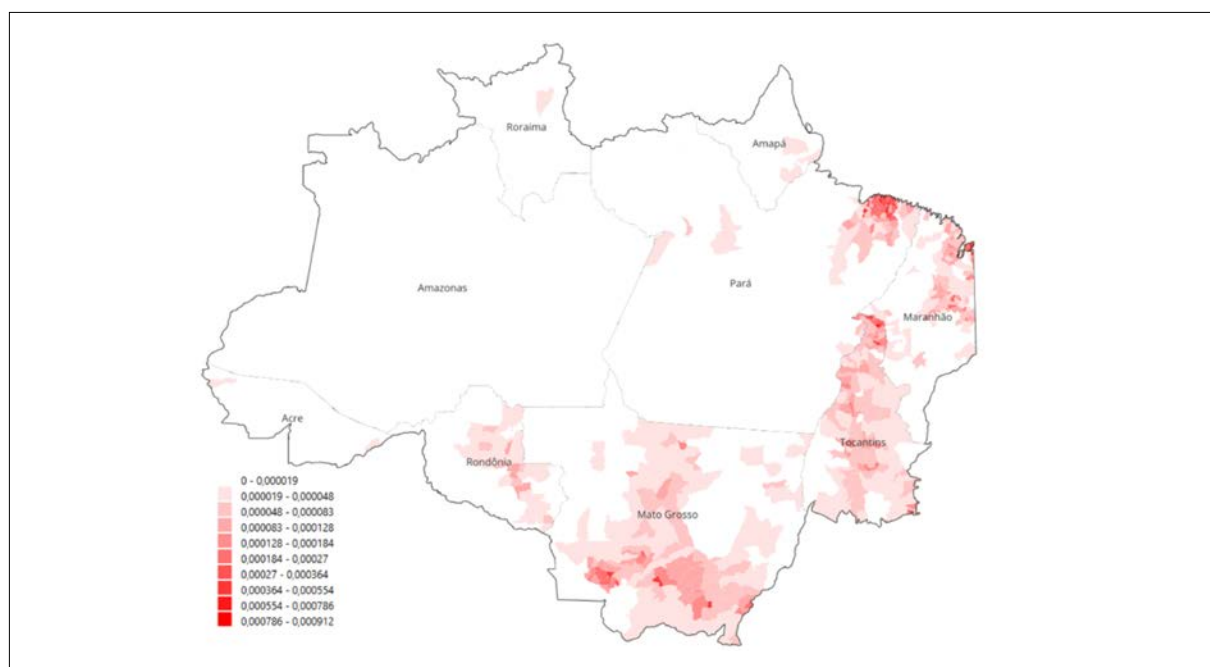
Essa nova forma de ocupação do território acarretou o aumento das taxas de desmatamento no território que vai do Maranhão e sul do Pará em direção a oeste, passando por Mato Grosso, Rondônia e parte do Acre, que ficou conhecida como Arco do Desmatamento, con-

forme apresenta a Figura 1. O objetivo desta seção é analisar individualmente os fatores que potencializaram o desmatamento nas décadas de 1970 a 1990 nessa região, a qual também coincide com a maior concentração populacional e de infraestrutura da Amazônia, e mantém também uma latente desigualdade social.

Infraestrutura

Entre 1970 e 2000, a malha rodoviária duplicou na Amazônia, com a adição de mais de 80 mil quilômetros de estradas (Margulis, 2004). Entre as principais estradas construídas nesse período, destacam-se: Transamazônica (BR-230), Rodovia Belém-Brasília (BR-153), Rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163) e Perimetral Norte (BR-210). Notadamente, todas cruzaram a região do arco do povoamento adensado, a primeira região amazônica que experienciou um aumento da acessibilidade e estímulos ao desenvolvimento urbano, conforme destacado na Figura 2.

Figura 2 – Concentração de estradas por município (Quantidade de estradas pela área do município em m²)



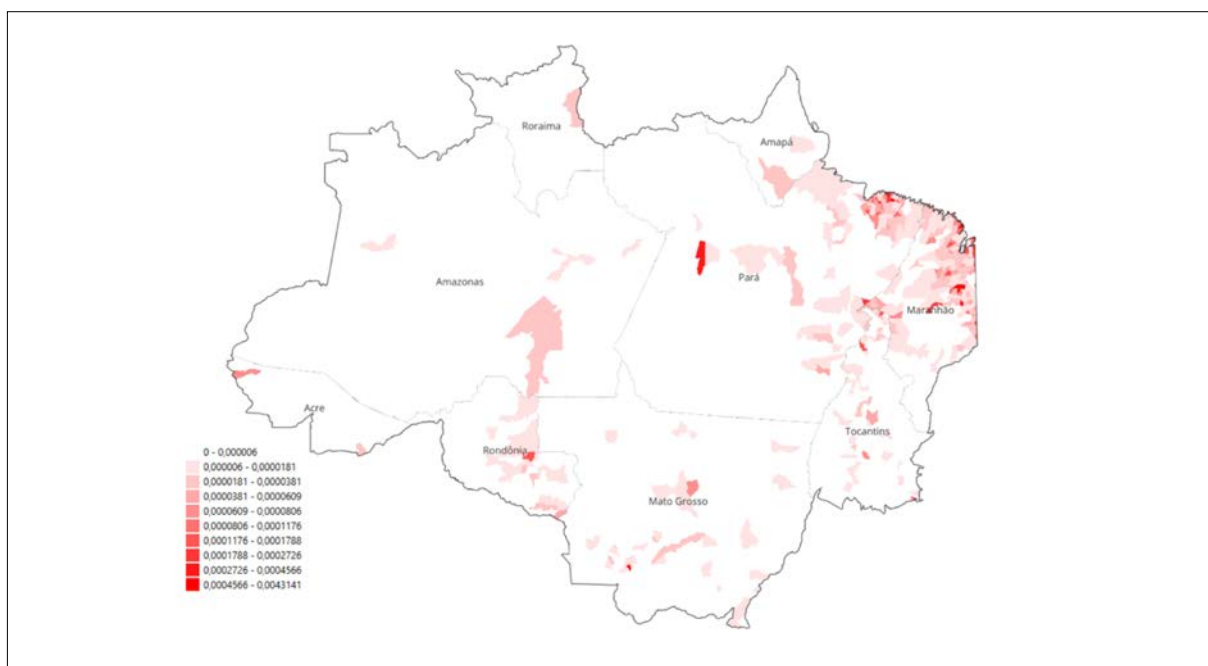
Nota: Elaboração própria, a partir de dados do MapBiomias.

A diminuição dos custos de transporte, resultado desses investimentos em obras, juntamente com os subsídios fiscais e créditos para investimentos privados, contribuiu para tornar rentáveis as atividades agropecuárias na região. Dessa forma, o impacto das rodovias trouxe o aumento do desmatamento, seguindo os padrões lineares de sua construção, e provocou queimadas e conflitos fundiários, em faixas de cerca de 100 km de cada margem das estradas (MIN & MMA, 2004).

Crescimento demográfico

Com o aumento da acessibilidade e a redução dos custos dos transportes, houve novos incentivos ao desenvolvimento de atividades econômicas na região. A valorização das terras no Sul do Brasil fez com que as propriedades na Amazônia se tornassem mais atrativas devido aos preços significativamente inferiores. Esse fenômeno aumentou a migração para a região, o que resultou em taxas de crescimento populacional de 4,7% e 3,9% nas décadas de 1970 e 1980, respectivamente, quase o dobro da média nacional do período (Margulis, 2004). A Figura 3 apresenta a densidade populacional em 2000.

Figura 3 – Densidade populacional em 2000 (Total de residentes pela área do município em m²)



Nota: Elaboração própria, a partir de dados do Censo Demográfico 2000.

Tal processo, porém, fez com que os migrantes das regiões Sul e Centro-Oeste exercessem pressão econômica para a aquisição de terras produtivas. Consequentemente, a população local, incapaz de competir financeiramente, foi compelida a vender suas propriedades e a migrar para áreas urbanas.

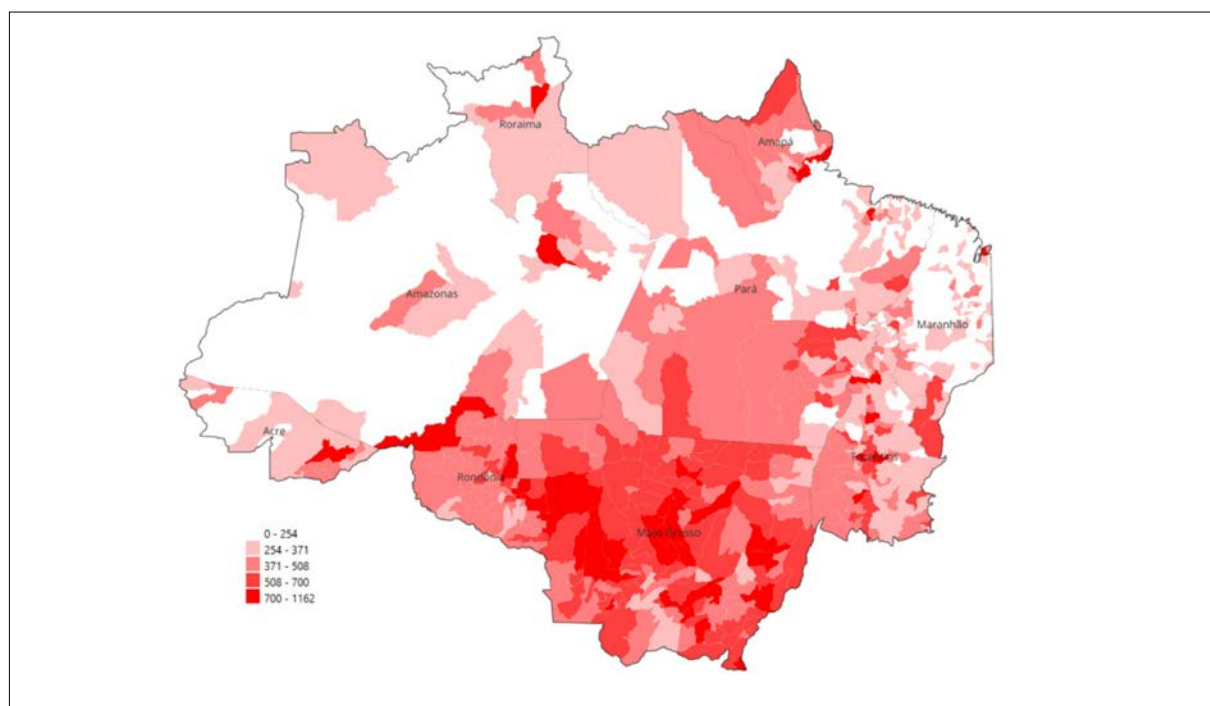
Esse fenômeno, junto às deficiências das políticas públicas relativas à ocupação do solo urbano, forçou milhões de pessoas a viver em condições precárias, sobretudo nas franjas dos centros regionais emergentes, como Belém, Manaus, São Luís, Santarém, Marabá e Rondonópolis. Essas regiões periféricas sofreram com altas taxas de desmatamento por meio da instalação de ocupações e moradias irregulares (MIN & MMA, 2004).

Desenvolvimento econômico e Pobreza

Segundo análise do [Banco Mundial \(2004\)](#), o aumento da demanda por terras, gerado sobretudo pelas ondas migratórias das décadas de 1980 e 1990, tornou as terras financeiramente inacessíveis para agricultores pobres e sem-terra. Dessa maneira, tal população começou a pressionar a fronteira agrícola, e adquiriu propriedades em regiões onde o preço da terra era menor.

A Figura 4 apresenta a distribuição de riquezas na Amazônia, por meio da variável renda per capita ([IBGE, 2010](#)). Torna-se evidente a concentração de riquezas no estado do Mato Grosso, caracterizado, sobretudo, pela produção intensiva de grãos e criação de gado e pela alta concentração fundiária. Segundo dados do Censo Agropecuário de 2017, a média de área dos estabelecimentos do Mato Grosso é cerca de sete vezes maior do que a média nacional, evidenciando tal concentração ([IBGE, 2017](#)).

Figura 4 – Distribuição das faixas de renda (Valores em R\$ a preços de 2010)



Nota: Elaboração própria, a partir dos dados do Censo Demográfico 2010.

Já as regiões com menor renda são Maranhão e Amazônia Ocidental. O Maranhão apresenta a maior taxa de pessoas em situação de extrema pobreza de todos os estados do Brasil, cerca de 8,4% da população, e a menor renda média mensal, aproximadamente R\$ 409 por habitante ([IBGE, 2022](#)). Essa pobreza é histórica, gerada, entre outros fatores, pelo isolamento de comunidades rurais e pela alta taxa de informalidade nas relações de trabalho ([Duailibe, 2010](#)).

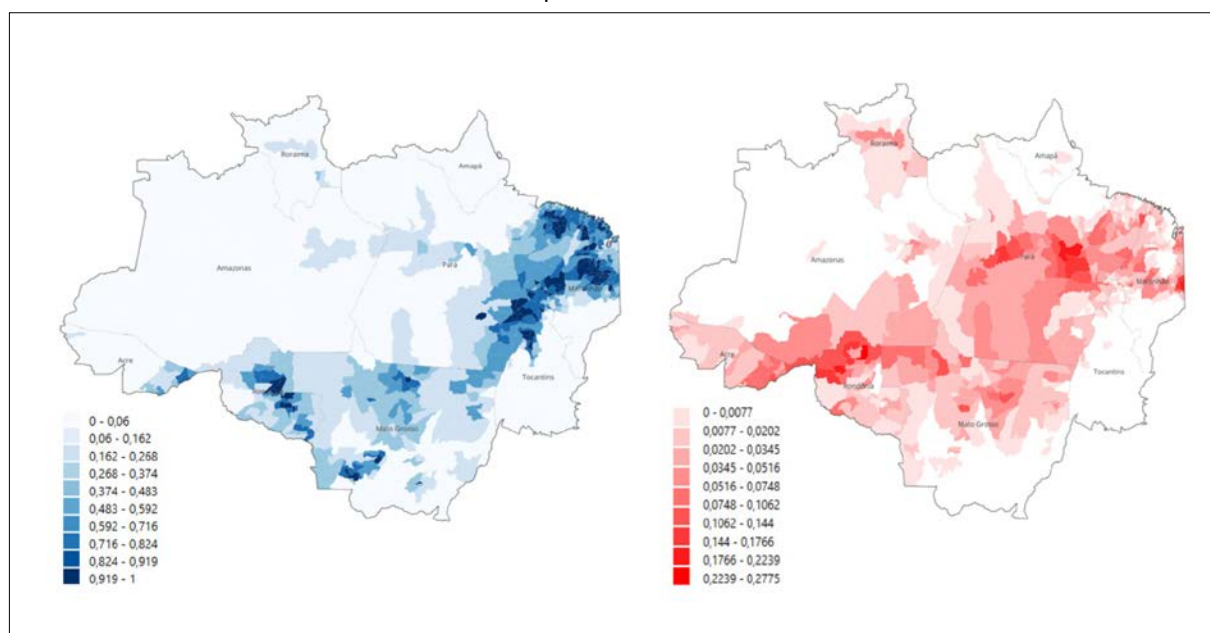
Conforme Tarbox (2020), múltiplos fatores contribuem para a pobreza na Amazônia ocidental. A exploração prolongada dos recursos naturais, incluindo a extração ilegal de madeira e a mineração, prejudica o meio ambiente e as economias locais. A região também inclui territórios indígenas, como os do povo Yanomami, que enfrentam problemas sociais atrelados à degradação ambiental. Essa situação reduz a disponibilidade de alimentos, perpetua a fome endêmica e propaga doenças como a malária.

Desmatamento de 2000-2022: nova lógica expansionista

Após 1990, o desmatamento tornou-se espontâneo, motivado pela valorização econômica do território e exploração dos recursos naturais e não mais por influência estatal. A dinâmica de ocupação do solo na Amazônia passou a ser motivada pela conversão da floresta nativa em áreas de pastagem e, posteriormente, em áreas de produção de grãos, impulsionada pelos altos preços das *commodities* agrícolas no mercado internacional (Brandão Rezende & Marques 2005).

As novas frentes de desmatamento adentram a floresta a partir da fronteira agrícola e dos centros urbanos, como Manaus, Belém, Santarém, Rio Branco e Porto Velho (MIN & MMA, 2004). As comparações do desmatamento acumulado até 2007 com as áreas degradadas entre 2008 e 2022 evidenciam essa tendência.

Figura 5 - Desmatamento acumulado até 2007 (azul) e desmatamento recente de 2008 a 2022 (vermelho) (% do município desmatado)



Nota: Elaboração própria, a partir de dados do INPE.

Obs: As classes dos mapas são diferentes, tendo em vista que tratam de espaços temporais distintos, não sendo adequada a comparação direta.

Entre 2008 e 2019, quinze novos municípios foram adicionados à lista dos principais desmatadores, com novas áreas identificadas ao longo das BR-364 e BR-163, no Acre e Pará, e BR-319, no Amazonas. Além disso, a partir de 2012, houve um aumento da média das áreas desmatadas, com grandes desmatamentos (áreas maiores que 1000 hectares) representando a maior parte delas (Oviedo, Lima & Augusto, 2019). Isso indica que os atuais atores do desmatamento são capitalizados, e possuem o maquinário necessário para tanto. Esta seção analisa os principais fatores que contribuem para essas novas tendências de degradação ambiental.

Pecuária

A pecuária bovina é historicamente o principal motor do desmatamento amazônico (Margulius, 2004; Piketty et al., 2004; Rivero et al., 2009). Essa atividade é uma constante tanto em pequenas quanto em grandes propriedades e tem demonstrado uma expansão quase contínua ao longo da história recente da Amazônia.

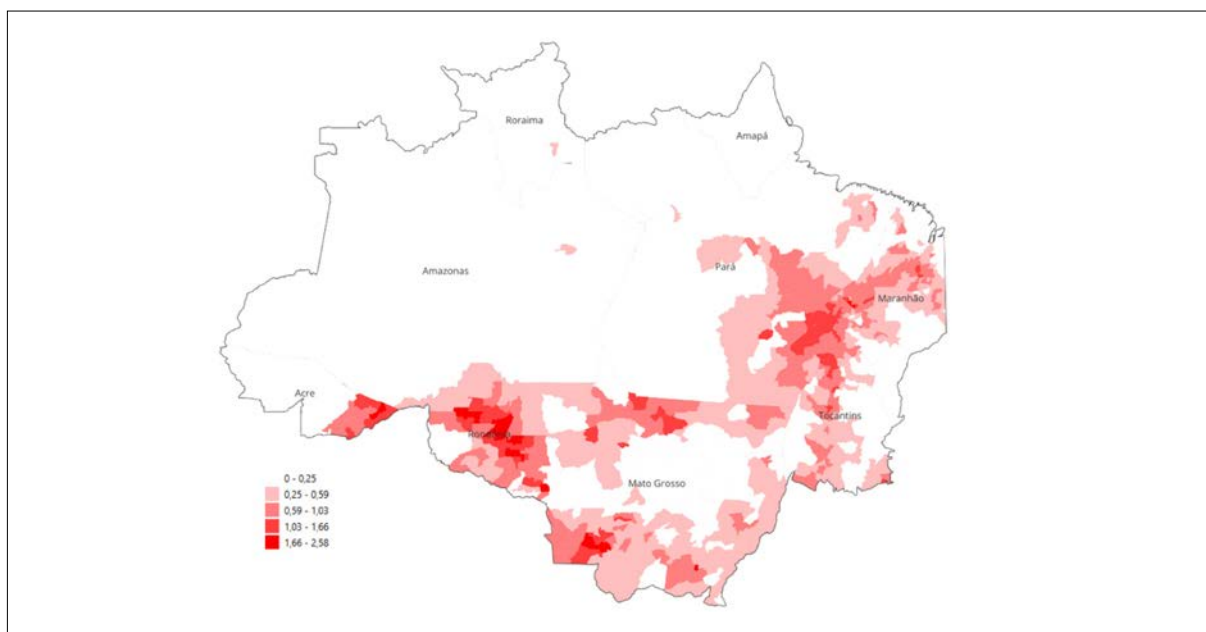
Piketty et al. (2004) identificam três fatores principais que favoreceram a expansão da pecuária na Amazônia Oriental. O primeiro é o sistema forrageiro baseado na utilização da *Brachiaria Brizantha*, gramínea conhecida como “braquiário”, que se adaptou à Amazônia, e tem baixo custo de implantação e capacidade de germinar em áreas recém queimadas.

O segundo fator é o financiamento público, essencial para a expansão da pecuária. Agências públicas como o Fundo de Investimentos da Amazônia (FINAM) e a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) financiaram o setor produtivo visando o desenvolvimento regional, o que favoreceu a pecuária pelas suas taxas de lucro e baixo risco de inadimplência.

Por fim, entrevistas realizadas por Piketty et al. (2004) com produtores rurais amazônicos mostram que o principal fator para a escolha da pecuária é o retorno seguro. A constante demanda por produtos bovinos, como carne e leite, permite aos produtores vender o gado a qualquer momento por preços competitivos, alinhados com os praticados na bolsa de São Paulo.

Ademais, vale mencionar a importância do uso do gado para a especulação imobiliária e grilagem de terras. Em 2020, a pecuária era o principal uso do solo em 75% das áreas desmatadas de florestas públicas não destinadas, correspondendo a aproximadamente 2,6 milhões de hectares. O uso do boi como “zelador” da terra grilada é uma prática histórica na Amazônia. O gado é utilizado não com o foco na produção de carne ou leite, mas para dar um caráter produtivo à terra, o que facilita sua regularização fundiária posterior (Salomão et al., 2021).

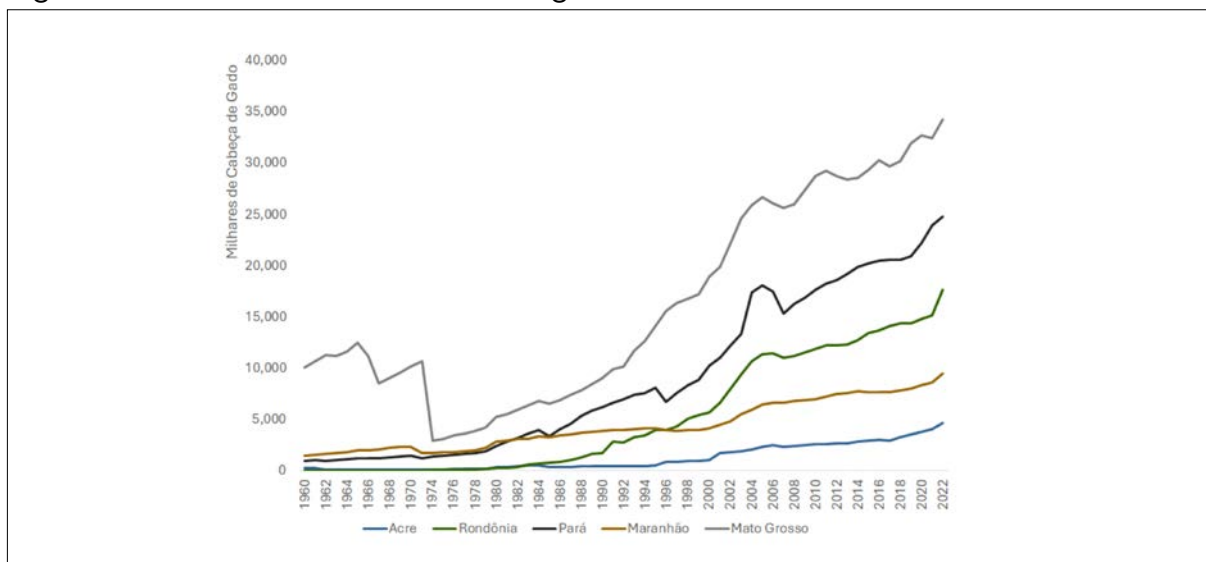
Figura 6 – Concentração de bovinos em 2022 (bovinos por ha)



Nota: Elaboração própria, a partir de dados da Pesquisa de Produção Agropecuária (IBGE, 2022).

Destarte, a Amazônia foi a região que apresentou a maior taxa de crescimento do rebanho bovino no país desde 1990. No estado de Rondônia, o crescimento foi de 10,67% ao ano, a maior taxa registrada, seguida pelo Acre, com 6,75%, e pelo Pará, com 5,75%. Além disso, o Mato Grosso e o Pará são os estados que, em 2022, apresentaram a maior quantidade de cabeças de gado, registrando 35 milhões e 25 milhões, respectivamente (IBGE, 2022).

Figura 7 – Crescimento do rebanho de gado



Nota: Elaboração própria, a partir de dados da Pesquisa de Produção Agropecuária (IBGE, 2022).

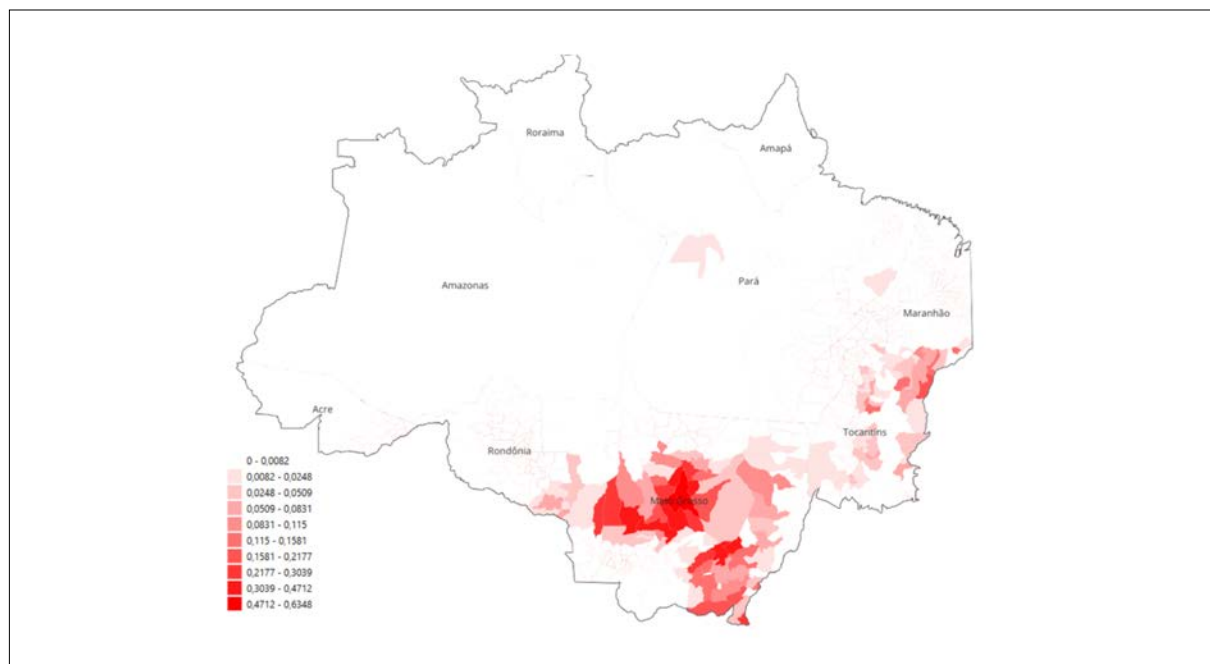
Esse cenário evidencia que os estados amazônicos são os responsáveis por atender à crescente demanda por carne bovina, tanto por parte do mercado interno (Foltran, 2023), quanto do mercado externo, potencializado pelo crescimento da China (Aurélio Neto, 2018). Segundo Arima (2005), a escolha da Amazônia se dá pelas altas taxas de retorno dos investimentos e pelas condições favoráveis para ampliação de operações que beneficiou os pecuaristas, incluindo o acesso facilitado a terras públicas e a fraca implementação e fiscalização das leis florestais, como o Código Florestal e a Lei de Crimes Ambientais.

Expansão da produção de grãos

A partir dos anos 2000, houve uma mudança no padrão produtivo da agropecuária brasileira, afetando sobretudo as regiões Norte e Centro-Oeste. Até então, os crescimentos da produção eram gerados, sobretudo, pela incorporação de tecnologias, aumentando a produtividade de determinada área.

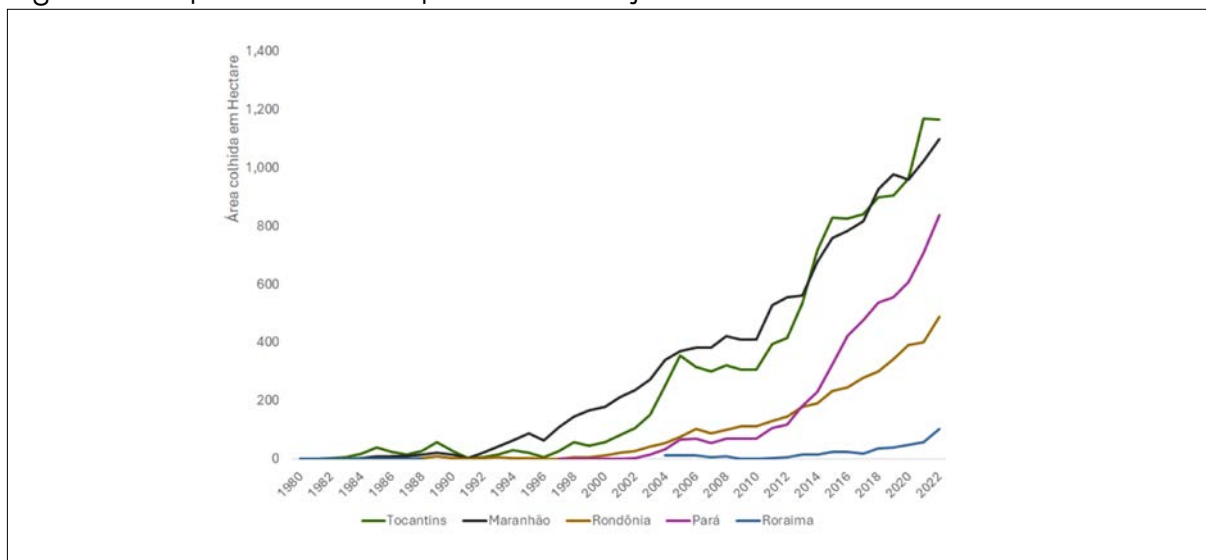
Para atender à crescente demanda internacional por *commodities* agrícolas, gerada pelo vertiginoso desenvolvimento chinês, foi necessário expandir a área plantada (Brandão Rezende & Marques, 2005). Nesse contexto, a expansão recente da soja na Amazônia decorre do deslocamento da fronteira agrícola rumo ao norte, partindo do Mato Grosso e alcançando os estados do Pará, Rondônia, Tocantins e Maranhão.

Figura 8 – Área plantada de soja (% da área do município com área plantada de soja)



Nota: Elaboração própria, a partir de dados da Pesquisa de Produção Agrícola (2022).

Figura 9 – Expansão da área plantada de soja na Amazônia



Nota: Elaboração própria, a partir de dados da Pesquisa de Produção Agrícola.

A expansão da soja na Amazônia também foi beneficiada por fatores locais, o que reduziu custos e aumentou a competitividade em relação ao restante do país. A topografia da região favorece a mecanização da produção, devido à abundância de terras planas, como as do Planalto Santareno. O baixo custo de conversão de culturas como milho e arroz, e mesmo da pecuária, permitiu um primeiro processo de ocupação do solo na região, aproveitando-se de terrenos já desmatados, o que reduziu os custos iniciais de investimento e atraiu produtores, principalmente do Mato Grosso e da região Sul do país (Puty, Almeida, & Rivero, 2007).

Nesse sentido, a soja tende a ser implantada em um segundo ciclo produtivo. “Ou seja, a soja estabelece-se em áreas antes degradadas pelo gado e não diretamente sobre as áreas de floresta desmatada” (Domingues, Bermann, & Manfredini, 2014, p. 1). Dessa forma, a expansão da produção de soja provoca desmatamento por meio de uma dinâmica interconectada. Inicialmente, ocorre a derrubada de florestas para a implantação da pecuária ou de culturas mais facilmente cultivadas. Posteriormente, essas áreas são convertidas em agricultura mecanizada, ampliam a fronteira agrícola e pressionam o desmatamento para as regiões mais centrais da floresta.

METODOLOGIA

Inicialmente, foram escolhidas variáveis visando detalhar as características sociais, demográficas, econômicas, de uso do solo dos 773 municípios que compõem o bioma amazônico, segundo delimitação do IBGE (2019). Ao todo, foram incorporadas 94 variáveis, o que evidenciou o objetivo de testar uma ampla gama de características locais que poderiam estar relacionadas com o desmatamento da região. O principal tratamento realizado foi a redução do efeito de magnitude dos municípios, utilizando indicadores relativos, como proporção e densidade.

Os dados de desmatamento são produzidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que, desde 1988, monitora a região por meio do programa PRODES, que utiliza imagens de satélite para calcular as taxas anuais de desmatamento com precisão de 95%. As variáveis sociodemográficas e econômicas são providas pelo IBGE, incluindo dados dos Censos Agropecuários e Demográficos e das pesquisas anuais de Produção Agrícola e Pecuária Municipal. Adicionalmente, variáveis espaciais são extraídas da plataforma MapBiomas, coordenada pela Rede Amazônica de Informação Socioambiental Georreferenciada (RAISG), que mapeia a cobertura e uso do solo na região amazônica.

Seleção das variáveis

Dado esse expressivo conjunto de variáveis independentes, optou-se por realizar uma regressão linear multivariada (OLS) com o objetivo de excluir as variáveis em que não há evidências suficientes de sua relação com a variável dependente. Para determinar as variáveis remanescentes no modelo, utilizou-se o método *stepwise* com nível de significância de 5% na entrada e na saída. Essa técnica facilita a identificação de variáveis com valores-P não significantes, que foram eliminadas progressivamente para refinar o modelo. Ao fim, para verificar a robustez dos modelos obtidos, foi realizada a seleção inicial de variáveis por significância, seguida do diagnóstico de multicolinearidade e a verificação subsequente dos pressupostos dos resíduos (independência, homocedasticidade, normalidade e média zero). Esse procedimento é especialmente adotado para cenários com muitas variáveis independentes (Montgomery, Peck & Vining, 2012; Kutner, Nachtsheim & Neter, 2004).

Análise espacial exploratória

A análise exploratória consistiu na identificação da autocorrelação espacial de cada uma das variáveis resultantes no modelo. A autocorrelação espacial avalia o grau de dependência entre observações no espaço e seus vizinhos. Os critérios de vizinhança mais comumente utilizados são o *Rook* e o *Queen*. No critério *Rook*, duas áreas são consideradas vizinhas se compartilham uma aresta em comum. Já o critério *Queen*, mais abrangente, define a vizinhança pelo compartilhamento de um ponto em comum, seja uma borda ou apenas um vértice. Nesta análise, optou-se pelo critério *Queen*, já que ele capta conexões diagonais entre as unidades, e não apenas laterais, e oferece uma visão mais ampla de vizinhança (Dunbin, 2009).

O índice *I* de Moran é reconhecido na literatura como uma medida de autocorrelação espacial. Ele serve como um indicador da correlação entre o valor de uma variável em uma determinada área e os valores dessa mesma variável nas áreas adjacentes. De modo geral, o indicador varia de -1 (dispersão perfeita) a 1 (associação perfeita), passando pelo valor de 0, que indica um padrão espacial completamente aleatório. A equação abaixo explica esse índice:

$$I \text{ de Moran} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

em que:

n : número total de observações ou locais analisados

y_i e y_j : valores da variável de interesse nas localizações i e j , respectivamente

\bar{y} : Média dos valores da variável de interesse

w_{ij} : pesos atribuídos na matriz de vizinhança, onde cada elemento w_{ij} indica o peso ou a importância da relação entre a localização i e a localização j .

Cada observação i oferece uma contribuição individual ao indicador global de dependência espacial. Essas contribuições individuais são adaptadas e conhecidas como *Local Indicators of Spatial Association* (LISA), permitem visualização espacial de cada região e testam sua significância estatística. Para uma representação clara dessas observações, utilizou-se os *LISA Maps*.

Regressão espacial

Após a análise exploratória, busca-se melhorar a capacidade explicativa da regressão linear (OLS) por meio da incorporação da matriz de vizinhança espacial como parte do conjunto das variáveis dependentes. Para tanto, utiliza-se o modelo espacial autorregressivo ou *Spatial Autoregressive model* (SAR), que assume a seguinte formulação:

$$y = \rho Wy + X\beta + \epsilon \quad (2)$$

em que:

y : variável dependente

W : matriz de proximidade espacial

ρ : coeficiente espacial autorregressivo

X : vetor de variáveis independentes

β : coeficientes das variáveis independentes

ϵ : termo de erro

O coeficiente espacial autorregressivo quantifica a autocorrelação espacial da variável dependente. Um valor positivo de ρ indica que valores altos de y estão próximos a outros valores altos, e valores baixos estão próximos a valores baixos, caracterizando uma autocorrelação espacial positiva. Um valor negativo de ρ sugere uma autocorrelação espacial negativa, na qual os valores altos de y estão tipicamente cercados por valores baixos e vice-versa. Já quando ρ é igual a zero, há o indicativo de que não existe autocorrelação espacial.

A relevância desse modelo é sua capacidade de incorporar o termo espacial autorregressivo ρWy em conjunto com as variáveis independentes, que continuam a contribuir para a explicação da variável dependente. Dessa forma, estabelecer tal modelo para explicar e descrever a variável de desmatamento constituiu uma das principais contribuições deste estudo.

RESULTADOS

Esta análise é formada por dois modelos espaciais autorregressivos. O primeiro utilizou como variável dependente o desmatamento acumulado até 2007. Comumente chamada de máscara de desmatamento, essa variável computa todas as áreas desmatadas no limite do bioma amazônico até 2007 (INPE, 2024). Dessa forma, as variáveis dependentes usadas nesse modelo foram aquelas que descrevem os municípios amazônicos em períodos próximos ao de 2007, sendo utilizadas as seguintes bases de dados: Censo Demográfico 2010, Censo Agropecuário 2006 e Pesquisa de Produção Agrícola e de Produção Agropecuária 2010.

O segundo modelo analisou o desmatamento acumulado entre 2008 e 2022, focando nas áreas que sofreram desmatamento durante esse período. As variáveis independentes neste modelo refletem as mudanças ocorridas em relação às variáveis do primeiro modelo em comparação com períodos mais recentes. Portanto, utiliza-se a variação das variáveis dos Censos de 2022 e 2010, do Censo Agropecuário de 2017 em comparação com o de 2006 e das Pesquisas de Produção Agrícola e de Produção Agropecuária de 2022 em relação às de 2010.

O objetivo da divisão entre dois modelos foi analisar o impacto das distintas formas de ocupação territorial na Amazônia sobre o desmatamento. O primeiro modelo visou capturar as variáveis associadas à “colonização” da Amazônia, considerando que a variável dependente reflete todo o desmatamento acumulado até o início dos anos 2000. O foco está em examinar até que ponto a concentração de infraestrutura, população, riqueza e as características agropecuárias dos municípios, conforme registradas em 2007/2010, estão relacionadas ao desmatamento acumulado até aquele período.

Já o segundo modelo foi direcionado a investigar as evidências de uma nova lógica expansionista que caracterizou a Amazônia no século XXI. Neste modelo, espera-se que as mudanças de características sociais, econômicas e demográficas assumam um papel secundário na explicação do desmatamento, enquanto a expansão da agropecuária observada nesse período tenha um papel central.

Variáveis selecionadas

A Tabela 1 apresenta as variáveis consideradas estatisticamente significantes para explicar a variável dependente percentual da área do município que foi desmatada até 2007. Esse modelo explica 72,28% da variação do desmatamento acumulado na Amazônia, conforme indicado pelo R^2 . Isso demonstra que o modelo se ajusta bem aos dados e tem uma considerável capacidade explicativa.

Tabela 1 – Resultado da regressão linear múltipla para a variável dependente percentual da área do município que foi desmatada até 2007

VARIÁVEL	COEFICIENTE	ERRO PADRÃO	VALOR-P	VIF
Intercepto	0,677	0,421	0,108	-
Percentual da área do município destinada a terras indígenas (%)	-0,0877	0,0432	0,043	1,38
Densidade de vias estaduais (número de vias por m ²)	290,2	83,7	0,001	1,31
População residente total (em milhões)	0,1957	0,0400	0,010	1,36
Percentual População de Homens (%)	-2,435	0,674	0,000	2,13
Taxa de Envelhecimento (%)	-0,03687	0,00520	0,000	1,88
Percentual de ocupados no setor serviços (%)	-0,00560	0,00110	0,000	1,82
Percentual de ocupados no setor de comércio (%)	0,00667	0,00214	0,002	2,32
Percentual de ocupados no setor da construção civil (%)	-0,01060	0,00281	0,000	1,53
Renda média per capita (R\$ à preços de 2010)	-0,000315	0,000081	0,000	4,67
Proporção da população extremamente pobre (%)	-0,00400	0,00125	0,001	6,39
Percentual da população em domicílios com Energia Elétrica (%)	0,007001	0,000996	0,000	2,25
Percentual da população em domicílios com Paredes Não-Alvenaria (%)	0,006228	0,000694	0,000	2,61
Percentual da população em domicílios com Água Encanada (%)	0,004273	0,000723	0,000	2,70
Percentual da população em domicílios com Água/Saneamento Inadequado (%)	0,003197	0,000613	0,000	2,85
Taxa de Analfabetismo de 15 anos ou mais (%)	0,00598	0,00144	0,000	3,02
Percentual da área do município com plantação de cana-de-açúcar (%)	1,380	0,580	0,018	1,08
Percentual da área do município com plantação de mandioca (%)	4,166	0,691	0,000	1,25
Densidade de bovinos por m ² (bovinos/ m ²)	0,4671	0,0250	0,000	1,99
Densidade de outros rebanhos por m ² (outros rebanhos/ m ²)	0,01036	0,00228	0,000	1,13
Área dos estabelecimentos destinadas a terras próprias em relação à área do município (%)	0,0888	0,0335	0,008	2,22
Percentual da área do município de terras degradadas/inaproveitáveis para a agropecuária (%)	-0,899	0,259	0,001	1,11

Obs: n=773 municípios.

Um primeiro ponto relevante é que nenhuma variável associada a mineração foi significativa para explicar o desmatamento. Foram testadas tanto as variáveis de percentual da área destinada à mineração, quanto a quantidade de mineradoras legais e ilegais por município. Possivelmente, essa falta de significância se justifica, pois, apesar de seu impacto na poluição do solo e dos meios hídricos, a área desmatada pelas mineradoras é restrita em comparação com outros fenômenos, como a agropecuária.

Nesse sentido, observa-se que todas as variáveis relacionadas à atividade agropecuária estão positivamente associadas ao aumento do desmatamento. Já em relação à utilização das terras para atividades não produtivas, observa-se que tanto o percentual de área destinada a terras indígenas quanto a área inapropriada para agropecuária estão associados a um menor percentual de desmatamento.

Quanto à infraestrutura, a densidade de vias estaduais está positivamente relacionada ao desmatamento, da mesma forma que a presença de energia elétrica e água encanada nas residências. Indicadores de infraestrutura precária, como a proporção de domicílios com paredes não alvenaria e com saneamento inadequado, também mostram associação positiva com o desmatamento.

Já o segundo modelo busca explicar a variável dependente percentual da área do município desmatada entre 2008 e 2022. As variáveis independentes utilizadas correspondem às variações ocorridas nos municípios amazônicos durante o período analisado. É importante mencionar que o modelo apresentou baixa capacidade explicativa, evidenciada pelo R^2 de 12,78%.

Tabela 2 – Resultado da regressão linear múltipla para a variável dependente percentual da área do município que foi desmatada entre 2008 e 2022

VARIÁVEL	COEFICIENTE	ERRO PADRÃO	VALOR-P	VIF
Intercepto	0,02611	0,00318	0,000	-
Variação da Taxa de Envelhecimento (%)	-0,00421	0,00114	0,000	1,24
Variação do percentual da área do município com plantação de mandioca (%)	-0,465	0,194	0,017	1,07
Variação do percentual da área do município com plantação de soja (%)	0,2206	0,0540	0,000	3,99
Variação da área total plantada (%)	-0,0694	0,0289	0,017	4,06
Variação da densidade de bovinos por m ² (bovinos/ m ²)	0,06765	0,00856	0,000	1,22
Variação área dos estabelecimentos destinadas a terras ocupadas em relação à área do município (%)	-0,0547	0,0247	0,027	1,01
Variação área dos estabelecimentos destinadas a terras próprias em relação à área do município (%)	0,01510	0,00445	0,001	1,04
Variação do percentual da área do município de terras inaproveitáveis para a agropecuária (%)	0,1148	0,0474	0,016	1,04

Obs: n=773 municípios.

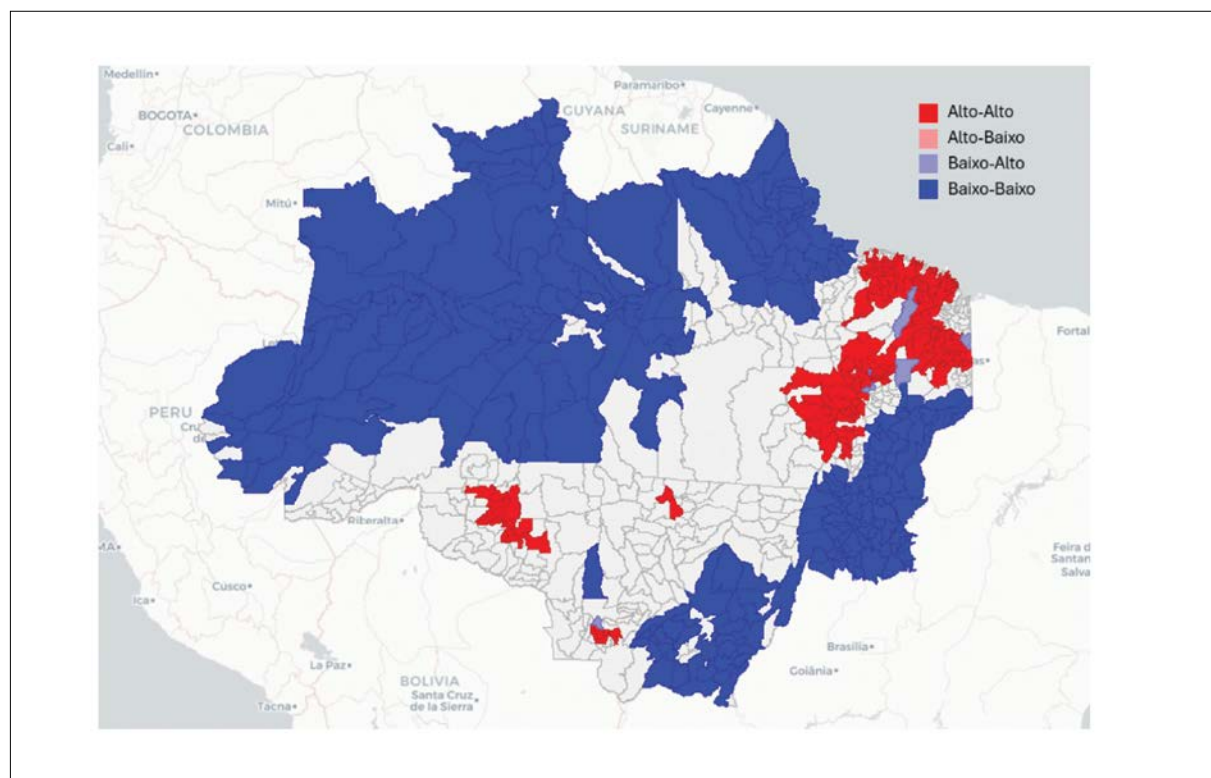
Neste caso, é impreciso fazer suposições sobre as relações positivas e negativas das variáveis selecionadas com a variação do desmatamento. O baixo R^2 indica que o modelo é incapaz de explicar adequadamente as mudanças da variável dependente, tornando as afirmações quanto às variáveis explicativas pouco embasadas.

Análise exploratória

A variável dependente percentual da área dos municípios desmatada até 2007 apresenta um relevante componente geográfico, conforme evidenciado pelo índice I de Moran de 0,781. Esse índice indica a presença de padrões espaciais significativos, sugerindo que áreas com alta ou baixa incidência de desmatamento tendem a se agrupar geograficamente.

O *Lisa Map* dessa variável aponta que a região sudeste da Amazônia e a região da Amazônia Ocidental apresentam municípios com menores taxas de desmatamento. Em contraste, as regiões do nordeste amazônico são caracterizadas por municípios com alto percentual de seu território desmatado, bem como o de seus vizinhos próximos.

Figura 10 - *Lisa Map* da variável percentual da área do município desmatada até 2007

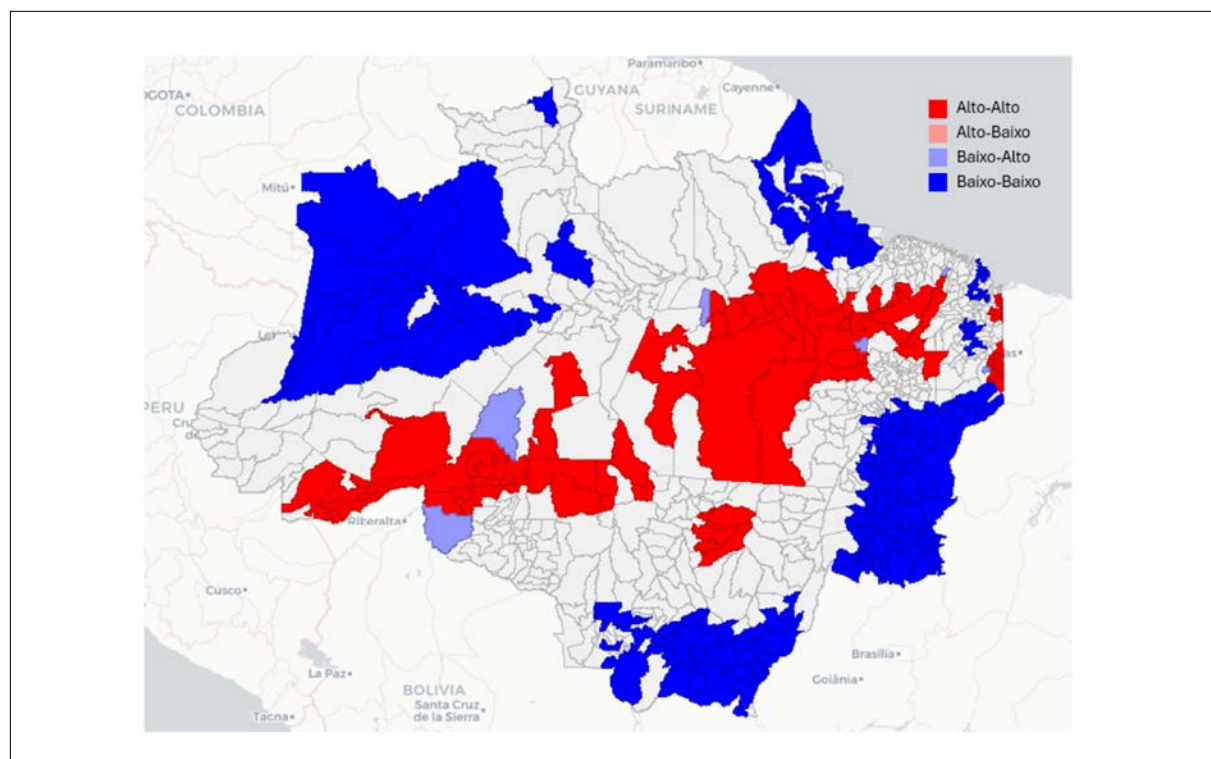


Obs: $n=773$ municípios/Matriz de vizinhança por contiguidade do tipo Queen, 1ª ordem.

Em relação às variáveis independentes selecionadas no modelo, a maioria apresentou uma autocorrelação espacial moderada. As únicas que apresentaram *I* de Moran elevados foram: Taxa de Envelhecimento (0,624), Taxa de Analfabetismo aos 15 anos ou mais (0,690), Percentual da população em domicílios com Paredes Não Alvenaria (0,614), Percentual da população em domicílios com Água/Saneamento Inadequado (0,699) e Densidade de bovinos (0,635). Isso indica que fatores ligados a qualidade de vida e de moradia da população, assim como a distribuição do gado na região, apresentam um claro padrão geográfico.

No segundo modelo, a variável dependente percentual da área do município amazônico desmatada entre 2008 e 2022 também demonstrou um forte componente geográfico, conforme evidenciado pelo *I* de Moran de 0,621. Observa-se que existe um agrupamento de áreas com alta incidência de desmatamento na porção central da Amazônia, o que aponta para a sua interiorização sobretudo nos estados do Pará, Rondônia, Amazonas e Acre. Por sua vez, as regiões em que há padrões de baixo desmatamento se concentram nas periferias, com ênfase para a porção noroeste e sudeste do território.

Figura 11 – *Lisa Map* da variável percentual da área do município desmatada entre 2008 e 2022



Obs: $n=773$ municípios/Matriz de vizinhança por contiguidade do tipo Queen, 1ª ordem.

Apenas as variáveis independentes relacionadas à agricultura apresentaram elevada autocorrelação, como a variação do percentual da área do município com plantação de soja (0,495) e a variação da área total plantada (0,593). Tal descoberta corrobora a ideia de que existe um

padrão geográfico de expansão da agricultura, partindo do Centro-Oeste rumo ao interior da Amazônia.

Regressão espacial

A Tabela 3 apresenta o resultado do modelo SAR para explicar a variável percentual da área do município que foi desmatada até 2007. A regressão resultante apresenta um R^2 de 87,12%, significativamente superior ao R^2 de 72,28% do modelo OLS para a mesma variável. Isso indica que a incorporação do fator espacial proporciona um ajuste melhor aos dados.

Tabela 3 – Regressão SAR para a variável desmatamento acumulado até 2007 (em % da área do município desmatada)

VARIÁVEL	COEFICIENTE	ERRO PADRÃO	VALOR-P
W_desmat (termo espacial autorregressivo)	0,706412	0,0206	0,00000
Intercepto	0,197561	0,1073	0,06581
Percentual da área do município destinada a terras indígenas (%)	-0,118518	0,0280	0,00002
Densidade de vias estaduais (número de vias por m ²)	120,802	54,6871	0,02718
Percentual População de Homens (%)	-0,678042	0,2046	0,00092
Taxa de Envelhecimento (%)	-0,0193674	0,0032	0,00000
Percentual de ocupados no setor comércio (%)	0,00294474	0,0012	0,02068
Percentual de ocupados no setor da construção civil (%)	-0,00397081	0,0017	0,02397
Renda média <i>per capita</i> (R\$ a preços de 2010)	-0,000112787	0,0000	0,00875
Percentual da população em domicílios com Energia Elétrica (%)	0,00239626	0,0006	0,00007
Percentual da população em domicílios com Paredes Não-Alvenaria (%)	0,00218303	0,0003	0,00000
Percentual da população em domicílios com Água/Saneamento Inadequado (%)	0,000873313	0,0003	0,01967
Percentual da área do município com plantação de cana-de-açúcar	1,29845	0,3819	0,00067
Percentual da área do município com plantação de mandioca (%)	2,02907	0,4597	0,00001
Densidade de bovinos por m ² (bovinos/m ²)	0,261397	0,01823	0,00000
Densidade de outros rebanhos por m ² (outros rebanhos/m ²)	0,00380812	0,0015	0,01016

(continua)

(conclusão)

Área dos estabelecimentos destinadas a terras próprias em relação à área do município	0,078652	0,0216	0,00027
Percentual da área do município de terras inaproveitáveis para a agropecuária (%)	-0,432021	0,1672	0,00980

Obs: n=773 municípios/Matriz de vizinhança por contiguidade do tipo Queen, 1ª ordem.

As variáveis proporção da população em situação de pobreza extrema, percentual de ocupados no setor de serviços, população residente total, taxa de analfabetismo de 15 anos ou mais e percentual da população em domicílios com água encanada foram removidas no modelo SAR devido à perda de significância estatística, pois apresentaram valores-P superiores a 5%. A incorporação da dependência espacial ajusta os coeficientes das variáveis explicativas, e permite a identificação e remoção de variáveis que não contribuem significativamente para a explicação da variável dependente.

A remoção dessas variáveis soluciona algumas das contradições observadas no modelo linear simples. No modelo OLS, as variáveis renda média per capita e proporção da população em situação de pobreza extrema coexistiam, ambas associadas à redução do desmatamento. Essa coexistência é contraditória, pois o aumento da renda e o aumento da pobreza extrema não deveriam ter efeitos semelhantes. Além disso, as variáveis percentuais da população em domicílios com água/saneamento inadequado e percentual da população em domicílios com água encanada também coexistiam, ambas associadas ao aumento do desmatamento, o que é igualmente contraditório.

O impacto da incorporação do fator geográfico foi ainda mais expressivo para a explicação da variável dependente percentual do município desmatado entre 2008 e 2022. Nesse caso, o R^2 passou de 12,78%, registrado no modelo OLS, para 60,18% no modelo SAR. Isso demonstra um ajuste razoável aos dados, e indica que o modelo SAR captura de forma mais precisa a variabilidade da variável dependente ao considerar a estrutura espacial subjacente.

Tabela 4 – Modelo SAR para a variável desmatamento acumulado entre 2008 e 2022 (em % da área do município desmatada)

VARIÁVEL	COEFICIENTE	ERRO PADRÃO	VALOR-P
W_desmat	0,779839	0,0251	0,00000
Intercepto	0,00150221	0,0011	0,20696
Variação do percentual da área do município com plantação de soja (%)	0,043102	0,0184	0,01928
Variação da densidade de bovinos por m ² (bovinos/ m ²)	0,0279784	0,0054	0,00000

Obs: n=773 municípios/Matriz de vizinhança por contiguidade do tipo Queen, 1ª ordem.

Conforme a Tabela 4, o modelo resultante apresentou apenas as variáveis variação do percentual de área do município com plantação de soja e variação da densidade de bovinos

como significativas para explicar o desmatamento acumulado entre 2008 e 2022. As demais não demonstraram significância estatística. Essa seleção final reflete a capacidade do modelo SAR de identificar os principais fatores que contribuem para o desmatamento, à medida que elimina aqueles que não apresentam uma relação robusta quando a estrutura espacial dos dados é considerada.

DISCUSSÃO

Usando os dois modelos espaciais autorregressivos, analisou-se a relação entre um conjunto de variáveis socioeconômicas e de uso do solo e o desmatamento amazônico. A primeira descoberta diz respeito à relevância de considerar o espaço geográfico na análise deste fenômeno. Isto é, o desmatamento não ocorre de modo aleatório no espaço, mas apresenta maior incidência em áreas delimitadas. A Tabela 5 consolida os principais indicadores de cada um dos modelos.

Tabela 5 – Consolidação dos indicadores dos modelos

VARIÁVEL DEPENDENTE	I DE MORAN	MODELO	R ² DO MODELO	NÚMERO DE VARIÁVEIS INDEPENDENTES
Desmatamento acumulado até 2007	0,781	OLS	72,28%	21
		SAR	87,12%	16
Desmatamento acumulado entre 2008 e 2022	0,621	OLS	12,78%	8
		SAR	60,18%	2

Obs: n=773 municípios/Matriz de vizinhança por contiguidade do tipo Queen, 1ª ordem.

Observa-se um alto *I* de Moran para ambas as variáveis dependentes analisadas, o que indica alta correlação espacial. No caso da variável percentual de área desmatada por município até 2007, o índice foi de 0,781 e, em relação à variável percentual de área desmatada entre 2008 e 2022, foi de 0,621.

Além disso, em comparação aos métodos de estatística tradicional, a incorporação do fator espacial levou a um aumento da capacidade explicativa dos modelos. O modelo que tem como variável dependente a máscara do desmatamento acumulado apresentou a ampliação do R² de 72,28% para 87,12%, com a incorporação da autocorrelação espacial. Já no modelo do desmatamento recente, foi de 12,78% para 60,18%.

Outro ponto central é a identificação de um novo padrão de ocupação do solo e de desmatamento na Amazônia. Até 1990, o desmatamento estava relacionado ao desbravamento incentivado pelo Estado, que envolveu a abertura de estradas, projetos de colonização oficial e o desenvolvimento da pecuária, que se beneficiava de incentivos fiscais e especulação fundiária. Após 1990, o desmatamento assumiu um caráter mais espontâneo, guiado pela valorização econômica do território e pela busca por lucros (MIN & MMA, 2004; Brandão Rezende e Marques, 2005; Diniz et al., 2009; Oviedo, 2019).

O resultado dos modelos de regressão espacial confirma esse cenário, uma vez que o primeiro modelo, focado na análise do desmatamento acumulado até 2007, captura a influência de uma extensa gama de variáveis de diferentes naturezas. Já o modelo do desmatamento recente reflete apenas as variáveis ligadas à agropecuária, como variação da área com plantação de soja e a densidade de bovinos no município. Isso indica justamente que o desmatamento atual está relacionado sobretudo a atividades de exploração econômica do território.

CONCLUSÃO

A análise da modelagem espacial demonstrou que houve mudanças nos padrões de desmatamento da Amazônia. Historicamente relacionado à ocupação territorial, o desmatamento passou a ser impulsionado quase que exclusivamente pela necessidade de expansão das áreas de pastagem e sua posterior conversão para cultivo de soja.

Ademais, a autocorrelação espacial significativa identificada demonstra que o desmatamento transcende as fronteiras municipais, propagando-se por áreas adjacentes. Assim, ressalta-se a necessidade de estabelecer entidades intermunicipais dedicadas ao enfrentamento deste desafio. A formação de consórcios intermunicipais nas regiões com maiores índices de desmatamento possibilitará uma atuação coordenada e colaborativa dos entes públicos.

Como apelo final, destaca-se a urgência de ampliação de um novo modelo de desenvolvimento, que faça frente à expansão agropecuária. Por meio do conhecimento científico e tecnológico, torna-se possível promover uma bioeconomia profundamente enraizada na Amazônia. Dessa forma, a região poderá evoluir de um local de produção de insumos primários, processados e aproveitados em locais distantes, para um polo de indústrias locais diversificadas e de alto valor agregado, que gere empregos e promova inclusão social às comunidades locais (Loureiro, 2012; Nobre, & Nobre, 2019).

REFERÊNCIAS

- Agência Brasil. (2023, March 29). *Ditadura militar contribuiu para genocídio dos povos indígenas*. <https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-brasil/2023/03/29/ditadura-militar-contriuiu-para-genocidio-dos-povos-indigenas.htm?cmpid=copiaecola>
- Arima, E., Barreto, P., & Brito, M. (2005). *Pecuária na Amazônia: tendências e implicações para a conservação ambiental*. Belém-PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. <https://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/livros/pecuaria-na-amazonia-tendencias-e-implicacoes-para.pdf>
- Brandão, A. S. P., Rezende, G. C., & Marques, R. W. C. (2005). *Crescimento agrícola no período 1999-2004, explosão da área plantada com soja e meio ambiente no Brasil*. Rio de Janeiro: IPEA. (Texto para discussão, 1062). <https://www.scielo.br/j/ecoa/a/NHh5wdQMzGDcYSqVCRf7JSm/?lang=pt>

- Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023, August 7). *Brasil tem 1,7 milhão de indígenas e mais da metade deles vive na Amazônia Legal*. Agência de Notícias IBGE. [https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37565-brasil-tem-1-7-milhao-de-indigenas-e-mais-da-metade-deles-vive-na-amazonia-legal#:~:text=A%20maior%20parte%20dos%20ind%C3%ADgenas,2022%20\(totalizando%20753.357%20pessoas\)](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37565-brasil-tem-1-7-milhao-de-indigenas-e-mais-da-metade-deles-vive-na-amazonia-legal#:~:text=A%20maior%20parte%20dos%20ind%C3%ADgenas,2022%20(totalizando%20753.357%20pessoas))
- Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. (2022). *Estimativas de emissões de gases de efeito estufa no Brasil* (6ª ed.). Brasília: MCTI. <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee/arquivos/6a-ed-estimativas-anuais.pdf>
- Carvalho, T. S., & Domingues, E. P. (n.d.). Projeção de um cenário econômico e de desmatamento para a Amazônia Legal brasileira entre 2006 e 2030. *Nova Economia*, 26, 585-621. [https://www.scielo.br/j/neco/a/ZCxtXxGQ9Pvd3c7H9Gv4zxR/?format=html](https://www.scielo.br/j/neco/a/ZCxtXxGQ9Pvd3c7H9Gv4zxR/?format=htmlDiniz, C. C. (1995). A dinâmica regional recente da economia brasileira e suas perspectivas. Rio de Janeiro: IPEA. (Texto para discussão, 375). https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1741/1/td_0375.pdf)
- Diniz, M. B., Oliveira Junior, J. N., Trompieri Neto, N., & Diniz, M. J. T. (2009). Causas do desmatamento da Amazônia: uma aplicação do teste de causalidade de Granger acerca das principais fontes de desmatamento nos municípios da Amazônia Legal brasileira. *Nova Economia*, 19(1), 121-151. <https://doi.org/10.1590/S0103-63512009000100006>
- Domingues, M. S., Bermann, C., & Manfredini, S. (2014). A produção de soja no Brasil e sua relação com o desmatamento na Amazônia. *Revista Presença Geográfica*, 1(1). <https://www.scielo.br/j/pg/a/QFdwLsQPzQvN5hG6MM5VQPR/>
- Duailibe, M. D. (2010). *A informalidade das relações de emprego e a atuação da inspeção do trabalho: uma análise do Maranhão contemporâneo*. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Maranhão, São Luís. <https://tedeabc.ufma.br/jspui/bitstream/tede/839/1/MONICA%20DAMOUS%20DUAILIBE.pdf>
- Ferraz, C. M. (2000). *Measuring the causes of deforestation, agriculture, land conversion and cattle ranching growth: evidence from the Amazon*. IPEA, Draft. https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1518/1/td_0215.pdf
- Foltran Fernandes, T., Santos, J. A., Marjotta-Maistro, M. C. & Montebello, A. E. S. (2023). Mercado interno brasileiro de carne bovina (2011-2019). *GeSec: Revista de Gestão e Secretariado*, 14(5). <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i5.2149>
- Francisco, E. R. (2010). *Indicadores de renda baseados em consumo de energia elétrica: abordagens domiciliar e regional na perspectiva da estatística espacial*. (Tese de Doutorado). <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12139/tde-29042010-101642/>
- Geist, H., & Lambin, E. (2001). *What drives tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence*. Louvain-la-Neuve, Belgium: LUCC International Project Office. <https://citeserx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=6750e2fcb67919558e17583adc2b986be39be0af>

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2006). *Censo Agropecuário*. <http://ipeadata.gov.br/Default.aspx>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). *Censo Demográfico*. <http://ipeadata.gov.br/Default.aspx>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). *Pesquisa de Produção Agrícola e de Produção Agropecuária*. <http://ipeadata.gov.br/Default.aspx>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2012). *Censo Agropecuário 2006: Segunda Apuração. Rio de Janeiro*. https://ftp.ibge.gov.br/Censo_Agropecuario/Censo_Agropecuario_2006/Segunda_Apuracao/censoagro2006_2apuracao.pdf
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017). *Censo Agropecuário*. <http://ipeadata.gov.br/Default.aspx>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2017). *Censo Agropecuário*. <https://censoagro2017.ibge.gov.br/>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Censo Demográfico*. <http://ipeadata.gov.br/Default.aspx>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Pesquisa de Produção Agrícola e de Produção Agropecuária*. <http://ipeadata.gov.br/Default.aspx>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019). *Biomassas e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000*. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101676>
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (n.d.). <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (n.d.). *Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomassas*. <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., & Neter, J. (2004). *Applied Linear Regression Models* (4th Edition).
- Loureiro V. (2012). A Amazônia no século 21: Novas formas de desenvolvimento. *Revista Direito GV*, 8(2), 527-552. <https://doi.org/10.1590/S1808-24322012000200006>
- MapBiomassas. (2021). *Amazônia já perdeu 17% de sua cobertura nativa*. <https://brasil.mapbiomas.org/2023/08/09/amazonia-ja-perdeu-17-de-sua-cobertura-nativa/>
- MapBiomassas. (n.d.). *Coleção 5 de Mapas de Cobertura e Uso do Solo da Amazônia*. <https://amazonia.mapbiomas.org>
- Margulis, S. (2004). *Causas do desmatamento da Amazônia brasileira*. Brasília: Banco Mundial. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/758171468768828889/pdf/277150PAPER0wbwp0no1022.pdf>
- Mesquita, J. C. (2014). *Estratégias de controle social de unidades de conservação: Desafios para uma gestão democrática e participativa*. (Dissertação de mestrado, INPA, Manaus, AM).

- Ministério da Integração Nacional (MIN); Ministério do Meio Ambiente (MMA) (2004). *Plano Amazônia Sustentável – PAS, Diagnóstico e Estratégia* (v. 1). Brasília. <https://livroaberto.ibict.br/handle/1/753>.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis* (5th Edition).
- Aurélio Neto, O. (2018). O Brasil no mercado mundial de carne bovina: análise da competitividade da produção e da logística de exportação brasileira. *Ateliê Geográfico*, 12(2), 183-204. <https://doi.org/10.5216/ag.v12i2.47471>
- Nobre, I., & Nobre, C. (2019). Projeto ‘Amazônia 4.0’: Definindo uma terceira via para a Amazônia. *Futuribles*, (2), 7-20.
- Oliveira, A. U. (2005). BR-163 Cuiabá-Santarém: geopolítica, grilagem, violência e mundialização. In M. Torres (Org.). *Amazônia revelada: os descaminhos ao longo da BR-163*. Brasília: CNPq. <https://centrodememoria.cnpq.br/amazonia%20revelada.pdf>
- Oviedo, A., Lima, W. P., & Augusto, C. (2019). O arco do desmatamento e suas flechas. Instituto Socioambiental, São Paulo. <https://uc.socioambiental.org/pt-br/arp/1378>
- Piketty, M.-G., Veiga, J. B., Tourrand, J.-F., Alves, A. M., Pocard-Chapuis, R., Thales, M. C., Houstiou, N., & Venturieri, A. (2004). Por que a pecuária está avançando na Amazônia Oriental? In D. Sayago, J.-F. Tourrand, & M. Burzstyn (Orgs.). *Amazônia: cenas e cenários*. Brasília: Universidade de Brasília. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/406254?locale=es>
- Puty, C., Almeida, O. T., & Rivero, S. L. M. (2007). A produção mecanizada de grãos e seu impacto no desmatamento amazônico. *Ciência Hoje*, 40, 44-48. <https://cienciahoje.org.br/artigo/a-producao-mecanizada-de-graos-e-seu-impacto-no-desmatamento-amazonico/>
- Reis, E.; Margullis, S. (1991). *Perspectivas econômicas do desflorestamento da Amazônia*. Rio de Janeiro: IPEA. repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1518/1/td_0215.pdf
- Reis, E. (1996). Os impactos do pólo siderúrgico de Carajás no desflorestamento da Amazônia brasileira. *A Economia Brasileira em Perspectiva*, 2, 691-715. Rio de Janeiro: IPEA. https://seer.cgee.org.br/parcerias_estrategicas/article/view/191/185
- Rivero, S., Almeida, O., Ávila, S., & Oliveira, W. (2009). Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Nova Economia*, 19(1), 41-66. <https://doi.org/10.1590/S0103-63512009000100003>
- Salomão, C. S., Stabile, M. C. C., A., Souza, L., Alencar, A., Castro, I., Guyot, C & Moutinho, P. (2021). Amazônia em chamás 8: desmatamento, fogo e pecuária em terras públicas. *Nota técnica*, 8, 7-8. <https://www.institutoiepes.org.br/amazonia-em-chamas-desmatamento-fogo-e-pecuaria-em-terras-publicas/>
- Santos, R., & Ribeiro, O. S. (2023). *Como a ditadura usou bancos, estradas e decretos para ocupar a Amazônia*. <https://www.amazonialatitude.com/2023/02/08/como-a-ditadura-usou-bancos-estradas-e-decretos-para-ocupar-a-amazonia/>

- Silva, I. C. da, & Rodríguez, N. L. (2021). Formação territorial, economia e projetos de integração regional da Pan-Amazônia. *Revista Tempo do Mundo*, (27), 19-43. <https://doi.org/10.38116/rtn27art1>
- Souza, M. (2015). *Amazônia indígena*. Rio de Janeiro: Editora Record. <https://www.estantevirtual.com.br/livros/marcio-souza/amazonia-indigena/3841547350>
- Tarbox, N. (2020). *Examining the History of Poverty in the Amazon Rainforest*. The Borgen Project. <https://borgenproject.org/examining-the-history-of-poverty-in-the-amazon-rainforest/>
- Vasconcellos, M., Sobrinho, Vasconcellos, A. M. A., Andrade, H. C. P., & Nebot, C. P. (Orgs.). (2018). *Gestão social & território: Práticas participativas para desenvolvimento territorial* (Vol. 500). Edunama.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores não têm conflitos de interesse a declarar.

DISPONIBILIDADE DOS DADOS

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo está disponível mediante solicitação ao autor correspondente Henrique Parizotto Lacaz Martins. O conjunto de dados não está publicamente disponível devido a escolha dos autores.

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Henrique Parizotto Lacaz Martins: Conceitualização, Curadoria de dados, Análise formal, Aquisição de financiamento, Investigação, Metodologia, Administração de projetos, Recursos, Programas, Validação, Visualização, Redação – rascunho original e Redação – revisão e edição.

Eduardo de Rezende Francisco: Conceitualização, Metodologia, Administração de projetos, Recursos, Programas, Supervisão, Validação e Redação – revisão e edição