

EFEITOS DA PRODUTIVIDADE PECUÁRIA E DA DEGRADAÇÃO DE PASTAGENS SOBRE O DESMATAMENTO: UMA ANÁLISE ESPACIAL PARA O BRASIL

EFFECTS OF CATTLE PRODUCTIVITY AND PASTURE DEGRADATION ON DEFORESTATION: A SPATIAL ANALYSIS FOR BRAZIL

EFFECTOS DE LA PRODUCTIVIDAD GANADERA Y LA DEGRADACIÓN DE LOS PASTOS SOBRE LA DEFORESTACIÓN: UN ANÁLISIS ESPACIAL PARA BRASIL

Walberti Saith

 <https://orcid.org/0000-0001-8407-4223>
Universidade Federal de Rondônia - UNIR
e-mail: walberti@unir.br

Anderson Pereira Rocha

 <https://orcid.org/0000-0001-5616-263X>
Instituto Estadual de Desenvolvimento da Educação Profissional – IDEPRO
e-mail: andersonpvh12@gmail.com

Submissão em: 03/12/2025

Aceito em: 07/01/2026

RESUMO

O estudo analisou a relação entre a pecuária bovina, a degradação de pastagens e o desmatamento no Brasil entre 2002 e 2023, utilizando ferramentas de estatística espacial e modelos em painel. O estudo evidencia que a pecuária brasileira apresenta forte heterogeneidade regional, refletida tanto na produtividade quanto nos impactos ambientais. Entre 2002 e 2023, observou-se que regiões do Sul e Sudeste consolidaram sistemas mais intensivos, com um número maior de cabeças de boi por hectare e menores níveis de degradação de pastagens, enquanto o Norte e o Nordeste mantiveram padrões extensivos, associados à baixa produtividade e maior pressão ambiental. A análise espacial revelou que tanto a produtividade pecuária quanto a degradação de pastagens e o desmatamento apresentam autocorrelação positiva e significativa, formando clusters regionais que reforçam desigualdades na dinâmica territorial da atividade. Os modelos econôméticos confirmaram que a produtividade da pecuária, possui efeito de diminuir o desmatamento. Em contrapartida, as áreas de pastagens severamente degradadas mostraram-se positivamente relacionadas ao desmatamento, evidenciando um ciclo de substituição de pastagens degradadas por novas áreas de pastos criadas em áreas de floresta. Já as áreas moderadamente degradadas não apresentaram efeito estatisticamente significativo, sugerindo que ainda mantêm certa capacidade produtiva. Essas conclusões indicam que a recuperação de pastagens degradadas e a disseminação de tecnologias de intensificação sustentável são estratégias essenciais para conciliar o aumento da produção pecuária com a conservação ambiental.

Palavras-chave: Pecuária, Degradação de pastagens, Análise espacial, Mudança no uso da terra

ABSTRACT

The study analyzed the relationship between cattle ranching, pasture degradation, and deforestation in Brazil from 2002 to 2023, using spatial statistics tools and panel data models. The study highlights that Brazilian cattle ranching exhibits strong regional heterogeneity, reflected both in productivity and environmental impacts. Between 2002 and 2023, regions in the South and Southeast developed more intensive systems, with higher cattle density per hectare and lower levels of pasture degradation, while the North and Northeast maintained extensive systems, associated with lower productivity and greater environmental pressure. The spatial analysis revealed that both cattle productivity and pasture degradation, as well as deforestation, exhibit positive and significant autocorrelation, forming regional clusters that reinforce territorial inequalities in the dynamics of the activity. Econometric models confirmed that cattle productivity has an effect of reducing deforestation. In contrast, areas of severely degraded pastures were positively related to deforestation, indicating a cycle of replacing degraded pastures with new pasture areas created in forested regions. Moderately degraded areas, however, did not show statistically significant effects, suggesting that they still maintain some productive capacity. These conclusions suggest that the recovery of degraded pastures and the dissemination of sustainable intensification technologies are essential strategies to reconcile increased cattle production with environmental conservation.

Keywords: Cattle farming, Pasture degradation, Spatial analysis, Land use change

RESUMEN

Este estudio analizó la relación entre la ganadería, la degradación de pasturas y la deforestación en Brasil entre 2002 y 2023, utilizando herramientas de estadística espacial y modelos de panel. El estudio muestra que la ganadería brasileña exhibe una fuerte heterogeneidad regional, reflejada tanto en la productividad como en los impactos ambientales. Entre 2002 y 2023, se observó que las regiones del Sur y Sudeste consolidaron sistemas más intensivos, con un mayor número de ganado por hectárea y menores niveles de degradación de pasturas, mientras que el Norte y el Nordeste mantuvieron patrones extensivos, asociados con baja productividad y mayor presión ambiental. El análisis espacial reveló que tanto la productividad ganadera como la degradación de pasturas y la deforestación muestran una autocorrelación positiva significativa, formando clústeres regionales que refuerzan las desigualdades en la dinámica territorial de la actividad. Los modelos econométricos confirmaron que la productividad ganadera tiene el efecto de reducir la deforestación. Por el contrario, las áreas de pastura severamente degradadas mostraron una correlación positiva con la deforestación, evidenciando un ciclo de reemplazo de pasturas degradadas con nuevas áreas de pastura creadas en áreas forestadas. Sin embargo, las áreas moderadamente degradadas no mostraron un efecto estadísticamente significativo, lo que sugiere que aún conservan cierta capacidad productiva. Estas conclusiones indican que la recuperación de pasturas degradadas y la difusión de tecnologías de intensificación sostenible son estrategias esenciales para conciliar el aumento de la producción ganadera con la conservación del medio ambiente.

Palabras clave: Ganadería, Degradación de pastizales, Análisis espacial, Cambio de uso del suelo

1 INTRODUÇÃO

A expansão da pecuária bovina no Brasil tem sido um dos principais impulsionadores do desenvolvimento econômico do país, especialmente nas últimas décadas (Silveira et al., 2022, p. 2). O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de carne bovina do mundo, e a pecuária bovina ocupa uma grande área do país, especialmente nas regiões Centro-Oeste, Norte e Sul (Mcmanus et al., 2016, p. 1; Pereira et al., 2018, p. 3; Maranhão et al., 2019, p. 1). Essa expansão tem sido caracterizada pela pecuária extensiva de baixa produtividade, que tem sido associada à pobreza rural, ao desmatamento e às emissões de gases de efeito estufa (Gil et al., 2018, p. 1).

As pastagens brasileiras, utilizadas para alimentação do gado, vêm sofrendo um processo acelerado de degradação devido ao manejo inadequado, à intensificação do uso da terra e à pressão por mais áreas de produção. O uso intensivo de pastagens, muitas vezes sem práticas adequadas de conservação sustentável, tem levado à perda da fertilidade do solo, à erosão e à redução da biodiversidade local (Galdino et al., 2015, p. 1). Além disso, a expansão das áreas de pastagens também tem sido associada ao desmatamento de biomas importantes, como a Amazônia e o Cerrado, agravando os impactos ambientais (Galdino et al., 2015, p. 11; Cherubin et al., 2021, p. 4).

Por outro lado, a degradação das pastagens representa um desafio para a sustentabilidade da pecuária bovina no Brasil. Pastagens degradadas não apenas resultam em menores taxas de produtividade, como também contribuem para o aumento das emissões de gases de efeito estufa, agravando as mudanças climáticas (Gil et al., 2018, p. 3; Pereira et al., 2018, p. 11). Nunes et al. (2022, p. 2) também destacam os impactos na biodiversidade, nos estoques de carbono e na qualidade do solo. Diante desse cenário, há uma pressão crescente pela busca de um modelo de produção mais sustentável que integre a recuperação de pastagens degradadas, a adoção de práticas de manejo mais eficientes e a preservação dos ecossistemas naturais.

A distribuição espacial dos rebanhos bovinos e das pastagens degradadas fornece dados cruciais para o planejamento ambiental, auxiliando na identificação das áreas mais vulneráveis à degradação e à expansão descontrolada da atividade pecuária. Isso permite a formulação de políticas públicas que incentivem o uso sustentável do solo, promovam a recuperação de pastagens degradadas e evitem o desmatamento de áreas sensíveis, como florestas e biomas importantes para a biodiversidade (Cohn et al., 2014, p. 1; Gil et al., 2018, p. 1).

Estudar como o número de bovinos e a unidade animal por hectare (UA/ha) afetam a degradação das pastagens ao longo do tempo e do espaço é importante para a implementação de políticas ambientais que gerem uma pecuária mais sustentável. Isso é crucial, pois evita a sobrecarga dos recursos naturais e contribui para o aumento da eficiência, por meio de práticas como o uso de tecnologias para intensificação sustentável da produção. Além disso, é essencial para o desenvolvimento de estratégias de pastoreio sustentáveis, a proteção da biodiversidade e a manutenção da saúde dos ecossistemas em paisagens pastoris (Tóth et al., 2016, p. 1; Malek et al., 2024, p. 3).

A expansão da pecuária bovina no Brasil tem desempenhado papel central na ocupação do território e no crescimento da produção agropecuária, mas também está associada a desafios ambientais significativos, como o desmatamento e a degradação de pastagens. Compreender a relação entre produtividade pecuária, degradação e uso

do solo é fundamental para formular estratégias que conciliam produção e sustentabilidade. Este estudo contribui para a literatura ao combinar análise espacial e modelos econométricos para identificar padrões regionais de produtividade e degradação e seus impactos sobre o desmatamento.

O objetivo geral deste estudo é analisar a relação entre produtividade pecuária, degradação de pastagens e desmatamento no Brasil, considerando a dimensão espacial e temporal do fenômeno. Especificamente, busca-se: (i) mapear a distribuição espacial da produtividade pecuária (cabeças/ha) e das áreas de pastagens degradadas entre 2002 e 2023; (ii) identificar clusters de alta e baixa produtividade e degradação; e (iii) estimar, por meio de modelos econométricos, o impacto da produtividade e da degradação sobre o desmatamento, a fim de avaliar se a intensificação produtiva exerce efeito de redução do desmatamento e se a degradação contribui para novas aberturas de áreas de pastagens em regiões de floresta.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pecuária

De acordo com Freitas e Barros (2021, p. 2), o avanço da pecuária brasileira pode ser dividido em dois grandes segmentos: o aumento da produção com um regime exclusivamente baseado na alimentação por pastagem, no modelo extensivo, que foca principalmente na expansão por meio de áreas anteriormente não ocupadas; e um segundo segmento focado no modelo intensivo, que utiliza pastagens combinadas com suplementação nutricional, confinamento e manejo adequado, garantindo maior produtividade animal.

A pecuária brasileira tem sido historicamente caracterizada pela expansão para áreas de vegetação nativa, especialmente na Amazônia e no Cerrado. Entre 1985 e 2020, houve uma redução de 44,53 milhões de hectares de floresta amazônica, enquanto as pastagens aumentaram em 38,10 milhões de hectares (Silveira *et al.*, 2022, p. 6). Essa expansão resultou em grandes extensões de áreas de pastagem no bioma Amazônia, gerando externalidades ambientais na região (Freitas; Barros, 2021, p. 3). Esse sistema de produção, por consequência, apresenta uma baixa densidade de animais por hectare, uma vez que é predominantemente extensiva, utilizando grandes áreas de terra.

De acordo com Luna e Klein (2023, p. 12), o modelo de pecuária brasileiro apresenta um baixo nível de ocupação, uma vez que cerca de 40% do rebanho de gado é composto por propriedades com menos de 10 animais. No entanto, propriedades com mais de 500 animais controlam 44% do rebanho nacional. Essa distribuição também reflete o rebanho médio de cada estado, com uma discrepância significativa entre os estados de Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul, variando de 356 cabeças para 44, respectivamente.

A eficiência da pecuária é bastante heterogênea no Brasil, sendo que, em regiões como a Amazônia, ainda é considerada baixa, principalmente devido às áreas de pastagem degradada causadas por um manejo inadequado, caracterizado por pouco ou nenhum ajuste na lotação animal (Dias-Filho, 2020, p. 29). Além disso, propriedades com grandes áreas de pastagem degradada estão associadas a níveis mais elevados de ineficiência técnica (Feltran-Barbieri; Féres, 2021, p. 1). Áreas de pastagem degradada que foram recuperadas têm o potencial de reduzir ou compensar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) resultantes do aumento da produção pecuária no país (Araújo, 2024, p. 151).

A degradação das pastagens tem um impacto significativo na pecuária brasileira, afetando a produtividade e a sustentabilidade do setor. Pereira *et al.* (2018, p. 1) mostram que as pastagens degradadas no Cerrado brasileiro fazem com que a capacidade de suporte do rebanho bovino caia para menos de 1,0 UA/ha (Pereira *et al.*, 2018, p. 1). Apesar dos desafios impostos pela degradação, a produção bovina no Brasil se expandiu significativamente nas últimas décadas, especialmente em municípios do bioma Amazônia (Simon; Garagorry, 2005).

A recuperação das pastagens degradadas surge como uma estratégia promissora para aumentar a produtividade sem a necessidade de expandir as áreas agrícolas. Estima-se que a recuperação de 12 milhões de hectares de pastagens degradadas poderia gerar uma produção adicional de 17,7 milhões de cabeças de gado (Feltran-Barbieri; Féres, 2021, p. 8). A taxa média de lotação no Brasil, em 2014/2015, foi de 0,97 unidade animal por hectare, com potencial para intensificação para até 3,60 unidades animais por hectare (Arantes *et al.*, 2018, p. 4).

Da Silva *et al.* (2013, p. 7) mostram que, dependendo da altura da pastagem e da estação do ano, observam-se diferentes taxas de lotação, que podem variar entre 3 (UA/ha) e 8,7 (UA/ha), no período do verão (Dezembro-Março). Da mesma forma, Barbero *et al.* (2015, p. 6) indicam que a qualidade e a altura da pastagem afetam a taxa de lotação animal, que pode variar entre 3,91 (UA/ha) e 7,11 (UA/ha).

Ao considerar a taxa média de lotação no Brasil, Barbero *et al.* (2021, p. 6) mostram que ela pode variar de 1,4 a 1,8 (UA/ha), destacando que a produtividade animal está intrinsecamente ligada ao manejo adequado dos animais e da forragem, uma vez que o ganho de peso animal depende diretamente da quantidade e da qualidade do alimento ingerido (pastagem).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia utilizada para alcançar os objetivos propostos neste estudo será a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), que consiste em um conjunto de estatísticas que têm como objetivo descrever a distribuição espacial, os padrões de associação espacial, verificar a existência de diferentes regimes espaciais e identificar observações atípicas (Perobelli *et al.*, 2007, p. 4).

A AEDE requer indicadores que apontem a existência de autocorrelação espacial. Inserir dados em um mapa e atribuir valores que denotam a intensidade das variáveis pode ser uma forma inicial de sugerir padrões. No entanto, a simples observação de valores distribuídos geograficamente pode levar a erros. Assim, uma maneira de contornar esse problema é utilizar a autocorrelação espacial, que permite identificar a existência de um padrão na agropecuária.

Primeiro, verificamos a dependência espacial global nos dados. A autocorrelação espacial mede o grau em que os valores de uma variável em uma determinada localização estão relacionados com os valores em suas vizinhanças. A estatística de autocorrelação espacial mais comum é o Índice de Moran (*I* de Moran), que indica se os valores de uma variável estão agrupados ou dispersos no espaço. De acordo com Pebesma e Bivand (2023, p. 214), a formulação do Índice de Moran é dada por:

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

onde *n* é o número de unidades espaciais; *y_i* é o valor da variável de interesse na unidade espacial *i*; *ȳ* é a média da variável de interesse; *w_{ij}* é o peso que representa

a relação espacial entre as unidades i e j . Se I for estatisticamente significativo e maior que zero, isso indica que existe um agrupamento espacial positivo (similaridade entre regiões vizinhas). Se I for estatisticamente significativo e menor que zero, há um padrão de dispersão.

Para uma análise mais detalhada da estrutura espacial, utilizamos os Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA), conforme descrito por Anselin (1995, p. 2). O LISA permite identificar padrões locais de autocorrelação, destacando regiões que se comportam de maneira diferente da média global. Essa análise é crucial quando se deseja compreender como as dependências espaciais variam de uma região para outra. O índice LISA para a unidade espacial i é calculado da seguinte forma:

$$LISA = w_i (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y}) \quad (2)$$

onde w_{ij} é o peso que mede a relação espacial entre a unidade i e seus vizinhos, y_i e y_j são os valores da variável de interesse nas unidades i e j , respectivamente. Os resultados do LISA são visualizados por meio de mapas de agrupamentos espaciais (*hotspot*), que permitem identificar regiões com altos e baixos valores de uma variável, além de verificar possíveis padrões de dependência espacial local.

Cada valor de \bar{y} é mantido fixo, enquanto os demais valores y_i e y_j são permutados aleatoriamente para gerar uma distribuição de referência para a estatística, o que resulta em um *pseudo* p-valor para cada localidade. Esse p-valor é utilizado para avaliar a significância estatística. O LISA é normalmente interpretado pela combinação da significância estatística com a posição das observações no diagrama de dispersão de Moran, permitindo classificar as localidades significativas em agrupamentos espaciais: Alto-Alto (AA) e Baixo-Baixo (BB), ou como *outliers* espaciais Alto-Baixo (AB) e Baixo-Alto (BA). É importante enfatizar que os termos "alto" e "baixo" referem-se à média da variável e não devem ser interpretados de forma absoluta.

As estimativas estatísticas apresentadas nas Equações (1) e (2), juntamente com os respectivos resultados mapeados espaciais, foram realizadas utilizando o R Core Team (2025). Especificamente, o pacote *sp* (Pebesma; Bivand, 2005, p. 1) foi empregado para visualização, seleção e processamento de dados espaciais. As matrizes de pesos espaciais e as estimativas dos modelos foram obtidas por meio do pacote *rgeoda* (Li; Anselin, 2025), desenvolvido para análise de dados espaciais. Para a aquisição de dados geográficos oficiais do Brasil, incluindo limites de municípios e estados, utilizou-se o pacote *geobr* (Pereira; Gonçalves, 2024). A manipulação dos *shapefiles* foi realizada com o pacote *sf* (Pebesma, 2018, p. 1), que facilita o tratamento de objetos geométricos como pontos, linhas e polígonos em uma estrutura de dados simplificada.

3.1 Modelo

A utilização de dados em painel permite analisar as mudanças ao longo do tempo e do espaço, oferecendo ganhos de eficiência estatística e a possibilidade de controlar por heterogeneidades não observadas. Segundo Croissant e Millo (2008, p. 2), a estimativa de modelos em painel pode ser representada matematicamente da seguinte forma:

$$y_{it} = \alpha + \beta X_{it} + u_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

em que y_{it} representa o desmatamento no município i no ano t ; X_{it} é o vetor de variáveis explicativas que inclui a produtividade medida por cabeças/ha, áreas de pastagem severamente degradadas e áreas de pastagem moderadamente degradadas; u_i corresponde aos efeitos fixos municipais, que captam características não observadas e invariantes no tempo de cada município, como condições edafoclimáticas e localização geográfica; λ_t refere-se aos efeitos fixos temporais, que controlam por choques comuns a todos os municípios em um dado período, como mudanças macroeconômicas, políticas ambientais ou flutuações de mercado; e ε_{it} é o termo de erro idiossincrático.

Na estimação dos modelos, pode ser necessário utilizar erros-padrão robustos, isso porque em dados de painel aplicados a municípios, é comum a presença de heterocedasticidade e autocorrelação serial. Por essa razão, foram utilizados erros robustos clusterizados por município, de modo a garantir maior confiabilidade nos testes de hipótese. A estimação dos modelos em painel foi realizada no programa R por meio do pacote *plm* (Croissant; Millo, 2008, p. 2), que permite lidar com dados organizados em unidades espaciais observadas ao longo do tempo.

3.2 Fonte de dados

O desmatamento medido em hectares foi coletado a partir da base de dados do MapBiomas (2025), coleção 9, que disponibiliza informações anuais de uso e cobertura da terra para todo o território brasileiro. Foram utilizados os dados agregados em nível municipal para o período de 2002 a 2023, o que permitiu acompanhar a evolução espacial e temporal da perda de vegetação nativa. A série histórica do MapBiomas é construída a partir do processamento de imagens de satélite *Landsat*, harmonizadas e classificadas por meio de algoritmos de aprendizado de máquina, o que assegura comparabilidade temporal e consistência metodológica.

A área de pastagem medida em hectares foi obtida a partir do processamento de imagens de satélite *Landsat* disponibilizadas pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG (2025). Os dados contemplam o período de 2002 a 2023 e foram agregados em nível municipal para todo o território brasileiro. As áreas de pastagem são classificadas de acordo com seu estado de conservação em três categorias: pastagem sem degradação, com degradação moderada e com degradação severa. Essa classificação permite analisar a qualidade e o uso da terra ao longo do tempo, com base em uma metodologia padronizada e espacialmente comparável.

O tamanho do rebanho bovino foi obtido a partir da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM), realizada anualmente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025). A série histórica abrange o período de 2002 a 2023, com dados reportados em número de cabeças de boi para cada um dos 5.570 municípios brasileiros. A variável cabeças/ha foi calculada a partir da razão entre o total de cabeças bovinas e a área total de pastagem em cada município, permitindo avaliar a intensidade de uso das áreas destinadas à pecuária ao longo do tempo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Distribuição Espacial

O rebanho bovino brasileiro era de 185 milhões de cabeças em 2002 e aumentou para 238,6 milhões em 2023, o que representa um crescimento de 28,7%.

Essa expansão, contudo, não ocorreu de forma homogênea entre as regiões, sendo mais significativa nos biomas Amazônia e Cerrado. O rebanho bovino brasileiro está concentrado principalmente nas regiões Centro-Oeste e Norte, onde se localizam esses dois biomas. No Cerrado, o rebanho passou de 67,5 milhões de cabeças em 2002 para 76,5 milhões em 2023. Já na Amazônia, o rebanho saltou de 40,2 milhões em 2002 para 79,3 milhões em 2023, o que representa um expressivo aumento de 97,3%.

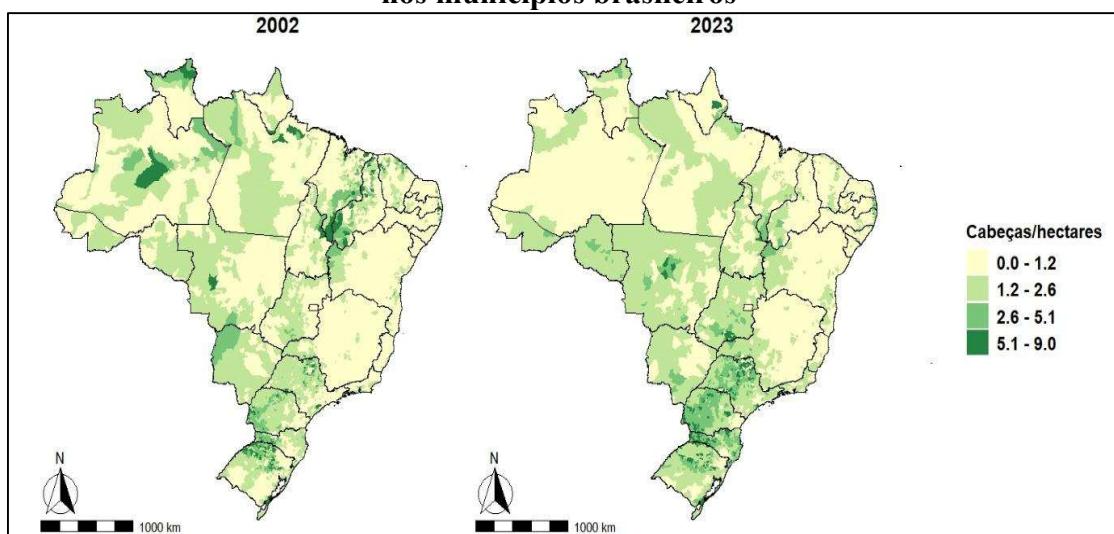
Há uma concentração do rebanho bovino em estados como Mato Grosso, que apresentou o maior efetivo em 2023 (34 milhões de cabeças), seguido pelos estados do Pará (25 milhões) e de Goiás (23,7 milhões). Do total do rebanho brasileiro, menos de 10% dos bovinos são terminados em confinamento, sendo a maioria criada em sistemas extensivos de pastagem (Jank et al., 2014, p. 1). Como resultado do aumento do rebanho, verificou-se também uma expansão das áreas de pastagem.

As áreas de pastagem apresentaram mudanças significativas no Brasil entre 2002 e 2023, acompanhando a evolução do rebanho bovino. No período, a área de pastagens passou de 172,3 milhões de hectares em 2002 para 179,4 milhões de hectares em 2023, o que representa um crescimento de 4,18%. Contudo, esse aumento geral não revela as dinâmicas de mudanças locais, que podem indicar tanto expansão quanto retração de áreas em diferentes regiões do país.

A mudança mais significativa no período foi a pequena redução das áreas de pastagem no bioma Cerrado (-2,43%) e o expressivo aumento nos municípios pertencentes ao bioma Amazônico (52,3%). Essa transformação torna-se ainda mais evidente quando se observa o crescimento nos seus estados, sendo os maiores incrementos registrados no Amapá (254,7%), Amazonas (237,6%), Roraima (112,8%) e Acre (85,3%), todos localizados no bioma Amazônia.

A densidade de bovinos por hectare no Brasil também variou de forma heterogênea ao longo do tempo, com algumas regiões conseguindo aumentar o rebanho acima da taxa de crescimento das áreas de pastagem. Esse resultado pode ser amplamente atribuído a técnicas de manejo aprimoradas de pastagens, à alimentação suplementar e à intensificação da pecuária. A Figura 1 apresenta a distribuição espacial da variável cabeças por hectare no Brasil.

Figura 1. Distribuição espacial de cabeças bovinas por hectare em 2002 e 2023 nos municípios brasileiros

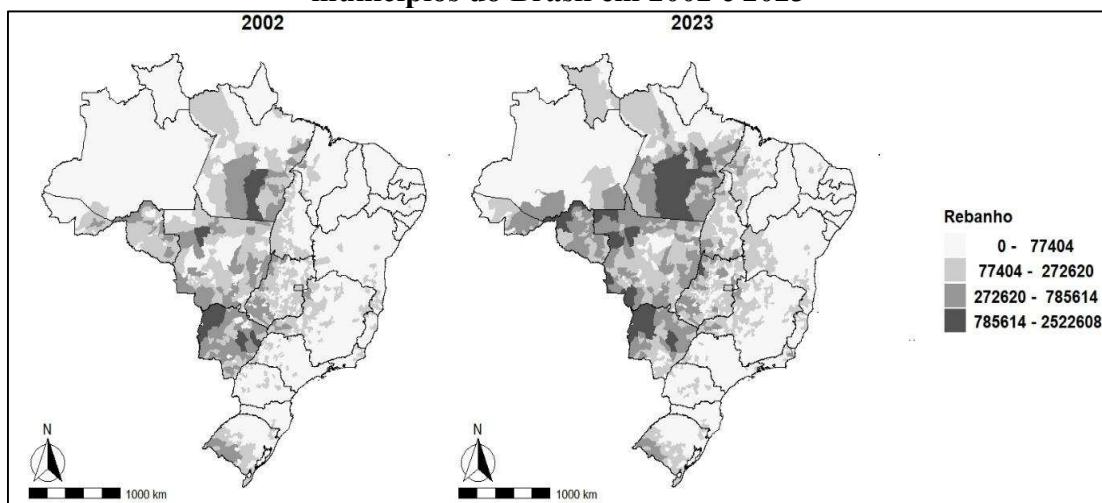


Fonte: Elaboração própria.

Nota: Os intervalos apresentados nos mapas foram determinados pelo método de agrupamento *k*-médias, utilizando quatro classes.

Como se pode observar, embora o número de bovinos tenha aumentado (Figura 1 A), a área necessária para mantê-los diminuiu em algumas regiões (Figura 1 B), refletindo um ganho de eficiência na produção. Essa pecuária mais eficiente se traduz em um aumento da média de cabeças/ha, que passou de 1,46 em 2002 para 1,74 em 2023. Esse crescimento é relevante, pois indica que o Brasil pode aumentar sua produção de carne bovina sem expandir as áreas de pastagem, ou seja, uma pecuária mais sustentável.

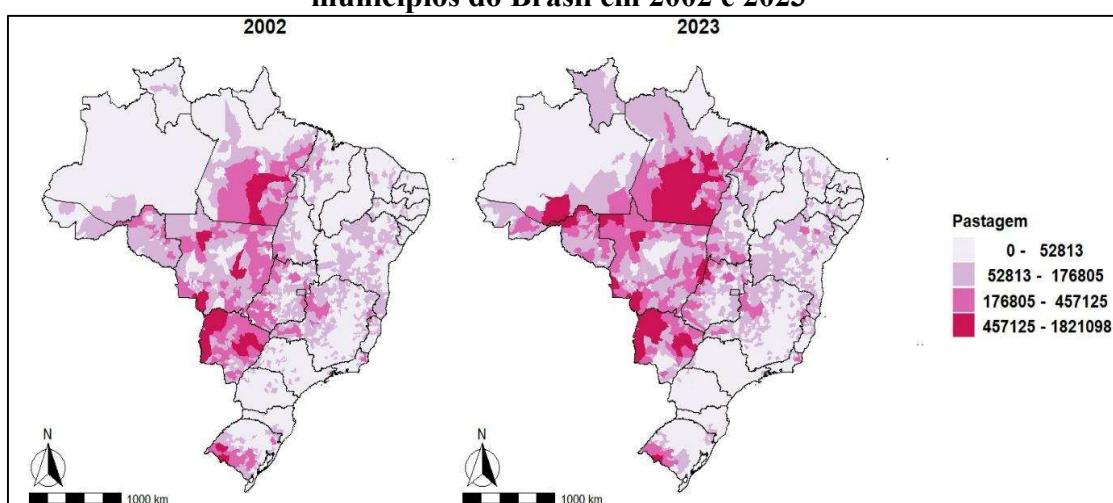
Figura 1 A. Distribuição espacial do rebanho bovino (número de cabeças) nos municípios do Brasil em 2002 e 2023



Fonte: Elaboração própria.

Nota: Os intervalos apresentados *nos mapas* foram determinados pelo método de agrupamento k-médias, utilizando *quatro classes*.

Figura 1 B. Distribuição espacial das áreas totais de pastagens em hectares nos municípios do Brasil em 2002 e 2023



Fonte: Elaboração própria.

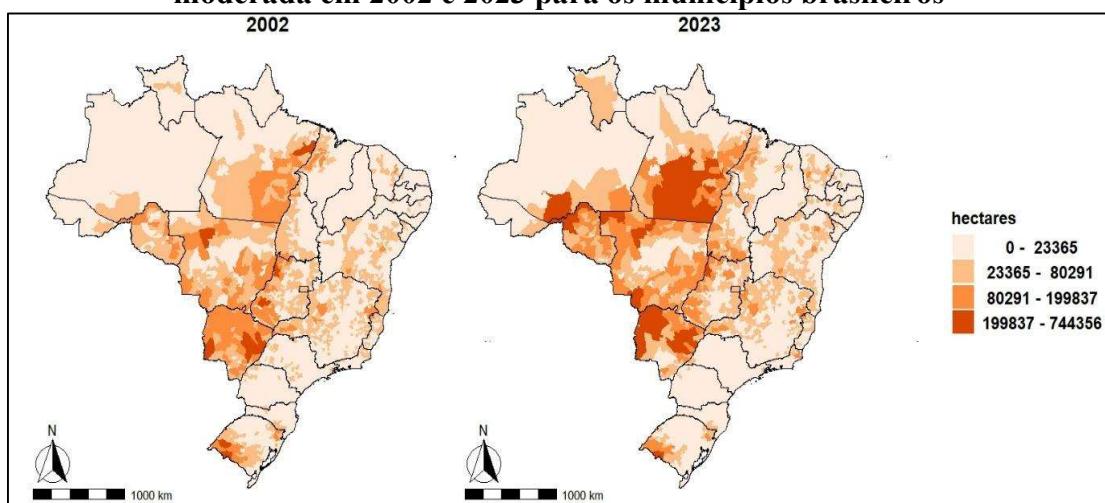
Nota: Os intervalos apresentados *nos mapas* foram determinados pelo método de agrupamento k-médias, utilizando *quatro classes*

No entanto, esse aumento de eficiência não ocorreu de forma uniforme em todas as regiões do Brasil. Por exemplo, enquanto os municípios do Cerrado passaram de uma média de 1,50 UA/ha em 2002 para 1,63 em 2023, os municípios da

Amazônia evoluíram de 1,25 para 1,30 no mesmo período. Em 2023, entre os estados, as maiores densidades de bovinos estão no Sul do Brasil: Santa Catarina (3,8), Paraná (3,3) e São Paulo (2,7), todas bem acima da média nacional. Por outro lado, as menores densidades foram observadas nos estados do Nordeste e Norte, como Amazonas (0,75), Bahia (0,80) e Sergipe (0,90).

Uma das principais consequências do aumento da produção bovina em áreas de pastagem limitadas é a degradação dessas pastagens, o que pode resultar em uma produção pecuária menos eficiente. Entre o total de áreas de pastagem do Brasil, 71,4 milhões de hectares estavam moderadamente degradados em 2002, passando para 75,7 milhões em 2003 (aumento de 5,95%), o que corresponde a 42% do total das áreas de pastagem no país. A Figura 2 apresenta as áreas de pastagem moderadamente degradadas no Brasil.

Figura 2. Distribuição espacial das áreas de pastagem com degradação moderada em 2002 e 2023 para os municípios brasileiros



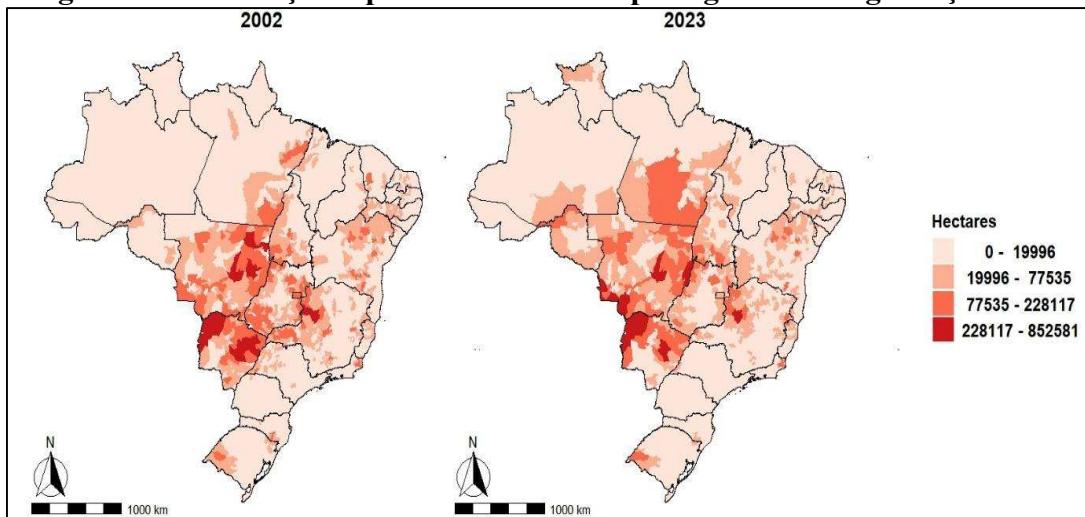
Fonte: Elaboração própria.

Nota: Os intervalos apresentados nos mapas foram determinados pelo método de agrupamento *k*-médias, utilizando quatro classes.

Nos municípios do Cerrado, 22,6 milhões de hectares estavam moderadamente degradados em 2002, com um pequeno aumento para 23,4 milhões de hectares em 2023. No mesmo período, os municípios da Amazônia apresentaram 14 milhões de hectares de pastagem moderadamente degradada em 2002, aumentando para 21,98 milhões de hectares em 2023, uma variação de 56,5%.

As maiores áreas de pastagem moderadamente degradada estão nos estados de Minas Gerais (10,4 milhões de hectares), Mato Grosso (9 milhões de hectares) e Pará (8,05 milhões de hectares). Já os maiores aumentos nessas áreas ocorreram nos estados do bioma Amazônia: Amazonas (270,4%), Amapá (159%) e Rondônia (98%).

As áreas de pastagem severamente degradadas no Brasil também vêm aumentando, passando de 31,4% do total das pastagens em 2002, correspondentes a 54,1 milhões de hectares, para 39,7 milhões de hectares em 2023, o que representa 22,1% do total das áreas de pastagem. A Figura 3 apresenta a evolução espacial dessa variável.

Figura 3. Distribuição espacial das áreas de pastagem com degradação severa

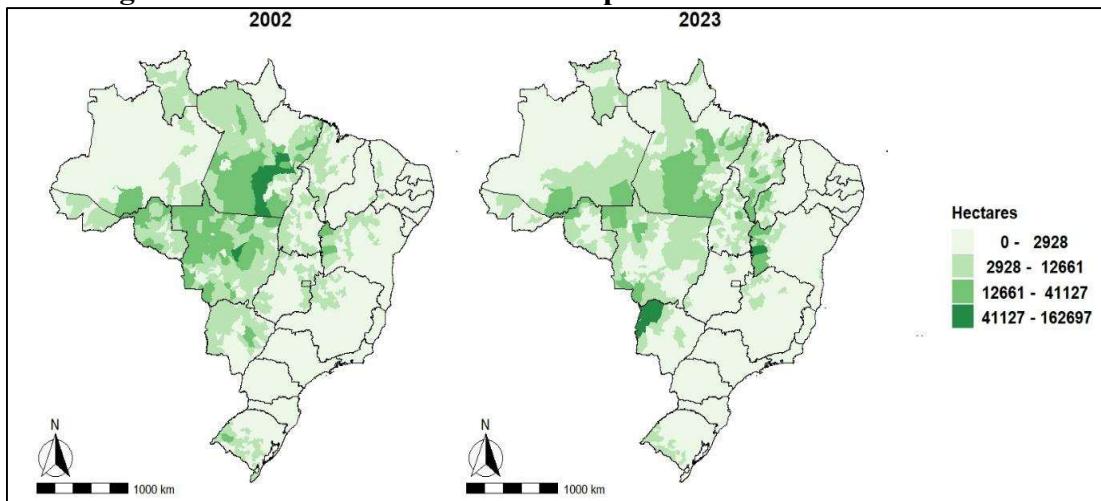
Fonte: Elaboração própria.

Nota: Os intervalos apresentados nos mapas foram determinados pelo método de agrupamento *k*-médias, utilizando quatro classes.

Embora as pastagens severamente degradadas tenham diminuído no Brasil, as regiões onde a pecuária cresceu mais apresentaram aumento dessas áreas. Por exemplo, enquanto o Cerrado reduziu de 22,99 milhões de hectares de pastagem severamente degradada em 2002 para 15,22 milhões de hectares em 2023, uma queda de 33,8%, a Amazônia passou de 7,49 milhões de hectares para 8,69 milhões de hectares no mesmo período, um crescimento de 16,1%.

Ainda existem grandes áreas de pastagem severamente degradadas nos estados de Mato Grosso (7,4 milhões ha), Minas Gerais (6,8 milhões ha) e Bahia (4,7 milhões ha). No período analisado, as maiores variações ocorreram nos estados do bioma Amazônia: Amapá (205%), Rondônia (176%) e Amazonas (159,79%).

O aumento do rebanho e consequente das áreas de pastagens pode gerar um crescimento do desmatamento. A Figura 4 mostra que, em 2002, observa-se forte concentração do desmatamento nas áreas do chamado “arco do desmatamento”, abrangendo os estados do Norte e Centro-Oeste. Já em 2023, a expansão do desmatamento aparece mais difusa, atingindo também porções do Nordeste e do Centro-Sul. A mudança durante o período analisado apresenta indícios de que apesar da redução relativa do desmatamento no Brasil como um todo em determinadas regiões amazônicas, novos focos surgiram, sugerindo deslocamento da produção agropecuária.

Figura 4. Área desmatada nos municípios brasileiros em 2002 e 2023


Fonte: Elaboração própria.

Nota: Os intervalos apresentados nos mapas foram determinados pelo método de agrupamento *k*-médias, utilizando quatro classes.

Esses resultados indicam que em algumas regiões, a intensificação da pecuária contribuiu para reduzir a necessidade de novas áreas.

4.2. Autocorrelação Espacial

A seção anterior apresentou evidências de que a produção pecuária no Brasil é espacialmente concentrada. Para verificar formalmente a existência de autocorrelação espacial, estimamos o *I* de Moran para as variáveis cabeças por hectare, pastagens moderadamente degradadas, pastagens severamente degradadas e desmatamento. A Tabela 1 mostra as estimativas para os diferentes tipos de matrizes de contiguidade: rainha, torre, 5 vizinhos mais próximos e 6 vizinhos mais próximos.

Tabela 1. Estimação da autocorrelação global do *I* de Moran em 2023

	Rainha	Torre	5 vizinhos	6 vizinhos
Cabeças/ha	0.6271*** (76.965)	0.6341*** (74.955)	0.6341*** (78.655)	0.6298*** (85.344)
Moderada	0.61230*** (75.924)	0.6191*** (73.847)	0.4732*** (59.243)	0.4691*** (64.154)
Severa	0.4778*** (60.735)	0.4800*** (58.768)	0.3349*** (43.043)	0.3352*** (47.056)
Desmatamento	0.4850*** (60.271)	0.4947*** (59.199)	0.3758*** (47.204)	0.3633*** (49.851)

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Os valores entre parênteses correspondem aos desvios padrão estimados por 999 permutações aleatórias. Significância estatística: *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,10$. Valores positivos indicam a presença de autocorrelação espacial positiva, enquanto valores negativos indicariam dispersão. As matrizes de vizinhança utilizadas (rainha, torre, k-vizinhos) foram padronizadas em linha.

Os resultados mostram que todas as variáveis apresentam autocorrelação espacial positiva e estatisticamente significativa. A variável cabeças/ha apresenta os maiores valores, indicando forte concentração espacial da produtividade pecuária, em que municípios de alta produtividade são cercados por também regiões com alta

produtividade. Os diferentes critérios de vizinhança não alteram significativamente os valores estimados, mostrando a robustez do resultado.

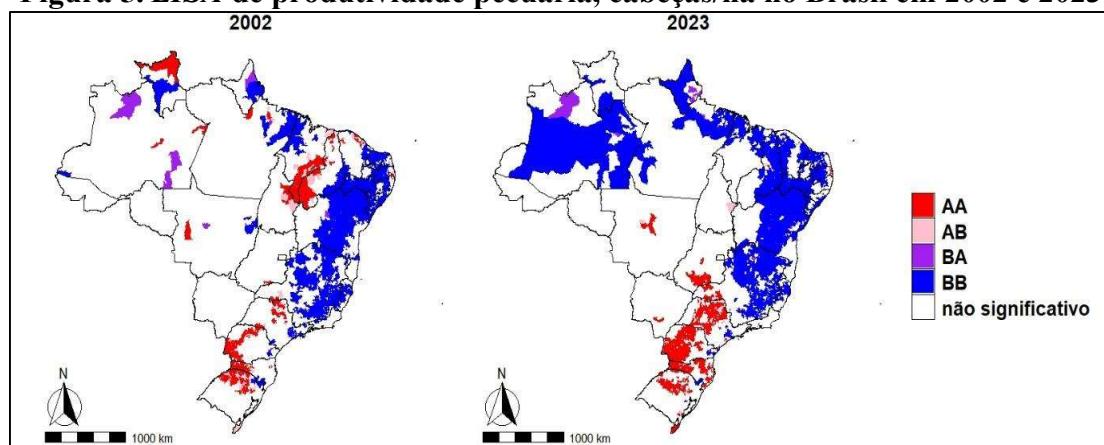
As pastagens moderadamente degradadas também exibem elevada autocorrelação, o que sugere a concentração de regiões com sobrepastoreio. Já as pastagens severamente degradadas e o desmatamento apresentam valores de *I* Moran mais baixos, revelando distribuição mais heterogênea e dispersa entre os municípios, embora ainda apresentem regiões de forte concentração.

Esse resultado indica a existência de duas estruturas de produção pecuária no Brasil. Primeiro uma pecuária mais intensiva em algumas regiões, a intensificação da pecuária pode estar associada à redução da pressão por abertura de novas áreas, indicando possível efeito poupa terra. Segundo em outras localidades a expansão agropecuária continua vinculada à conversão florestal.

4.3. Análise Local

Os padrões globais podem não revelar associações espaciais locais, sendo, portanto, importante investigar a existência de padrões entre municípios vizinhos. Para a variável cabeças/há a Figura 5 mostra que em 2002, existiam *clusters* do tipo AA principalmente no Sul e em partes do Centro-Oeste, evidenciando regiões de forte produtividade pecuária. Já em 2023, esses *clusters* se ampliam e se consolidam, especialmente no Sul do país, onde a pecuária tende a ser mais intensiva.

Figura 5. LISA de produtividade pecuária, cabeças/ha no Brasil em 2002 e 2023



Fonte: Elaboração própria.

Nota: Clusters estimados com matriz de vizinhança do tipo torre, padronizada em linha. Apenas associações estatisticamente significativas ($p < 0,05$, obtidas por 999 permutações) foram representadas.

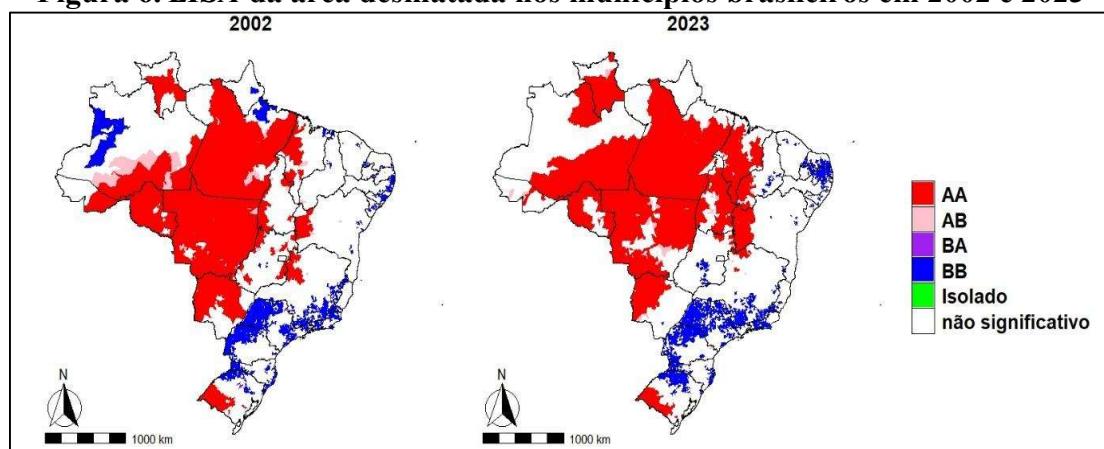
Por outro lado, os *clusters* BB predominam de forma expressiva no Norte e Nordeste, indicando grandes áreas de baixa produtividade da pecuária, esses padrões persistem ao longo tempo também sendo apresentado em 2023. Os *clusters* AB e BA, que representam relações espaciais de vizinhança entre áreas de alta e baixa produtividade, aparecem de maneira pontual, sugerindo regiões de transição da pecuária.

Esses resultados mostram que a consolidação de uma pecuária de maior produtividade no Sul e Sudeste, regiões que historicamente têm maior investimento tecnológico, acesso a crédito e infraestrutura, enquanto o Norte e o Nordeste mantêm um padrão mais extensivo, com maiores limitações produtivas e de acesso a tecnologias de intensificação. Dessa forma, a produtividade da pecuária no Brasil é

espacialmente desigual, com forte concentração em regiões consolidadas e baixa difusão para áreas de fronteira agrícola.

O desmatamento também apresenta *clusters* estimado pela estatística *LISA* conforme mostra a Figura 6. Em 2002, observa-se uma forte concentração de *clusters* AA na região do chamado arco do desmatamento, especialmente nos estados do Mato Grosso, Rondônia e Pará, evidenciando áreas onde municípios com altos índices de desmatamento influenciam os vizinhos, criando focos regionais.

Figura 6. LISA da área desmatada nos municípios brasileiros em 2002 e 2023



Fonte: Elaboração própria.

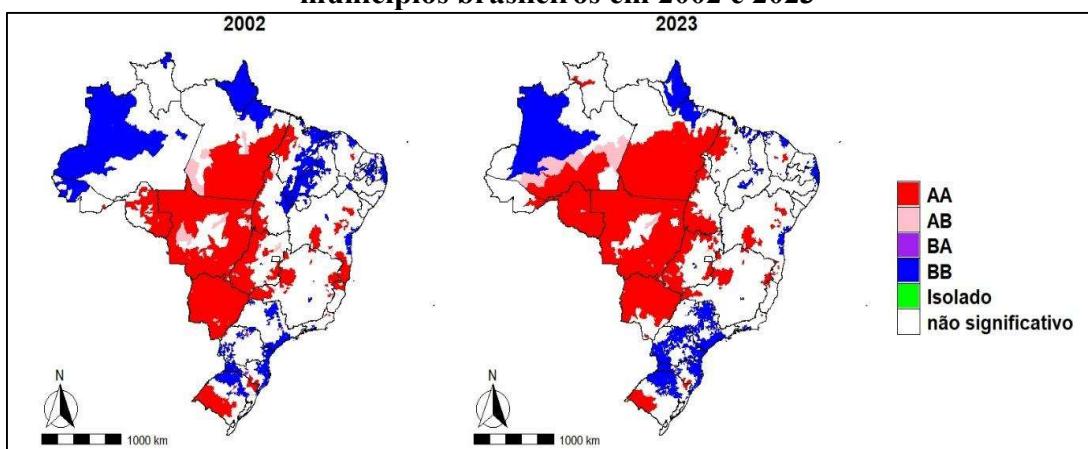
Nota: Clusters estimados com matriz de vizinhança do tipo torre, padronizada em linha. Apenas associações estatisticamente significativas ($p < 0,05$, obtidas por 999 permutações) foram representadas.

Também em 2002 se observou a existência de *clusters* do tipo BB no Sul e parte do Nordeste, ou seja, regiões onde o desmatamento não exerce pressão espacial. Já em 2023, a configuração espacial mostra a manutenção de grandes áreas com o *cluster* do tipo AA, com destaque para a região da Amazônia, mas com expansão para novas regiões e consolidação de polos de pressão ambiental, enquanto os *clusters* BB permanecem marcantes no Sul, onde a produção agropecuária já se encontra consolidada e há menor abertura de novas áreas.

Esses resultados reforçam o fato de que o desmatamento apresenta forte dependência espacial, concentrando-se em regiões específicas. Essa configuração pode ser explicada pela dinâmica da expansão agropecuária sobre as regiões de floresta amazônica, pela disponibilidade de terras, pelas diferenças na aplicação de políticas ambientais regionais e pela consolidação histórica do uso do solo no Sul e Sudeste, que limitam a continuidade do avanço do desmatamento nessas regiões.

Os *clusters* das áreas de pastagens moderadamente degradadas são apresentados na Figura 7. Em 2002, os *clusters* AA estavam concentrados no Centro-Oeste e em parte da Amazônia Legal, evidenciando a forte associação espacial das regiões com grandes extensões de pastagens degradadas. Já em 2023, esses clusters se expandiram, especialmente em Mato Grosso, Pará e Maranhão, consolidando áreas críticas de degradação. Os *clusters* BB aparecem principalmente no Sul e Sudeste, indicando menores níveis de degradação e a pecuária é mais produtiva.

Figura 7. LISA das áreas de pastagens moderadamente degradadas nos municípios brasileiros em 2002 e 2023

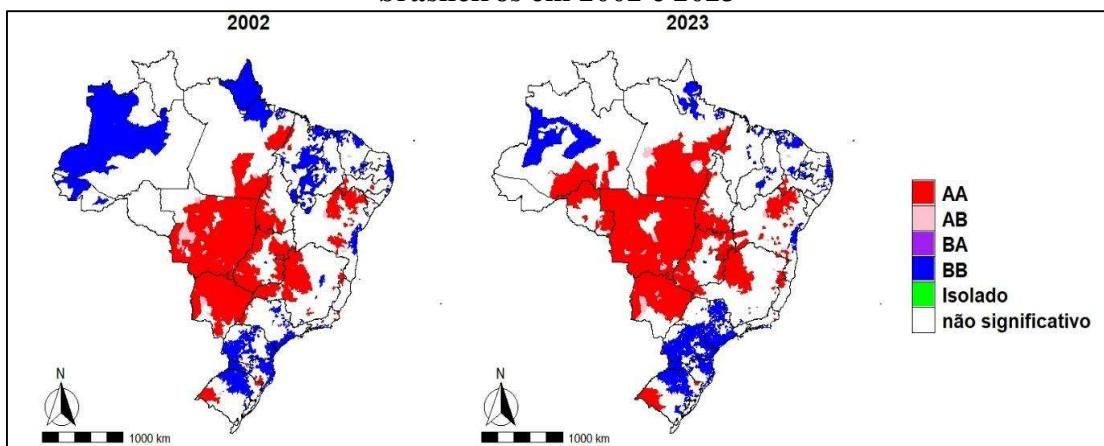


Fonte: Elaboração própria.

Nota: Clusters estimados com matriz de vizinhança do tipo torre, padronizada em linha. Apenas associações estatisticamente significativas ($p < 0,05$, obtidas por 999 permutações) foram representadas.

Quanto às áreas de pastagens severamente degradadas em 2002, já se observavam *clusters* AA em regiões do Centro-Oeste e do Sudeste, conforme mostra a Figura 8. Os *clusters* BB, por sua vez, concentravam-se no Sul e em parte do Nordeste, sugerindo menores níveis de degradação nessas regiões.

Figura 8. LISA das áreas de pastagens severamente degradadas nos municípios brasileiros em 2002 e 2023



Fonte: Elaboração própria.

Nota: Clusters estimados com matriz de vizinhança do tipo torre, padronizada em linha. Apenas associações estatisticamente significativas ($p < 0,05$, obtidas por 999 permutações) foram representadas.

Em 2023, a distribuição espacial mostra uma expansão e consolidação dos *clusters* AA no Centro-Oeste e em porções da Amazônia Legal, sinalizando a persistência e até o agravamento da degradação em áreas de fronteira agrícola. Já os *clusters* BB permanecem predominantes no Sul, onde a pastagem sem degradação contribui para uma pecuária mais produtiva. Esse resultado sugere que a degradação severa das pastagens está espacialmente associada a regiões de forte expansão da pecuária extensiva, frequentemente vinculada ao desmatamento, enquanto as áreas de

maior intensidade de cabeças por hectare apresentam padrões opostos, reforçando a relação entre intensificação e potencial efeito poupadão de terra.

A distribuição dos *clusters* mostram que o desmatamento está ligado às áreas de pastagens degradadas, uma vez que as regiões coincidem com áreas de forte pressão antrópica sobre a floresta, enquanto os valores elevados de cabeças por hectare se concentram em regiões de menor degradação, sugerindo que a intensificação pecuária pode estar associada a menores taxas de desmatamento.

A relação entre cabeças/ha, pastagens severamente e modernamente degradadas e o desmatamento são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Modelos estimados de dados em painel com efeito fixo de municípios para o desmatamento como variável dependente

Variáveis	(1)	(2)	(3)
Cabeças/ha	-0,1069*** (0,0153)	-0,0883*** (0,0150)	-0,0881*** (0,0150)
Severa		0,0606*** (0,0064)	0,0569*** (0,0067)
Moderada			0,0120 (0,0128)
Observações	122.496	122.496	122.496
R ²	0,0017	0,0050	0,0050
F-Statistic	198,21***	291,68***	196,51***

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Os valores entre parênteses correspondem aos erros-padrão robustos, corrigidos para heterocedasticidade. Os asteriscos indicam os níveis de significância estatística: *** p<0,01; ** p<0,05; * p<0,10. Os modelos foram estimados com efeitos fixos para municípios e para o tempo modelo (3), não reportados aqui. A escolha pelo modelo de efeitos fixos foi confirmada pelo teste de *Hausman* ($\chi^2 = 1655,3$; gl = 3; p-valor < 0,01), que rejeitou a hipótese nula de que o modelo de efeitos aleatórios seria consistente, indicando que os efeitos fixos são a especificação mais adequada para os dados analisados.

Em todos os modelos, a variável cabeças/ha apresenta coeficiente negativo e significativo. Isso sugere que a maior produtividade da pecuária está associada a menor desmatamento, o que reforça a hipótese de um efeito poupa terra, em que ganhos de produtividade reduzem a pressão pela abertura de novas áreas.

As pastagens severamente degradadas apresentam uma relação positiva e significativa, indicando que a presença de áreas degradadas está associada a maiores níveis de desmatamento. Isso pode refletir a substituição de áreas degradadas por novas aberturas, em vez de recuperação ou intensificação, criando um ciclo de degradação/expansão.

Já as pastagens moderadamente degradadas não possuem impacto estatisticamente significativo. Isso sugere que a degradação moderada, por si só, não tem efeito claro sobre o desmatamento, possivelmente porque parte dessas áreas ainda mantém capacidade produtiva e não gera pressão imediata por novas aberturas.

5 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados evidenciam que a pecuária brasileira passou por um processo de expansão e intensificação entre 2002 e 2023, marcado por forte heterogeneidade regional. Enquanto regiões do Sul e Sudeste consolidaram sistemas mais produtivos, associados a maiores valores de cabeças por hectare e menores

níveis de degradação de pastagens, áreas do Norte e Nordeste ainda mantêm padrões extensivos, com baixa produtividade e maiores pressões ambientais.

A análise espacial demonstrou a existência de *clusters* significativos de produtividade, degradação e desmatamento, revelando que a atividade pecuária no Brasil não se distribui de forma aleatória, mas sim em padrões regionais específicos. Os resultados dos modelos econôméticos reforçam a hipótese de que o aumento da produtividade pecuária tem efeito de reduzir o desmatamento, contribuindo para a redução da pressão pela abertura de novas áreas de pastagens. Por outro lado, a presença de pastagens severamente degradadas mostrou-se positivamente associada ao avanço do desmatamento, indicando um ciclo de substituição de áreas degradadas por florestas desmatadas.

Essas evidências apontam para a necessidade de políticas públicas voltadas à recuperação de pastagens degradadas, à disseminação de tecnologias de intensificação sustentável e à promoção de práticas de manejo que integrem produtividade e conservação ambiental. A intensificação sustentável pode representar uma estratégia viável para compatibilizar crescimento econômico e preservação dos recursos naturais, especialmente em regiões de fronteira agrícola como a Amazônia.

Portanto, o desafio central para os próximos anos consiste em ampliar o processo de intensificação produtiva em bases sustentáveis, garantindo que o aumento da eficiência da pecuária seja acompanhado por reduções efetivas no desmatamento e na degradação dos solos. Esse caminho é fundamental não apenas para a competitividade do setor pecuário brasileiro, mas também para o cumprimento de metas ambientais e climáticas de alcance nacional.

REFERÊNCIAS

ANSELIN, LUC. Local indicators of spatial association-LISA. **Geographical analysis**, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>. Acesso em: 22 jun. 2025.

ARANTES, A. E. et al. Livestock intensification potential in Brazil based on agricultural census and satellite data analysis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p. 1053-1060, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000900009>. Acesso em: 10 jul. 2025.

ARAUJO, Marcela Almeida de. **Impactos socioeconômicos do fechamento da lacuna de produtividade da pecuária a pasto no Brasil**. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.11.2024.tde-10052024-153116>. Acesso em: 14 mai. 2025.

BARBERO, R. P. et al. Combining Marandu grass grazing height and supplementation level to optimize growth and productivity of yearling bulls. **Animal Feed Science and Technology**, v. 209, p. 110-118, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.09.010>. Acesso em: 14 mai. 2025.

BARBERO, R. P. et al. Potencial de produção de bovinos de corte em pastagens tropicais: revisão de literatura. **Ciência Animal Brasileira**, v. 22, p. e69609, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-6891v22e-69609>. Acesso em: 16 mai. 2025.

CHERUBIN, Maurício Roberto et al. Land Use and Management Effects on Sustainable Sugarcane-Derived Bioenergy. *Land*, v. 10, p. 1-24, 2021 Tradução. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land10010072>. Acesso em: 02 jun. 2025.

COHN, Avery S. et al. Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 20, p. 7236-7241, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.130716311>. Acesso em: 12 ago. 2025.

CROISSANT, Yves; MILLO, Giovanni. Panel data econometrics in R: The plm package. **Journal of statistical software**, v. 27, p. 1-43, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.18637/jss.v027.i02>. Acesso em: 10 jul. 2025.

DIAS-FILHO, Moacyr Bernardino. **Histórico e desafios na pecuária bovina na Amazônia**. / Moacyr Bernardino Dias-Filho, Monyck Jeane dos Santos Lopes. – Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2020 Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1122941/1/Doc454.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2025.

FELTRAN-BARBIERI, Rafael; FÉRES, José Gustavo. Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. **Royal Society Open Science**, v. 8, n. 7, p. 201854, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsos.201854>. Acesso em: 19 mai. 2025.

FREITAS, A. M. de; BARROS, P. H. B. de. A expansão da pecuária para a Amazônia legal: externalidades espaciais, acesso ao mercado de crédito e intensificação do sistema produtivo. **Nova Economia**, v. 31, n. 01, p. 303-333, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-6351/5064>. Acesso em: 22 jul. 2025.

GALDINO, S. et al. Large-scale modeling of soil erosion with RUSLE for conservationist planning of degraded cultivated Brazilian pastures. **Land Degradation & Development**, v. 27, n. 3, p. 773-784, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1028371/1/4600.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2025.

GIL, J. D. et al. Tradeoffs in the quest for climate smart agricultural intensification in Mato Grosso, Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 6, p. 064025, 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1092373/1/26625.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2025.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Pecuária Municipal**. 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm>. Acesso 15 jan. 2025.

JANK, Liana et al. The value of improved pastures to Brazilian beef production. **Crop and Pasture Science**, v. 65, n. 11, p. 1132-1137, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/289852654_The_value_of_improved_pastures_to_Brazilian_beef_production. Acesso em: 14 jun. 2025.

LAPIG - Laboratório de Processamento de Imagem e Geoprocessamento. **Atlas digital das pastagens brasileiras**. Disponível em: <https://atlasdaspastagens.ufg.br/>. Acesso em: 20 jan. 2025.

LI X, ANSELIN L. **rgeoda: R Library for Spatial Data Analysis**. R package version 0.1.0. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=rgeoda> . Acesso em: 10 mai. 2025.

LUNA, Francisco Vidal; S. KLEIN, Herbert. A evolução da pecuária bovina no Brasil. **História Econômica & História de Empresas**. v. 26, n. 3, p. 561–598, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.29182/hehe.v26i3.914>. Acesso em: 12 jul. 2025.

MALEK, Žiga et al. Mapping livestock grazing in semi-natural areas in the European Union and United Kingdom. **Landscape Ecology**, v. 39, n. 2, p. 31, 2024. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10980-024-01810-6>. Acesso em: 14. jul. 2025.

MAPBIOMAS. **Estatísticas – Desmatamento (Coleção 10): MapBiomass Brasil**. 2025. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/estatisticas/>. Acesso em: Acesso 15 jan. 2025.

MARANHÃO, R. L. A. et al. The spatiotemporal dynamics of soybean and cattle production in Brazil. **Sustainability**, v. 11, n. 7, p. 2150, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11072150>. Acesso em 14 ago. 2025.

McMANUS, C. et al. Dynamics of cattle production in Brazil. **PLoS ONE**, v. 11, n. 1, p. e0147138, 2016. Disponível: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1043799/1/journal.pone.0147138.PDF>. Acesso em: 15 jul. 2025.

NUNES, Cássio Alencar *et al*. Linking land-use and land-cover transitions to their ecological impact in the Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 119, n. 27, p. e2202310119, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.2202310119>. Acesso em: 19 ago. 2025.

PEBESMA, E. J.; BIVAND, R. S. Classes and methods for spatial data in R. **R News**, v. 5, n. 2, p. 9–13, November 2005. Disponível em: <https://journal.r-project.org/articles/RN-2005-014/RN-2005-014.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2025.

PEBESMA, E. Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. **The R Journal**. v. 10, n.1, p. 439-446. 2018. Disponível em: <https://journal.r-project.org/articles/RJ-2018-009/RJ-2018-009.pdf> . Acesso em: 10 mai. 2025.

PEBESMA, Edzer; BIVAND, Roger. **Spatial data science**: With applications in R. Chapman and Hall/CRC, 2023.

PEREIRA, O. J. R. et al. Assessing pasture degradation in the Brazilian Cerrado based on the analysis of MODIS NDVI time-series. **Remote Sensing**, v. 10, n. 11, p. 1761, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs10111761>. Acesso em: 10 ago. 2025.

PEREIRA, R.; GONCALVES, C. **geobr: Download Official Spatial Data Sets of Brazil.** R package version 1.9.1. 2024. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=geobr>. Acesso em: 10 mai. 2025.

PEROBELLI, Fernando Salgueiro et al. Produtividade do setor agrícola brasileiro (1991-2003): uma análise espacial. **Nova economia**, v. 17, p. 65-91, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-63512007000100003>. Acesso em: 15 jul. 2025.

R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing.** Vienna, Austria, 2025. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 10 mai. 2025.

SILVA, S. C. et al. Grazing behaviour, herbage intake and animal performance of beef cattle heifers on marandu palisade grass subjected to intensities of continuous stocking management. **The Journal of Agricultural Science**, v. 151, n. 5, p. 727-739, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0021859612000858>. Acesso em: 12 jun. 2025.

SILVEIRA, J. G. D. et al. Land use, land cover change and sustainable intensification of agriculture and livestock in the Amazon and the Atlantic Forest in Brazil. **Sustainability**, v. 14, n. 5, p. 2563, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14052563>. Acesso em: 12 jul. 2025.

SIMON, Marcelo Fragomeni; GARAGORRY, Fernando Luis. The expansion of agriculture in the Brazilian Amazon. **Environmental Conservation**, v. 32, n. 3, p. 203-212, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0376892905002201>. Acesso em: 19 jul. 2025.

TÓTH, Edina et al. Livestock type is more crucial than grazing intensity: Traditional cattle and sheep grazing in short-grass steppes. **Land Degradation & Development**, v. 29, n. 2, p. 231-239, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/lde.2514>. Acesso em 18 jun. 2025.