

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA  
MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO



EVOLUÇÃO DO DESMATAMENTO NO CERRADO  
BRASILEIRO DE 1990 A 2019

João Francisco Miller

Matrícula: 1810351

Orientador: Clarissa Gandour / Juliano Assunção

Rio de Janeiro

Novembro, 2021

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA  
MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO



EVOLUÇÃO DO DESMATAMENTO NO CERRADO  
BRASILEIRO DE 1990 A 2019

João Francisco Miller

Matrícula: 1810351

Orientador: Clarissa Gandour / Juliano Assunção

Rio de Janeiro

Novembro, 2021

Declaro que o presente trabalho é de minha autoria e que não recorri para realizá-lo, a nenhuma forma de ajuda externa, exceto quando autorizado pelo professor tutor.

As opiniões expressas neste trabalho são de responsabilidade única e exclusiva do autor.

## Reflexão

"I would like for them to say: he took a few cups of love; he took one tablespoon of patience, one teaspoon of generosity, one pint of kindness; he took one quart of laughter, one piece of concern, and then he mixed willingness with happiness. He added lots of faith, and he stirred it up well. Then, he spread it over a span of a lifetime, and he shared it with each and every deserving person he met."

Recipe for Life - Muhammad Ali

Que cada sorriso, cada lágrima, cada euforia, cada decepção, cada amizade que experimentamos nesses últimos anos tenha contribuído para nos tornarmos a melhor versão de nós mesmos, e que, transformados pela PUC-RIO, continuemos na busca incessante por aprendizado e por evolução pessoal e saibamos abraçar cada nova sensação pelo caminho. Que, enquanto carregamos as memórias do passado e ansiamos pelos mistérios do futuro, naveguemos pelo presente com sorriso, empolgação, paciência e bondade, e que, no início, no meio e no fim de todo o processo, façamos de nossas paixões e de nossas vocações uma prática diária de mudança social e de inspiração de esperança e de alegria para todos os seres humanos - seja em nossos projetos profissionais, seja no diálogo com todas as outras pessoas que passem pelas nossas vidas. Que, enfim, acima de tudo, vivamos com amor - pela família, pelos amigos, pelo trabalho, pelo planeta, pela humanidade, pela vida -, porque, no fim das contas, essa é a forma mais importante de sermos lembrados: pelo quanto amamos, pelo quanto permitimos receber de amor e pelo quanto inspiramos amor. Amar o máximo que puder, a todo instante e se permitir ser amado: eis é o mais nobre propósito da vida.

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Revisão de Literatura</b>	<b>8</b>
2.1	O bioma Cerrado . . . . .	8
2.2	Drivers do Desmatamento . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Dados</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>Análise Descritiva</b>	<b>16</b>
4.1	Evolução do uso do solo no Cerrado . . . . .	16
4.2	Commodities produzidas no Bioma . . . . .	22
<b>5</b>	<b>Metodologia empírica</b>	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>Resultados</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>Conclusão</b>	<b>31</b>

## Lista de Figuras

1	Evolução do desmatamento no Cerrado (ha) . . . . .	16
2	Evolução do desmatamento no MATOPIBA de 1990 a 2019 . . . . .	17
3	Evolução do desmatamento no Não-MATOPIBA de 1990 a 2019 . . . . .	18
4	Estatísticas de desmatamento no Cerrado . . . . .	18
5	Peso na cobertura do solo no Cerrado . . . . .	19
6	Evolução do uso do solo no Matopiba de 1990 a 2019 . . . . .	20
7	Evolução do uso do solo no Não-Matopiba de 1990 a 1999 . . . . .	21
8	Evolução do uso do solo no Não-Matopiba de 2000 a 2009 . . . . .	21
9	Evolução do uso do solo no Não-Matopiba de 2010 a 2019 . . . . .	22
10	Evolução da área plantada no MATOPIBA . . . . .	23
11	Evolução da área plantada no Não-MATOPIBA . . . . .	24
12	Variação da área plantada no MATOPIBA de 1990 a 2019 . . . . .	24
13	Variação da área plantada no Não-MATOPIBA de 1990 a 2019 . . . . .	24
14	Evolução dos preços internacionais de Commodities . . . . .	25

# 1 Introdução

O objetivo desse artigo é trazer mais relevância para o debate sobre a evolução do desmatamento no Cerrado nas últimas três décadas. Se, por um lado, a maior parte dos holofotes - em termos de produção científica, políticas públicas e atenção mundial de empresas e outras organizações transnacionais - esteve voltada para o bioma amazônico, por outro lado, o Cerrado guarda uma enorme biodiversidade e presta serviços ecossistêmicos vitais para a sobrevivência da própria Amazônia.

Esse artigo está dividido em seis capítulos: Introdução; Revisão de Literatura, onde descrevo o contexto histórico do Cerrado e exponho os achados da literatura sobre as principais causas do desmatamento; Dados, onde cito todas as fontes de dados utilizados para as análises descritivas e econométricas e onde explico como construí cada uma das variáveis relevantes para o trabalho; Análise Descritiva, onde exploro a partir de gráficos e tabelas a evolução do uso do solo no bioma nas últimas três décadas - destacando também as principais culturas agrícolas produzidas no período -; Metodologia empírica, onde descrevo as regressões utilizadas; Resultados, onde apresento as tabelas geradas pelas regressões que apresentaram algum coeficiente estatisticamente significante; e Conclusão.

O escopo desse trabalho se restringe a apenas realizar análises descritivas sobre a evolução da cobertura do solo no bioma e a construir regressões (com MQO e com efeitos fixos) que investiguem potenciais correlações<sup>1</sup> entre o desmatamento e os preços internacionais de commodities e as produtividades da pecuária e da agricultura - variáveis relevantes para a literatura no estudo das causas econômicas do desmatamento. Como será explicitado adiante, a literatura testa inúmeros outros regressores que sejam potenciais causadores de retirada de vegetação nativa em uma região, mas que não serão abordados aqui pela ausência de bases de dados completas que englobem todo o alcance temporal e regional explorados pelo artigo - são exemplos crédito rural, densidade de infraestrutura logística, população municipal, entre outros.

A investigação está estruturada de forma a sempre contrastar três clusters espaciais: o Cerrado como um todo, a região MATOPIBA e a região Não MATOPIBA. Cada uma dessas amostras é dividida, em seguida, em três clusters temporais: 1990-1999, 2000-2009 e 2010-2019. É importante destacar que o estudo apenas considera municípios que possuam unicamente o Cerrado como bioma dentro de seu território.

Como principais achados da análise descritiva, são destaques a convergência entre as taxas de desmatamento das regiões MATOPIBA e Não MATOPIBA a partir dos anos 2000, a permanência do protagonismo da atividade pecuária por todos os estados do bioma e a

---

<sup>1</sup>Esse estudo não se propõe, assim, a testar relações de causalidade entre as variáveis

aceleração recente (nas últimas 2 décadas) da agricultura - com destaque para as culturas da soja e do milho.

Como principais resultados das regressões, são destaques a aparente influência (negativa) dos preços internacionais sobre o desmatamento no Cerrado como um todo na década de 2000-2009 e a aparente correlação positiva entre a produtividade da pecuária e a retirada de vegetação nativa na região MATOPIBA entre os anos 2010 e 2019.



## 2 Revisão de Literatura

### 2.1 O bioma Cerrado

Segundo maior bioma do Brasil, o Cerrado ocupa uma área de mais de 2 milhões de km<sup>2</sup> - 24% do território nacional - e desempenha serviços ecossistêmicos fundamentais para a preservação ambiental do país (Noojipady et al., 2017). Considerado um hotspot mundial de biodiversidade, abriga, por exemplo, mais de 11.000 espécies de plantas nativas conhecidas, é lar de mais de 2.000 espécies de animais e é em seu território que estão as nascentes das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Ministério do Meio Ambiente).

No entanto, estima-se que, nos últimos cinquenta anos, aproximadamente 50% da sua cobertura original já tenha sido retirada – o índice da Amazônia no mesmo período é de 20% (Bustamante, 2015). Entre suas inúmeras consequências negativas para o meio ambiente, a derrubada de vegetação nativa da floresta interfere, por exemplo, na capacidade de reciclagem de água do bioma (Spera et al., 2016), o que, ao afetar o padrão e a quantidade de chuvas da região, pode não só ameaçar a própria produção agrícola (Malhado et al., 2010) como também a estabilidade climática entre biomas (Coe et al., 2013). Ainda, o Cerrado possui importantes reservas de carbono (Noojipady et al., 2017) que, quando liberadas na atmosfera, contribuem para o aquecimento global. Assim, é extremamente necessária uma maior atenção científica para os determinantes do desmatamento na “savana” brasileira.

Sob um retrospecto histórico, uma maior intervenção sobre o bioma foi efetivada sobretudo a partir da década de 1950, quando o plano desenvolvimentista do governo Juscelino Kubitschek mudou a capital do país para Brasília. No entanto, foi durante o governo militar que foram lançadas inúmeras iniciativas estatais para ocupação e para exploração econômica do Cerrado – desde a implantação dos PNDs<sup>2</sup> até a criação da Embrapa -, com destaque especial para as políticas de incentivo creditício<sup>3</sup> (Pires, 2000; Müller, 2013). Esses incentivos, contudo, foram direcionados sobretudo a grandes fazendeiros, já que a política governamental visava estimular a produção de larga escala e o aumento da produtividade nacional (de Arruda et al., 2019). Logo, nos períodos que se seguiram (e ainda nos dias de hoje), o protagonista do desmatamento do Cerrado foi a agropecuária: de 1986 a 2002, a área destinada a esse fim, em termos de porcentagem do total, no oeste da Bahia e no Mato Grosso passou, respectivamente, de 11% a 44% e de 25% a 47% (Brannstrom et al., 2008). Nos anos recentes, tornou-se o bioma com maior ritmo de retirada de vegetação nativa do país: entre 2002 e 2011, o desmatamento no Cerrado foi 2,5 vezes maior do que na Amazônia (Strassburg et al., 2017).

---

<sup>2</sup>Planos Nacionais de Desenvolvimento - governos Médici e Geisel.

<sup>3</sup>Especialmente o Padap, o Polocentro e o Prodecet.

A partir de 2003, Ferreira et al. (2013) pontuam duas novas fronteiras de expansão da retirada de vegetação nativa: a região que engloba o norte do Mato Grosso e o sul do Tocantins (de encontro com Floresta Amazônica) e a região do MATOPIBA (onde há forte presença da soja)<sup>4</sup>. Neste último território, o ritmo médio de desmatamento entre 2013 e 2017 foi 241% maior do que a média do Cerrado (Trigueiro et al., 2020).

Dado o breve resumo do uso do solo no Cerrado, é também relevante realçar outras características da ocupação do bioma que podem influenciar nos níveis de desmatamento. Nesse sentido, um aspecto importante para a preservação ambiental das florestas brasileiros é a extensão da sua proteção legal. Enquanto o novo Código Florestal brasileiro de 2012 determina que 80% da área de propriedades privadas na Amazônia seja mantida como vegetação nativa, a área destinada a esse fim é de 35% em propriedades localizadas no Cerrado dentro da Amazônia Legal e de 20% em outras áreas do Cerrado. Essa configuração fundiária, associada à iniciativa internacional da Moratória da Soja, contribuiu para a redução do desmatamento na Amazônia, mas também pode ter deslocado a produção agrícola para o Cerrado (Noojipady et al., 2017).

Por outro lado, outros instrumentos como Áreas de Proteção Ambiental e Reservas Indígenas já se mostraram eficazes em impedir a conversão de habitat natural no Cerrado, efeito que é aumentado em regiões sob maior pressão de desmatamento e em áreas de proteção estrita, em comparação a áreas onde o uso sustentável é praticado (Carranza et al., 2014; Brum et al., 2018). No entanto, somente 8,2% do bioma é protegido por Unidades de Conservação, dos quais apenas 2,9% são de proteção integral (MMA).

Ainda, a própria escala da propriedade rural pode influenciar na intensidade de conversão do solo. Regiões mais ao norte do Cerrado, por exemplo, possuem um maior número de pequenas propriedades familiares em comparação às regiões mais ao sul, compostas de fazendas maiores: isso impactaria no acesso ao crédito, já que essas famílias teriam maior dificuldade de captação – dados, no geral, seus menores níveis de escolaridade e de regularização fundiária (Trigueiro et al., 2020). Fazendas maiores, por outro lado, teriam mais capacidade de obedecer à cota mínima de conservação da vegetação nativa do que fazendas de menor escala (Stefanes et al., 2018).

Dessa forma, em razão da configuração socioeconômica e produtiva atual do Cerrado, talvez a maior oportunidade para a expansão sustentável de novas culturas agrícolas esteja na conversão de áreas já desmatadas, que hoje são usadas para outros fins. Carneiro Filho e Costa (2016) alegam que “há pelo menos 25,4 milhões de hectares – território do tamanho do Paraná – de terras convertidas e com alta aptidão agrícola”, das quais mais de 88% estão fora da região Matopiba (que, hoje, sofre a maior pressão de desmatamento) e das quais mais

---

<sup>4</sup>Engloba os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

da metade é ocupada por pastagens. A mesma prática já foi efetivada, no passado recente, no estado de Goiás em um contexto de novas plantações de cana-de-açúcar: a maioria da área convertida era anteriormente pastagem (Spera et al., 2017). Por fim, outro possível caminho para aliviar a pressão sobre a vegetação natural seria a expansão da criação intensiva de gado, o que, além dos ganhos ambientais, também impactaria positivamente a economia nacional, elevando a renda doméstica, o nível de consumo das famílias e os gastos do governo (Silva et al., 2017).

## 2.2 Drivers do Desmatamento

Inúmeros são os esforços da literatura para explorar os determinantes do desmatamento de florestas e do uso da terra. Entender o mecanismo pelo qual cada fator – biomorfológico, socioeconômico ou institucional – afeta a retirada ou a manutenção de cobertura vegetal é essencial para o desenho de políticas públicas e de incentivos de mercado para a preservação ambiental.

Nessa perspectiva, Angelsen (1999), por um lado, define três diferentes “níveis” do desmatamento: suas fontes – ou seja, os próprios agentes que retiram a cobertura vegetal –, suas causas imediatas – fatores que afetam os incentivos dos agentes, como infraestrutura disponível, preços de mercado dos produtos e qualidade das instituições, com destaque para a segurança da propriedade da terra – e suas causas subjacentes – aspectos mais amplos que determinam as causas imediatas, como pressões demográficas, nível de renda nacional e dívida externa. Para o autor, misturar esses níveis em uma análise do desmatamento poderia embaralhar as relações causais e levar a conclusões equivocadas<sup>5</sup>.

Barbier (2001), por sua vez, estuda artigos que testam quatro diferentes hipóteses sobre o desmatamento: modelos sobre Curva de Kuznets ambiental, em que o impacto ambiental negativo aumenta até certo patamar da renda nacional, quando enfim começa a diminuir; modelos de competição pelo uso da terra, em que há um trade-off entre conservar a vegetação nativa e retirá-la, por exemplo, para a expansão agropecuária; modelos de conversão de florestas, analisados pelo prisma dos incentivos do agricultor para o desmatamento – como em Pfaff (1999), em que a decisão de conversão do uso do solo é tratada como um problema de maximização de lucros –; e modelos institucionais, em que fatores como o conflito pela terra, a segurança da propriedade e a estabilidade política influenciam na retirada de cobertura vegetal.

---

<sup>5</sup>Há também em muitos casos dificuldades para determinar a ordem causal dos drivers: a presença de estradas em uma região, por exemplo, pode incentivar o desmatamento - já que diminui o custo de transporte da produção agrícola -, mas também uma estrada pode estar em construção justamente porque já havia ali uma área desmatada.

É importante destacar que os determinantes do desmatamento variam no tempo e no espaço, e, mesmo dentro de um mesmo país ou bioma, as causas podem ter diferentes níveis de relevância - e o advento de modelos econométricos espaciais tem cada vez mais ajudado a elucidar essa questão (Trigueiro et al., 2020; Velasco et al., 2020; Busch, 2020). Do mesmo modo, uma mesma variável explicativa pode influenciar a pressão sobre florestas em sentidos opostos, tornando-se difícil determinar qual efeito se sobressai (Angelsen, 1999). Dentre os fatores mais comumente testados, destacam-se a proximidade das estradas e de áreas urbanas, a densidade demográfica, a adequação do solo ao cultivo (inclinação, fertilidade), a quantidade de créditos rurais concedidos, a quantidade de vegetação remanescente, os preços dos produtos e dos insumos agrícolas e o nível de renda do país (Pfaff, 1999; Angelsen, 1999; Trigueiro et al., 2020; Busch, 2020).

Enquanto a literatura se ocupa sobretudo da Amazônia, os esforços para explorar as causas do desmatamento no Cerrado ainda são limitados. Muitos autores ainda estão focados em descrever a evolução histórica do uso do solo no Cerrado - enfatizando a agropecuária como protagonista das pressões sobre vegetação nativa -, mais do que em estudar a lógica econômica por trás do desmatamento (Nepstad et al., 2019; Garcia, 2016; Grecchi et al., 2014). No meu conhecimento, a exceção é Trigueiro et al. (2020): os autores mostram que, para o período de 2013 a 2017, a disponibilidade de crédito, a quantidade de vegetação remanescente, a distância de rodovias, os níveis de precipitação e a inclinação do terreno influenciaram a retirada de vegetação nativa em diferentes formas e regiões, com efeitos mais significativos em algumas áreas ao norte do bioma <sup>6</sup>.

Assim, meu artigo propõe preencher o cenário escasso da literatura sobre os drivers do desmatamento no Cerrado, investigando principalmente os incentivos econômicos por trás da conversão do uso do solo no bioma.

---

<sup>6</sup>Consequência do período analisado, pois o sul não sofre tanta pressão de desmatamento sobre vegetação nativa quanto a nova fronteira agrícola mais ao norte. No sul, a expansão de novas culturas agrícolas é feita sobretudo em áreas já desmatadas de pastagem.

### 3 Dados

Para a exploração empírica do desmatamento e da evolução do uso do solo no Cerrado, utilizo nesse artigo bases públicas com dados a nível municipal de 1990 a 2019. A amostra inclui apenas municípios que possuem exclusivamente o bioma Cerrado em seu território, o que reduz, como consequência, o número de observações da base de 1.434 para 698 cidades.

Ao longo de toda a parte empírica do artigo, exploro os dados comparando três clusters amostrais: o Cerrado “total”, a região MATOPIBA – na qual estão inclusos 202 municípios<sup>7</sup> – e a região Não MATOPIBA – na qual estão listadas 496 cidades. É importante ressaltar, ainda, que embora a região MATOPIBA englobe apenas Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, há 65 municípios desses estados que não pertencem a essa classificação – 62 deles no Piauí. Eles foram inclusos no cluster Não MATOPIBA apenas nas regressões econométricas, e foram excluídos do estudo das estatísticas descritivas por não apresentarem grande relevância em comparação aos outros estados desse grupo (Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul)<sup>8</sup>. Pela mesma falta de relevância, excluí o município de Brasília (Distrito Federal) e as cidades do estado de São Paulo da amostra não-MATOPIBA.

- Desmatamento

Construí os dados de desmatamento a partir da base de Cobertura do Solo da Coleção 5 da plataforma MapBiomas, cuja evolução está apresentada em uma frequência anual e a nível municipal. Tendo lançado sua primeira publicação em 2016, esse projeto reúne dados a partir de 1985 de cobertura e uso do solo no Brasil, e lança mão de algoritmos de machine learning para, por meio da plataforma Google Earth Engine, processar dados do satélite Landsat a uma resolução espacial de 30x30 metros.

Por mais que essa base divida a cobertura do solo no Brasil em dezessete categorias<sup>9</sup>, apenas aprofundo o estudo da evolução – no capítulo das estatísticas descritivas – das três mais expressivas: vegetação primária, agricultura e pastagem. Com essa primeira, montei a variável desmatamento da seguinte forma:

$$Desmat_{i,t} = VegPrim_{i,t} - VegPrim_{i,t-1}$$

Onde  $VegPrim_{i,t}$  é o nível de vegetação nativa no ano t (medido em hectares) e  $VegPrim_{i,t-1}$  é o nível de vegetação nativa no ano t-1.

<sup>7</sup>A região MATOPIBA engloba oficialmente, como definido pela EMBRAPA, 337 municípios, mas o filtro utilizado de “cidades com cobertura exclusiva do Cerrado” reduziu o número de observações da amostra

<sup>8</sup>Sua inclusão também atrapalharia, por exemplo, a visualização gráfica dos dados estaduais do grupo não-Matopiba

<sup>9</sup>No contexto do site, esse é o número de subdivisões do nível 2

Em seguida, para incluí-la nas regressões, faço uma normalização Z-score da variável. Vale notar que, como construo cada regressão por década (1990-1999, 2000-2009 e 2010-2019), a média e o desvio-padrão da normalização são diferentes em cada um desses clusters temporais.

- Preços Internacionais

Para construir um índice que representasse os preços internacionais, recorri a duas fontes de dados além da base do MapBiomias – já explicada acima –: utilizei uma base do Banco Mundial com histórico de preços internacionais de commodities e uma base da PAM/IBGE com a área plantada por cultura a nível municipal para ponderar os preços.

Em primeiro lugar, calculei, utilizando os dados do MapBiomias, o peso que a agricultura e a pecuária<sup>10</sup> têm na cobertura do solo em cada município. Em seguida, multipliquei o valor da parcela da agricultura pelo peso de cada cultura na área plantada total de cada município<sup>11</sup>; e, finalmente, para o peso da década de 2010-2019, utilizei a média do peso dos anos 2005-2009 (informação retirada da PAM/IBGE). Montei, assim, minha base de pesos por cultura por município, implementando a ponderação para os preços das commodities da seguinte forma:

$$Preco_{i,t} = \sum PI_{c,t} * Peso_{i,c}$$

onde  $Preco_{i,t}$  é o índice de preços para o município  $i$  no ano  $t$ , resultante do somatório do produto de  $PI_{c,t}$  (preço internacional da commodity  $c$  no ano  $t$ ) com  $Peso_{i,c}$  (peso que a área utilizada pela commodity  $c$  possui no total da área voltada para a agropecuária no município  $i$ ).

Esse índice é composto pelos preços ponderados de oito principais commodities: a soja, o milho, a carne, o arroz, a cevada, o sorgo, o trigo e o algodão. É relevante ressaltar, ainda, que o preço da carne deve ser o principal componente desse índice, já que a pecuária é a atividade predominante em praticamente todo o Cerrado.

Essa variável é bastante recorrente na análise da literatura sobre os drivers do desmatamento. A lógica econômica subjacente seria a de que, dado um aumento do preço de

<sup>10</sup>Assumi como proxy que toda a área de pastagem retratada no MapBiomias é utilizada para pecuária bovina.

<sup>11</sup>A base de área plantada possuía muitas observações zeradas. Para amenizar essa dificuldade, utilizei pesos fixos para cada década (ao invés de os pesos variarem anualmente): para a década de 1990-1999, utilizei como valor a média do peso dos anos 1985-1989; para o peso da década 2000-2009, utilizei a média do peso dos anos 1995-1999;

venda do produto, maior seria o retorno financeiro da atividade agropecuária, e maior seria a disponibilidade de recursos para a derrubada de vegetação nativa e para o cultivo em novas terras (Angelsen, 1999). No entanto, vale destacar que, em modelos que assumem um comportamento de subsistência do agricultor, um aumento do lucro não incentivaria maior produção com desmatamento, mas implicaria em mais tempo para ócio (Angelsen, 1999).

- Produtividade da Pecuária

Como não há uma base de dados que calcule explicitamente esse indicador, construí uma proxy para a produtividade da pecuária no Cerrado dividindo o número de cabeças de gado por município por ano pela área voltada para a pastagem por município por ano. Esses dados vieram das bases, respectivamente, da PPM/IBGE e do MapBiomias.

A literatura sugere uma influência dessa variável similar à dos preços agrícolas sobre a retirada de vegetação nativa - quanto maior a produtividade, maior o yield e mais sobram recursos para expandir a produção (Angelsen, 1999). Por outro lado, há também evidências que tecnologias mais eficientes - ao produzirem maior quantidade por unidade de área - podem reduzir a necessidade por desmatamento (Holden, 1993). Logo, seus efeitos podem ser ambíguos, variando de contexto para contexto.

- Produtividade da Agricultura

Construí uma medida de produtividade da agricultura por município por ano a partir de uma base da PAM/IBGE com os dados de rendimento de cada cultura por unidade de área (medido em kg/hectare). Para montar essa medida, segui a mesma metodologia de ponderação que fiz para o índice de preços das commodities, utilizando o somatório do produto do rendimento com o peso de cada cultura na área plantada de um município em um dado ano.

A lógica econômica por trás do efeito da produtividade agrícola sobre o desmatamento é a mesma que a da produtividade da pecuária exposta acima.

Ao montar essas quatro variáveis, construí uma base de dados em painel que será relevante para a análise por regressão por efeitos fixos.

- Outros dados

Além das variáveis explicadas acima, vale mencionar que explorarei, no capítulo de estatísticas descritivas, uma outra base de dados da PAM/IBGE que também aborda a área plantada por cultura por município - porém, ao invés de apenas mostrar o peso de

cada cultura na área plantada total, mostra a área ocupada por ela em hectares. O intuito será avaliar quais culturas agrícolas têm assumido protagonismo nas últimas décadas no Cerrado, o que também ajudará a inferir, como consequência, os movimentos do desmatamento no bioma.



## 4 Análise Descritiva

### 4.1 Evolução do uso do solo no Cerrado

Por mais que a intensidade do desmatamento no Cerrado esteja, nas últimas três décadas, em uma tendência decrescente, esse movimento não é uniforme pelo bioma. Em todo o Cerrado, 39%, 32% e 29,0% de toda a retirada de vegetação nativa do período ocorreram, respectivamente, nas décadas de 1990-1999, 2000-2009 e 2010-2019 (em uma nítida tendência de queda). Quando tratamos apenas dos municípios Não MATOPIBA, os valores sofrem uma redução ainda mais drástica (50%, 28% e 22%, respectivamente). Nos municípios do MATOPIBA, por outro lado, a tendência se inverte: apenas 22% de todo o desmatamento no período aconteceram na década de 1990-1999, enquanto 38% e 41% ocorreram, respectivamente, em 2000-2009 e em 2010-2019.

Conforme mostra a figura 1, o nível de desmatamento (medido em hectares) entre as duas regiões vem convergindo desde o início deste século. Se por um lado, na década de 1990-1999, 80% do desmatamento no Cerrado ocorreu na região Não Matopiba, por outro lado, na década de 2010-2019, 53% da retirada de vegetação nativa ocorreram no MATOPIBA. Vale ressaltar, nessa perspectiva, que a área total da região Não MATOPIBA é 83% maior do que a área somada dos municípios MATOPIBA (e representa 65% da área total do Cerrado), o que reitera a alta relevância do desmatamento que vem acontecendo nessa segunda região a partir dos anos 2000.

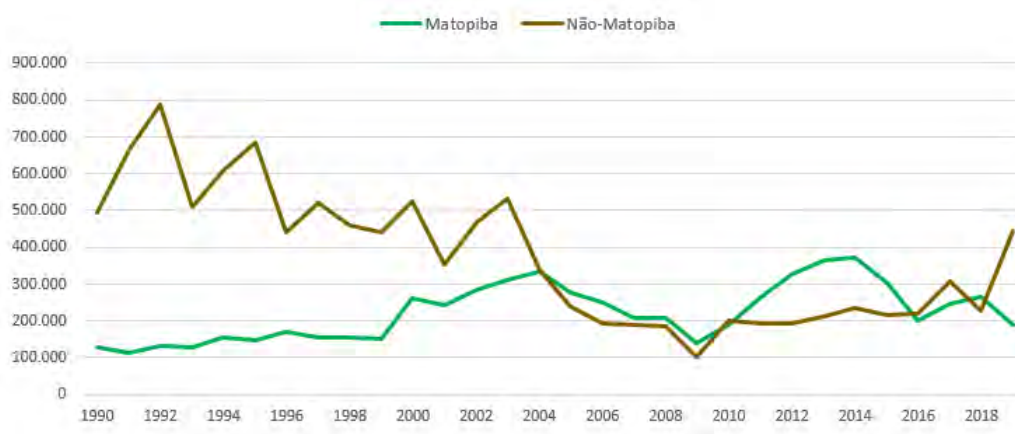


Figura 1: Evolução do desmatamento no Cerrado (ha)

Nessa região, Tocantins e Maranhão se mantiveram como os estados com maior nível de desmatamento em todos os anos das três décadas, o que é reiterado pela figura 2<sup>12</sup>. Em

<sup>12</sup>Na figura 2, está apresentada em verde a área (em hectares) desmatada, enquanto em dourado é mostrado o

Tocantins, por exemplo, foi retirado 19,5% do nível de vegetação nativa de 1990 - segunda maior queda entre os estados desse grupo. No entanto, o desmatamento nessa região parece ter atingido seu ponto máximo na primeira metade da década de 2010, e vem desenhando um movimento descendente desde então: em 2019, a área retirada de vegetação nativa foi praticamente a metade da área desmatada no ano de 2014 (pico da série).

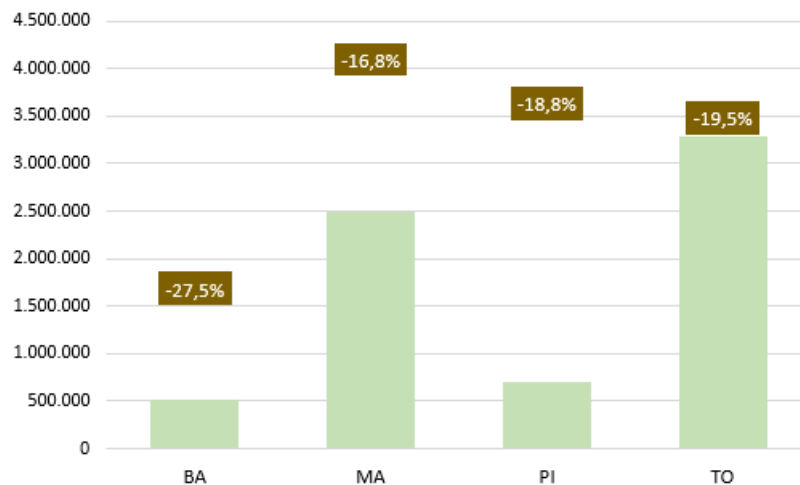


Figura 2: Evolução do desmatamento no MATOPIBA de 1990 a 2019

Na região Não MATOPIBA, Goiás e Mato Grosso apresentaram a maior perda de vegetação nativa nesse intervalo de três décadas (figura 3), mas foi a queda significativa na taxa de desmatamento nesses estados a partir de 2004, sobretudo, que trouxe a convergência nos níveis das duas regiões. A taxa de desmatamento no grupo Não MATOPIBA volta a subir de forma relevante apenas na segunda metade da década 2010-2019, quando não só esses dois estados voltaram a apresentar níveis maiores de retirada de vegetação nativa, mas também Minas Gerais ganhou destaque negativo: nesse grupo, a área desmatada em 2019 foi 90% maior que área retirada em 2014.

Por fim, corroborando o crescente protagonismo da região MATOPIBA como nova fronteira do desmatamento no Cerrado, a figura 4 mostra que a média da retirada de vegetação nativa nos municípios desse grupo vem crescendo a cada década, ao passo que o mesmo indicador para municípios Não MATOPIBA vem caindo expressiva e consistentemente desde 1990. Contudo, é importante atentar, novamente, que a segunda metade da década de 2010 pode ter iniciado um movimento contrário ao previamente explicitado.

Outra forma relevante de entender os movimentos de desmatamento no Cerrado é observar a evolução na cobertura e uso do solo a partir das categorias Vegetação primária, Agri-

---

valor percentual do desmatamento (ou seja, o quanto foi desmatado em relação à vegetação primária no estado no início do período)

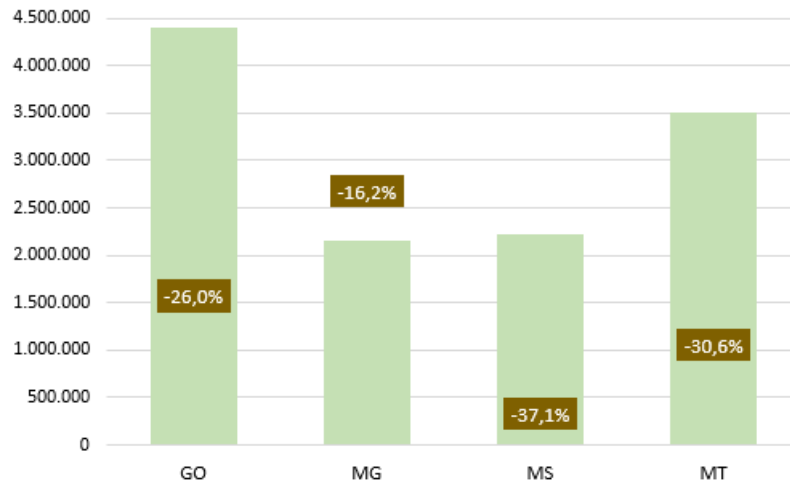


Figura 3: Evolução do desmatamento no Não-MATOPIBA de 1990 a 2019

		Matopiba	Não-Matopiba
1990-1999	Média	7.109	11.315
	Desvio-padrão	9.775	23.614
2000-2009	Média	12.452	6.308
	Desvio-padrão	18.779	11.905
2010-2019	Média	13.485	4.936
	Desvio-padrão	16.980	7.892

Figura 4: Estatísticas de desmatamento no Cerrado

cultura e Pastagem - como classificado pelo MapBiomias.

Como ilustra a figura 5, a vegetação nativa ocupava, em 1989, 58% do território total do Cerrado, participação que se reduziu para 45% em 2019. Se, por um lado, foi a agricultura que mais expandiu seu alcance (em 8%), por outro lado, a pecuária continua tendo o peso mais relevante, com 32% da área total do bioma. Quando fazemos a separação entre MATOPIBA e Não MATOPIBA, encontramos movimentos semelhantes, embora a patamares bem distintos.



Figura 5: Peso na cobertura do solo no Cerrado

Nesse primeiro grupo, a vegetação primária correspondia, em 1989, a 75% do território, diminuindo para 61% em 2019. A pecuária e a agricultura evoluíram, por outro lado, de 7% a 16% e de 0% a 8% no mesmo período, respectivamente. Quando observamos na figura 6 a evolução da cobertura e do uso do solo (em hectares), percebemos disparidades importantes entre os estados: enquanto Maranhão e Tocantins experimentam um protagonismo da pecuária, Bahia e Piauí tiveram o avanço quase absoluto da agricultura.

Além das diferenças estaduais, percebemos distinções relevantes na evolução de cada categoria de uso do solo em cada década. Nesse grupo, a área convertida para agricultura em 2010-2019 foi 59,0% maior que a área revertida na década anterior, e mais de cinco vezes maior do que entre 1990 e 1999. O estado outlier da região - cujo desempenho diferenciado foi responsável pela maior parte desse crescimento - foi Tocantins, onde a área convertida para agricultura durante a década 2010-2019, por exemplo, foi 3,3 vezes maior do que na década anterior. Por outro lado, a área revertida para pastagem nessa região em 2010-2019 foi menor do que na década anterior; o único estado que viu aumento da área convertida ao longo das três décadas foi o Maranhão. No entanto, é válido lembrar que, por mais que haja um movimento de aceleração da área dedicada à agricultura e uma tendência de desaceleração da conversão para a pecuária, houve em todas as décadas um crescimento expressivo da área destinada a essas atividades - à custa da retirada de vegetação nativa.

Por fim, podemos olhar com mais detalhes a evolução mais recente do uso do solo na

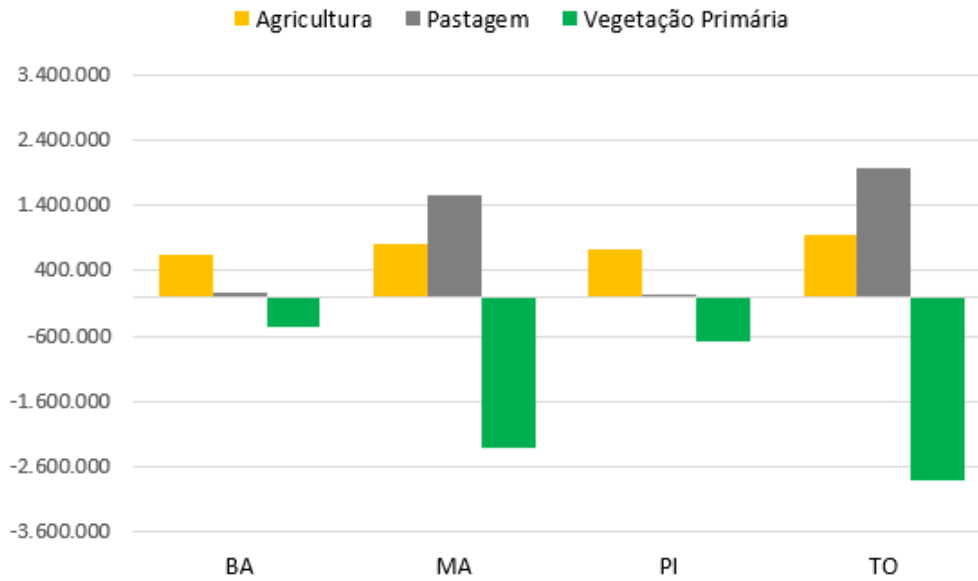


Figura 6: Evolução do uso do solo no Matopiba de 1990 a 2019

região. Por um lado, a área convertida em agricultura entre 2015 e 2019 foi 59% menor que na primeira metade dessa década, quando somados apenas os estados da Bahia, do Piauí e do Maranhão. Apenas Tocantins manteve um ritmo praticamente estável de conversão em área agrícola. Quando olhamos, contudo, para a área convertida em pastagem, a dinâmica é praticamente contrária, com Tocantins apresentando 41% menos de conversão na segunda metade da década do que entre 2010 e 2014. Esse movimento indica que a redução do desmatamento na segunda metade dos anos 2010 está atrelada a uma diminuição do ritmo de conversão agrícola nos três primeiros estados citados, ao passo que essa mesma queda em Tocantins está relacionada à redução do ritmo de conversão em área de pastagem.

Na região Não MATOPIBA, por sua vez, a vegetação nativa correspondia a apenas 49% do total em 1989, reduzida a 37% em 2019. A pecuária e a agricultura foram de 38% e 5% a 40% e 14%, respectivamente. É relevante apontar, no entanto, que a evolução do uso do solo nessa região não foi uniforme ao longo das três décadas - conforme mostram as figuras 7, 8, 9. A pecuária teve uma enorme expansão de 1990 a 1999 (sobretudo nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso), mas começou a perder protagonismo para a agricultura a partir dos anos 2000.

A área de pastagem diminuiu ligeiramente na década de 2000-2009 (puxada pela redução em Goiás e no Mato Grosso), mas caiu drasticamente na década de 2010-2019, quando sua perda de área - ao somarmos os estados de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul - é maior do que a de vegetação nativa. Por outro lado, a área convertida para atividade agrícola nessa última década foi mais de três vezes maior que a área revertida entre 1990 e 1999 e

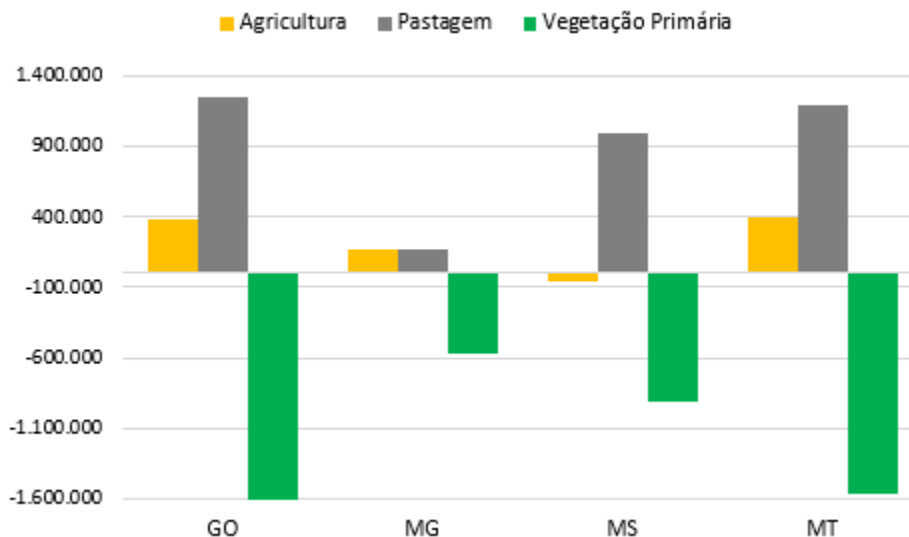


Figura 7: Evolução do uso do solo no Não-Matopiba de 1990 a 1999

mais de 28% maior que entre 2000 e 2009, movimento puxado sobretudo pelos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul. É coerente inferir, dessa forma, que a expansão das culturas agrícolas esteja ocorrendo não apenas em áreas de vegetação nativa, mas também em antigas áreas de pastagem.

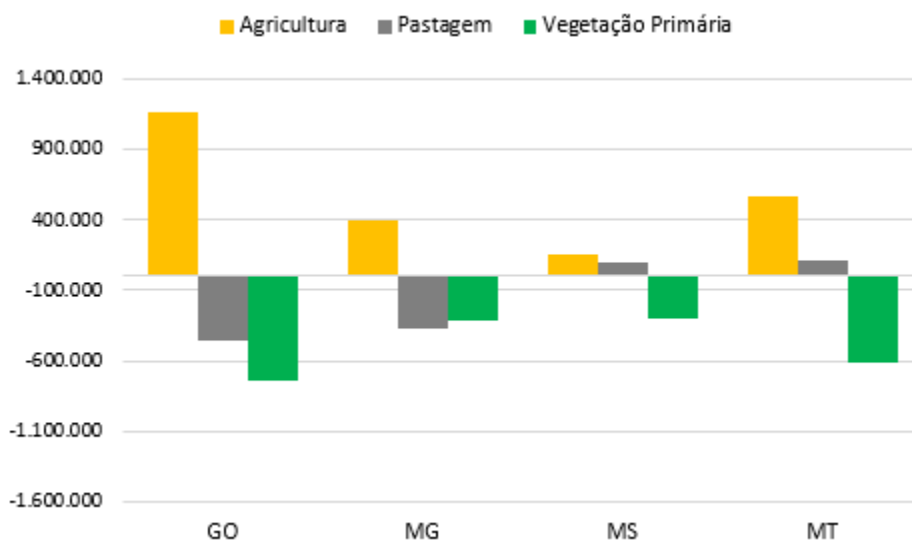


Figura 8: Evolução do uso do solo no Não-Matopiba de 2000 a 2009

Por fim, essa região - assim como os municípios do MATOPIBA - também apresentou defasagens importantes entre cada metade da década 2010-2019. Por um lado, diminuiu-se a velocidade de conversão de área para agricultura (28% menor entre 2015 e 2019 do que entre

2010 e 2014 - respectivamente, 1.263K e 1.746K ha), com destaque para o estado de Goiás, cuja área convertida foi 39% menor. Por outro lado, a enorme diminuição da área voltada para pastagem vista na primeira metade da década (perda de 1.290K ha) perdeu a força entre 2015 e 2019, quando a redução da área destinada a essa atividade ficou em 115K ha.

Dessa forma, talvez seja mais assertivo sugerir que o avanço da agricultura sobre áreas antigas de pastagem, na região Não MATOPIBA, foi mais relevante na primeira metade dessa última década.

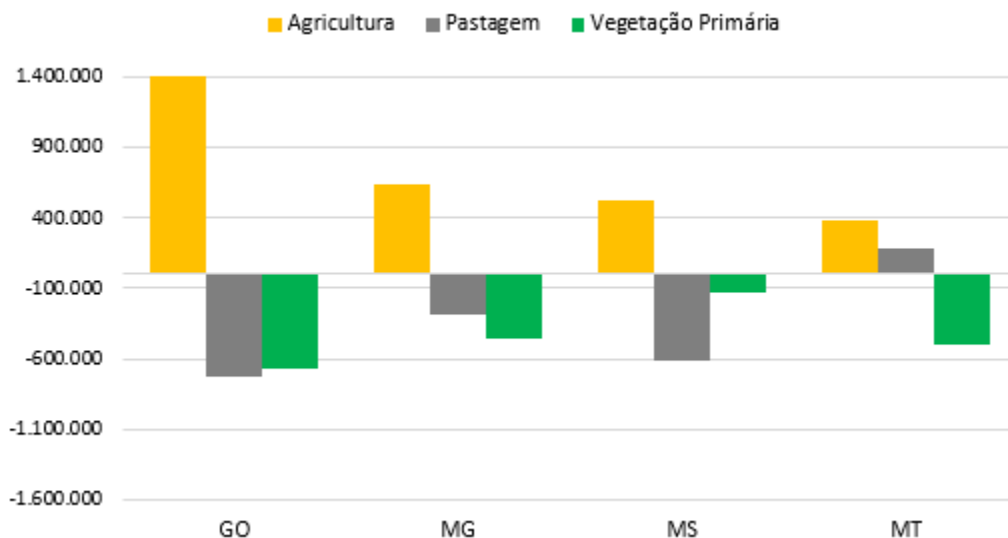


Figura 9: Evolução do uso do solo no Não-Matopiba de 2010 a 2019

## 4.2 Commodities produzidas no Bioma

Após entender a evolução da cobertura do solo no Cerrado, é relevante observar em mais detalhes as mudanças na produção das principais culturas agrícolas do bioma. Durante as três últimas décadas, a soja foi a cultura predominante, distanciando-se largamente das demais (em área plantada) a partir do início deste século: entre 2000 e 2019, sua área se multiplicou em 4,4 vezes. O milho se manteve na segunda posição em todo o período, mas foi a partir de 2006 que a área dedicada a essa commodity começou a subir consistentemente (crescendo em 2,3 vezes até 2019). Por outro lado, a área dedicada ao plantio de arroz teve a maior queda entre as culturas mostradas - reduzida a apenas 20% da sua área de 1990 -, tornando-se a commodity com menor área plantada em 2019.

Esse movimento ocorreu de forma semelhante na região MATOPIBA. Em 1990, a soja, o milho e o arroz representavam, respectivamente, 7%, 25% e 48% do total da área plantada nos municípios desse grupo. Em 2019, por outro lado, esses valores eram de 66%, 19% e

4%. Nos municípios desse grupo, no entanto, a soja só assumiu o protagonismo a partir dos anos 2000 (como mostra a figura 10), crescendo em 8 vezes sua área plantada entre 2000 e 2019. O milho, no entanto, só assumiu a segunda posição definitivamente a partir de 2012: nessa última década, a área dedicada ao plantio dessa cultura cresceu em 2,3 vezes.

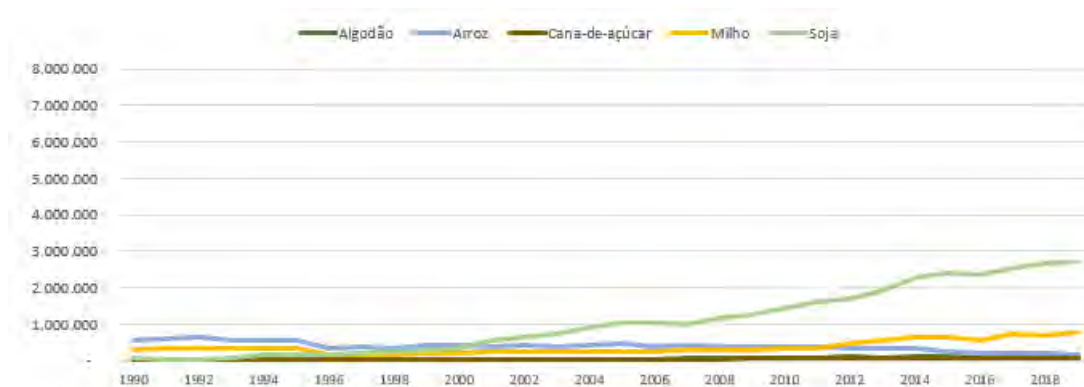


Figura 10: Evolução da área plantada no MATOPIBA

No grupo Não MATOPIBA, a soja e o milho já eram as duas principais culturas plantadas desde o início da série (figura 11), representando respectivamente 47% e 26% da área plantada total na região. Foi na década de 2000-2009, contudo, que a soja se distanciou largamente do milho: nesse intervalo de tempo, as áreas dedicadas a essas culturas cresceram em, respectivamente, 54% e 30%. Na década seguinte, no entanto, embora a diferença de área plantada (em ha) entre as duas culturas não tenha mudado drasticamente, o milho viveu um crescimento bem mais acelerado que a soja: suas áreas plantadas aumentaram em, respectivamente, 76% e 41%. Mesmo com esse aumento, as duas culturas não modificaram relevantemente sua participação na área cultivada total até o fim do período observado, em 2019, com peso de 53% e 27%. Por fim, vale destacar o crescimento acelerado, a partir de 2006, da plantação de cana-de-açúcar: até o fim de 2019, sua área plantada havia crescido em 3,4 vezes.

Quando investigamos a evolução da área plantada por UF, percebemos, por meio da figura 12, que em todos os quatro estados da região MATOPIBA houve crescimento predominante da soja e que a maioria da queda da área plantada de arroz veio do Maranhão (78%).

A partir da figura 13, percebemos o protagonismo do estado de Goiás na produção agrícola do grupo Não MATOPIBA, com o maior aumento da produção - dentre os estados da região - de soja, milho e cana-de-açúcar. Vale ressaltar, ainda, o estado de Mato Grosso do Sul, onde o aumento da área plantada de milho foi maior que o de soja: entre 1990 e 2019, o peso das duas culturas foi, respectivamente, de 78% e 15% para 55% e 35%.

Por fim, podemos observar, na figura 14, a trajetória do preço internacional das commo-



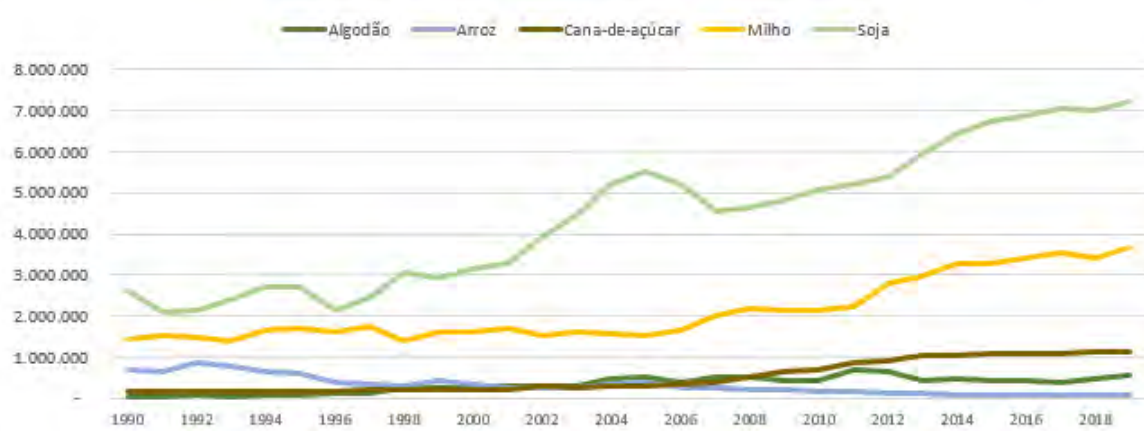


Figura 11: Evolução da área plantada no Não-MATOPIBA

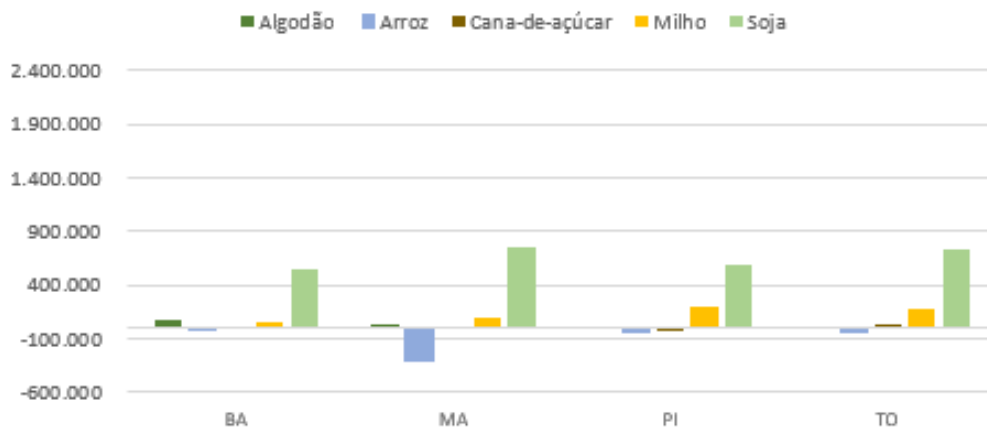


Figura 12: Variação da área plantada no MATOPIBA de 1990 a 2019

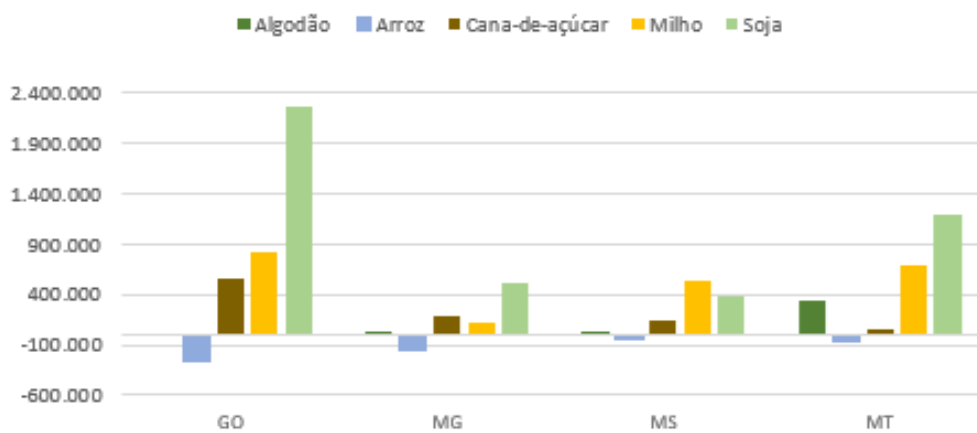


Figura 13: Variação da área plantada no Não-MATOPIBA de 1990 a 2019

dities produzidas no Cerrado. Durante a década de 1990-1999, os preços da carne e do arroz observaram leves quedas, enquanto os preços do algodão, da soja e do milho se mantiveram relativamente constantes. Nesse mesmo período, houve queda significativa da área plantada de arroz no Cerrado, com destaque para a região Não MATOPIBA.

Entre os anos 2000 e 2009, todas as commodities experimentaram altas no preço - foi o período do boom da demanda chinesa. Nesse período, como visto anteriormente, a soja começou a despontar em quantidade de área plantada.

Durante os anos 2010, os preços seguiram uma dinâmica diferente: enquanto as commodities agrícolas tiveram um pico de preço no início da década seguido de um movimento descendente, a carne permaneceu em plena ascensão. No entanto, nesse mesmo período, o aumento de área voltada para a agricultura foi 37% maior do que na década anterior, e a área voltada para pastagem diminuiu em 308K hectares (única dentre as décadas analisadas em que houve perda de área dessa atividade).

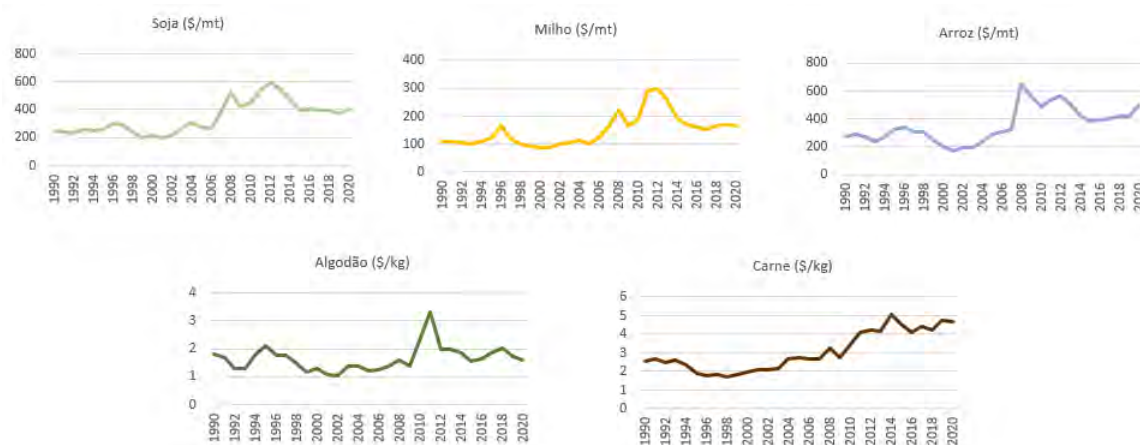


Figura 14: Evolução dos preços internacionais de Commodities

## 5 Metodologia empírica

Observada a evolução do uso do solo no Cerrado Brasileiro no capítulo anterior, podemos fazer investigações preliminares sobre possíveis determinantes do desmatamento no bioma. Assim, não é o objetivo desse artigo se aprofundar na investigação de relações de causalidade entre variáveis, mas apontar fatores que aparentam estar correlacionados com a retirada de vegetação nativa no Cerrado e tentar indicar, também, para qual direção vai esse efeito.

Para cada tipo de regressão formulada abaixo, foram separadas nove amostras diferentes, originadas da combinação entre os clusters espaciais Cerrado, MATOPIBA e Não MATOPIBA com cada década do período analisado (1990-1999, 2000-2009 e 2010-2019). Assim, foram rodadas 36 regressões, mas apenas as tabelas que continham algum coeficiente estatisticamente significativo foram incluídas nesse artigo.

De início, utilizo a seguinte regressão de MQO:

$$Desmat_{i,t} = \alpha + \beta_1 Preco_{i,t} + \varepsilon \quad (1)$$

onde  $\alpha$  é o intercepto,  $Desmat_{i,t}$  é o valor normalizado da área desmatada no município  $i$  no ano  $t$  (conforme indicado no capítulo de Dados),  $Preco_{i,t}$  é o índice de preço de cada município  $i$  em um ano  $t$  (como também mostrado no capítulo de Dados) e  $\varepsilon$  é o erro.

Após esse primeiro resultado, e em uma tentativa de aumentar a exogeneidade das variáveis explicativas, é relevante adicionar como regressor a produtividade da pecuária - cuja lógica econômica também já foi abordada no capítulo de Dados. Assim, a próxima regressão foi construída da seguinte forma:

$$Desmat_{i,t} = \alpha + \beta_1 Preco_{i,t} + \beta_2 Prodpec_{it} + \varepsilon \quad (2)$$

onde  $Prodpec_{it}$  é a produtividade da pecuária no município  $i$  no ano  $t$ .

Em seguida, é adicionada como variável explicativa em uma nova regressão a produtividade agrícola de cada município  $i$  para cada ano  $t$ :

$$Desmat_{i,t} = \alpha + \beta_1 Preco_{i,t} + \beta_2 Prodpec_{it} + \beta_3 Prodagr_{it} + \varepsilon \quad (3)$$

Por fim, na tentativa de usar os dados em painel para amenizar a colinearidade entre as variáveis, são adicionados os efeitos fixos de ano e de município à regressão:

$$Desmat_{i,t} = \alpha + \beta_1 Preco_{i,t} + \beta_2 Prodpec_{it} + \beta_3 Prodagr_{it} + \omega_t + \varepsilon \quad (4)$$

onde  $\omega_t$  é o efeito fixo de ano.

## 6 Resultados

Para cada uma das nove amostras, foram exploradas as quatro equações explicitadas no capítulo anterior.

No primeiro conjunto de regressões realizadas, utilizei a base com os municípios de todo o Cerrado, explorando cada década separadamente. Por um lado, não encontrei nenhum coeficiente estatisticamente significativo para as décadas de 1990-1999 e 2010-2019, o que sugere, para esses intervalos de tempo, uma ausência de correlação entre o desmatamento e os preços das commodities e as produtividades da pecuária e da agricultura.

Por outro lado, para a década de 2000 a 2009, as quatro regressões encontraram coeficientes estatisticamente significantes para os preços internacionais. Conforme demonstra a tabela abaixo, as três regressões MQO apresentam níveis de significância menores que 1%, ao passo que a regressão de efeitos fixos indica, a um nível de significância de 10%, que os coeficientes para os preços internacionais e para a produtividade da pecuária são diferentes de zero. No entanto, é importante destacar o baixo valor do R-quadrado em todas as regressões, o que indica que a variação do modelo construído com essas variáveis explicativas não capta grande parte da variação da variável dependente.

Drivers do desmatamento no Cerrado de 2000 a 2009				
	Desmatamento (ha)			
	Desmat			<i>panel linear</i>
	<i>OLS</i>	<i>OLS</i>	<i>OLS</i>	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Preços internacionais	-0.002*** (0.001)	-0.002*** (0.001)	-0.003*** (0.001)	-0.004* (0.002)
Produtividade da pecuária		0.019 (0.016)	0.020 (0.016)	0.094* (0.049)
Produtividade agrícola			0.00001 (0.00001)	-0.00001 (0.00004)
Constante	0.017 (0.012)	-0.002 (0.020)	-0.003 (0.020)	
Observations	6,980	6,959	6,959	6,959
R <sup>2</sup>	0.002	0.002	0.002	0.001
Adjusted R <sup>2</sup>	0.002	0.002	0.002	-0.112
Residual Std. Error	0.948 (df = 6978)	0.948 (df = 6956)	0.948 (df = 6955)	
F Statistic	13.268*** (df = 1; 6978)	7.417*** (df = 2; 6956)	5.156*** (df = 3; 6955)	2.692** (df = 3; 6251)
Níveis de significância	*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01			

Em todas as quatro regressões, é curioso observar que o sinal do coeficiente do preço é negativo. Logo, um aumento dos preços internacionais das commodities (conforme foi observado para esse período na figura 14) reduziria a retirada de vegetação nativa. Como

apontado por Angelsen (1999), esse movimento poderia existir em modelos que assumem subsistência do produtor, em que um aumento de preço - e, conseqüentemente, do lucro - permitiria maior uso do tempo para lazer. No entanto, parece improvável que seja esse o caso para o Cerrado, já que a maior parte da área plantada no bioma está voltada para o plantio de commodities para exportação (com destaque para soja e milho) em larga escala. Assim, esse resultado sugere que o modelo omite variáveis relevantes para explicar o desmatamento no Cerrado entre os anos 2000 e 2009.

O sinal positivo do coeficiente atrelado à produtividade da pecuária na regressão de efeitos fixos, por sua vez, sugere que, com a intensificação da criação de gado (ou seja, mais cabeças por hectare), o lucro da atividade aumentaria (via diluição do custo fixo com terreno) e haveria mais capital para reinvestimento na produção, acarretando mais vegetação nativa retirada. No entanto, ainda valem os entraves inerentes a essa regressão citados acima, com baixo R-quadrado e com potencial viés de variável omitida.

As regressões feitas para o cluster MATOPIBA apresentaram resultados relevantes em todas as três décadas - com destaque para a produtividade da pecuária. Por um lado, na década de 1990-1999, apenas a regressão 3 apresentou um coeficiente positivo estatisticamente significativo (no caso, a 10%) para essa variável, conforme mostra a tabela abaixo. A provável lógica econômica por trás desse sinal já foi discutida acima.

Drivers do desmatamento no MATOPIBA de 1990 a 1999				
	Desmatamento (ha)			
	Desmat			<i>panel linear</i> (4)
	(1)	(2)	(3)	
Preços internacionais	0.016 (0.012)	0.015 (0.012)	0.023 (0.016)	0.050** (0.024)
Produtividade da pecuária		0.063 (0.039)	0.065* (0.039)	0.004 (0.084)
Produtividade agrícola			-0.001 (0.002)	-0.005 (0.003)
Constante	-0.011 (0.022)	-0.038 (0.028)	-0.039 (0.028)	
Observations	2,020	2,020	2,020	2,020
R <sup>2</sup>	0.001	0.002	0.003	0.002
Adjusted R <sup>2</sup>	0.0005	0.001	0.001	-0.115
Residual Std. Error	0.949 (df = 2018)	0.948 (df = 2017)	0.948 (df = 2016)	
F Statistic	1.989 (df = 1; 2018)	2.284 (df = 2; 2017)	1.713 (df = 3; 2016)	1.462 (df = 3; 1806)
Níveis de significância				* p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01

A regressão de efeitos fixos, por outro lado, apresentou para a variável Preços Internacionais um coeficiente positivo e estatisticamente significativo a 5%, o que poderia indicar

que, quanto maiores os preços das commodities, maior o retorno financeiro sobre a atividade, maior a capacidade de reinvestimento e, logo, maior a retirada de vegetação nativa. Novamente, é necessário atentar para o baixo R-quadrado da regressão e para a potencial omissão de variáveis relevantes.

Nas regressões feitas com a amostra da região MATOPIBA entre os anos 2000 e 2009 (tabela abaixo), o destaque vai para o coeficiente atrelado à produtividade da pecuária na regressão de efeitos fixos, estatisticamente significativa a 1%. Seu sinal positivo indicaria, como já explicitado acima, que o maior retorno financeiro da atividade pecuária incentivaria reinvestimentos na produção, o que acarretaria em mais desmatamento. Vale citar, por fim, que a regressão 3 encontrou, para a variável de preços internacionais, um coeficiente positivo e estatisticamente significativa a 10%.

Drivers do desmatamento no MATOPIBA de 2000 a 2009				
	Desmatamento (ha)			
	Desmat			<i>panel linear</i>
	OLS			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Preços internacionais	-0.010 (0.006)	-0.009 (0.006)	-0.012* (0.007)	0.001 (0.013)
Produtividade da pecuária		0.054 (0.045)	0.057 (0.045)	0.932*** (0.150)
Produtividade agrícola			0.0003 (0.0003)	0.0004 (0.001)
Constante	0.016 (0.023)	-0.021 (0.039)	-0.023 (0.039)	
Observations	2,020	2,020	2,020	2,020
R <sup>2</sup>	0.001	0.002	0.002	0.021
Adjusted R <sup>2</sup>	0.001	0.001	0.001	-0.095
Residual Std. Error	0.949 (df = 2018)	0.948 (df = 2017)	0.949 (df = 2016)	
F Statistic	2.631 (df = 1; 2018)	2.040 (df = 2; 2017)	1.537 (df = 3; 2016)	12.833*** (df = 3; 1806)
Níveis de significância				*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Para os anos 2010-2019 no MATOPIBA, todas as equações que incluíam como regressor a produtividade da pecuária produziram coeficientes positivos e estatisticamente significantes para essa variável (a 5% para as regressões 2 e 3 e a 1% para a regressão 4), como mostra a tabela abaixo. Vale destacar, adicionalmente, que a regressão de efeitos fixos dessa amostra foi a única que apresentou um coeficiente (positivo) estatisticamente significativo (a 10%) para a variável produtividade agrícola. A lógica econômica por trás desse efeito é a mesma da já explicada para a produtividade da pecuária.

Nenhuma das regressões realizadas para a região Não MATOPIBA encontrou coeficientes estatisticamente significantes. Logo, em nenhuma das décadas o desmatamento aparenta

Drivers do desmatamento no MATOPIBA de 2010 a 2019

	Desmatamento (ha)			
	Desmat			<i>panel linear</i>
	(1)	<i>OLS</i> (2)	(3)	
Preços internacionais	0.001 (0.001)	0.001* (0.001)	0.001 (0.001)	0.001 (0.001)
Produtividade da pecuária		0.096** (0.044)	0.098** (0.044)	0.910*** (0.146)
Produtividade agrícola			0.0001 (0.0001)	0.0004* (0.0002)
Constante	-0.011 (0.022)	-0.085** (0.040)	-0.090** (0.041)	
Observations	2,020	2,020	2,020	2,020
R <sup>2</sup>	0.001	0.004	0.004	0.024
Adjusted R <sup>2</sup>	0.001	0.003	0.002	-0.091
Residual Std. Error	0.949 (df = 2018)	0.948 (df = 2017)	0.948 (df = 2016)	
F Statistic	2.664 (df = 1; 2018)	3.733** (df = 2; 2017)	2.619** (df = 3; 2016)	14.972*** (df = 3; 1806)
Níveis de significância	* p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01			

ter alguma correlação com o preço das commodities e com as produtividades da pecuária e da agricultura.

## 7 Conclusão

Esse artigo buscou explorar a evolução e os determinantes do desmatamento no Cerrado nas últimas três décadas. Se, por um lado, o ritmo do desmatamento no Cerrado esteve, nesse período, em um movimento decrescente, a tendência não foi uniforme pelo bioma nem a cada década. Enquanto nos anos 1990 a região Não MATOPIBA era responsável pela maior parte (80%) do total da retirada de vegetação nativa no bioma, os municípios do MATOPIBA representaram 53% de todo o desmatamento na década de 2010-2019, o que reitera o título de "nova fronteira agrícola" desse cluster. Nessas duas regiões, o avanço da soja e do milho foram os principais responsáveis pela área dedicada à agricultura nessa última década - embora a pecuária ainda seja de longe a atividade econômica com maior área em hectares.

Adicionalmente, por mais que as regressões econométricas não tenham apresentado níveis relevantes de R-quadrado e possam existir outras variáveis relevantes para o desmatamento (conforme discutido na seção de literatura) que foram omitidas nesse estudo, vale destacar que em todas as três décadas as regressões com as amostras do MATOPIBA encontraram algum coeficiente estatisticamente significativo. Por um lado, os preços internacionais apresentaram correlação positiva com o desmatamento na regressão de efeitos fixos para os anos 1990-1999: nessa perspectiva, maiores preços trariam maior retorno financeiro e maior o desejo de reinvestir na produção - o que ocasionaria mais retirada de vegetação nativa. Por outro lado, para os anos 2000-2009, o destaque foi o coeficiente positivo atrelado à produtividade da pecuária na regressão 4, significativa a 1%. Por fim, essa variável também foi protagonista nas regressões com a amostra da década de 2010, apresentando coeficientes positivos para as regressões em MQO e em efeitos fixos.

Dadas as limitações desse artigo, um futuro estudo poderia buscar aprofundar a investigação empírica do desmatamento no Cerrado, explorando, por exemplo, contextos espaciais e temporais específicos (como alguns estados em especial) cuja disponibilidade de dados seja mais vasta - o que adicionaria drivers importantes de retirada de vegetação nativa aos regressores, como por exemplo crédito rural (bases do Banco Central do Brasil) e densidade de infraestrutura logística no município (bases do próprio MapBiomas). O vasto aumento da disponibilidade de dados espaciais também pode contribuir para uma análise mais detalhada do desmatamento em níveis mais granulares - em que poderiam ser adicionadas, por exemplo, características biomorfológicas da região às variáveis explicativas.

Dessa forma, é importante trazer cada vez mais o Cerrado para os holofotes do debate sobre o futuro econômico e ambiental do Brasil. Nos próximos anos, um caminho promissor para reduzir a retirada de vegetação nativa seria direcionar, por exemplo, a expansão da produção agrícola para antigas áreas de pastagem - movimento já aparentemente iniciado em



municípios do cluster Não MATOPIBA. Portanto, mitigar o impacto negativo já causado à biodiversidade e aos serviços ecossistêmicos do bioma é essencial para o futuro da produção agropecuária do país e para a sobrevivência de vários outros biomas do Brasil.

## Referências

ANGELSEN, Arild; KAIMOWITZ, David. Rethinking the causes of deforestation: lessons from economic models. *The world bank research observer*, v. 14, n. 1, p. 73-98, 1999.

BARBIER, Edward B.; BURGESS, Joanne C. The economics of tropical deforestation. *Journal of Economic Surveys*, v. 15, n. 3, p. 413-433, 2001.

BRANNSTROM, Christian et al. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986–2002: Comparative analysis and implications for land-use policy. *Land use policy*, v. 25, n. 4, p. 579-595, 2008.

BRUM, Fernanda T. et al. Forecasting conservation impact to pinpoint spatial priorities in the Brazilian Cerrado. *Biological Conservation*, v. 240, p. 108283, 2019.

BUSCH, Jonah; FERRETTI-GALLON, Kalifi. What drives deforestation and what stops it? A meta-analysis. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2020.

BUSTAMANTE, M. Política de clima negligencia o Cerrado: mais uma vez. *Observatório do Clima*, November 24, 2015. 2015.

CARNEIRO FILHO, Arnaldo; COSTA, Karine. A expansão da soja no cerrado. *Caminhos para a ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável*. São Paulo, Agroicone, p. p1-30, 2016.

CARRANZA, Tharsila et al. Protected area effectiveness in reducing conversion in a rapidly vanishing ecosystem: the Brazilian Cerrado. *Conservation Letters*, v. 7, n. 3, p. 216-223, 2014.

COE, Michael T. et al. Deforestation and climate feedbacks threaten the ecological integrity of south–southeastern Amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 368, n. 1619, p. 20120155, 2013.

DA SILVA, Jonathan Goncalves; RUVIARO, Clandio Favarini; DE SOUZA FERREIRA FILHO, Joaquim Bento. Livestock intensification as a climate policy: Lessons from the Brazilian case. *Land Use Policy*, v. 62, p. 232-245, 2017.

DE ARRUDA, Murilo Rodrigues et al. Agricultural land use change and associated driving forces over the past 180 years in two municipalities of the Brazilian Cerrado. *GeoJournal*, v. 84, n. 3, p. 555-570, 2019.

FERREIRA, Manuel E. et al. Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: future scenarios and perspectives for conservation. *Journal of Land Use Science*, v. 8, n. 4, p. 403-421, 2013.

FERRER VELASCO, Rubén et al. Scale and context dependency of deforestation drivers: Insights from spatial econometrics in the tropics. *PloS one*, v. 15, n. 1, p. e0226830, 2020.

GARCIA, Andrea Santos; BALLESTER, Maria Victoria Ramos. Land cover and land use changes in a Brazilian Cerrado landscape: drivers, processes, and patterns. *Journal of Land Use Science*, v. 11, n. 5, p. 538-559, 2016.

GRECCHI, Rosana Cristina et al. Land use and land cover changes in the Brazilian Cerrado: A multidisciplinary approach to assess the impacts of agricultural expansion. *Applied Geography*, v. 55, p. 300-312, 2014.

<https://mapbiomas.org/>

HOLDEN, Stein T. Peasant household modelling: Farming systems evolution and sustainability in northern Zambia. *Agricultural Economics*, v. 9, n. 3, p. 241-267, 1993.

LIMA, T. Carvalho; RIBEIRO, S. Carvalho; SOARES-FILHO, B. Integrating econometric and spatially explicit dynamic models to simulate land use transitions in the Cerrado Biome. In: *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios*. Springer, Cham, 2018. p. 399-417.

MALHADO, Ana Cláudia Mendes; PIRES, Gabrielle Ferreira; COSTA, Marcos Heil. Cerrado conservation is essential to protect the Amazon rainforest. *Ambio*, v. 39, n. 8, p. 580-584, 2010.

Ministério do Meio Ambiente. Site oficial do Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>.

MÜLLER BURGAN, Anita Elvira et al. Cerrado brasileiro: do histórico de ocupação ao atual estado de conservação.

NEPSTAD, Lucy S. et al. Pathways for recent Cerrado soybean expansion: extending the soy moratorium and implementing integrated crop livestock systems with soybeans. *Environmental Research Letters*, v. 14, n. 4, p. 044029, 2019.

NOOJIPADY, Praveen et al. Forest carbon emissions from cropland expansion in the Brazilian Cerrado biome. *Environmental Research Letters*, v. 12, n. 2, p. 025004, 2017.

PFAFF, Alexander SP. What drives deforestation in the Brazilian Amazon?: Evidence from satellite and socioeconomic data. *Journal of environmental economics and management*, v. 37, n. 1, p. 26-43, 1999.

PIRES, Mauro Oliveira. Programas agrícolas na ocupação do Cerrado. *Sociedade e cultura*, v. 3, n. 1-2, p. 111-131, 2000.

SPERA, Stephanie A. et al. Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. *Global change biology*, v. 22, n. 10, p. 3405-3413, 2016.

SPERA, Stephanie; VANWEY, Leah; MUSTARD, Jack. The drivers of sugarcane expansion in Goiás, Brazil. *Land Use Policy*, v. 66, p. 111-119, 2017.

STEFANES, Mauricio et al. Property size drives differences in forest code compliance in the Brazilian Cerrado. *Land Use Policy*, v. 75, p. 43-49, 2018.

STRASSBURG, Bernardo BN et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology Evolution*, v. 1, n. 4, p. 1-3, 2017.

TRIGUEIRO, Werikson Rodrigues; NABOUT, João Carlos; TESSAROLO, Geiziane. Uncovering the spatial variability of recent deforestation drivers in the Brazilian Cerrado. *Journal of Environmental Management*, v. 275, p. 111243, 2020.