



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM RECURSOS NATURAIS DO CERRADO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Recursos Naturais do Cerrado

WERIKSON RODRIGUES TRIGUEIRO

**VARIAÇÃO ESPACIAL DOS FATORES QUE DIRECIONAM O
DESMATAMENTO DO CERRADO**

Anápolis

2019

WERIKSON RODRIGUES TRIGUEIRO

**VARIAÇÃO ESPACIAL DOS FATORES QUE DIRECIONAM O
DESMATAMENTO DO CERRADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Recursos Naturais do Cerrado, da Universidade Estadual de Goiás para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais do Cerrado.

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Geiziane Tessarolo
Co-Orientador: Prof. Dr. João Carlos Nabout

Anápolis

2019

Trigueiro, Werikson Rodrigues.

Variação espacial dos fatores que direcionam o desmatamento do Cerrado / Werikson Trigueiro. – 2019.

50 f.

Orientação: Prof. Dr. Geiziane Tessarolo.

Coorientação: Prof. Dr. João Carlos Nabout.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Goiás, Câmpus de Ciências Exatas e Tecnológicas, 2019.

1. Desmatamento. 2. Cerrado. 3. Regressão Geograficamente Ponderada. 4. Políticas públicas.

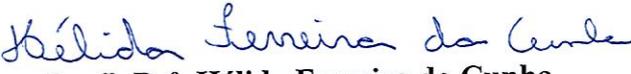
WERIKSON RODRIGUES TRIGUEIRO

VARIAÇÃO ESPACIAL DOS FATORES QUE
DIRECIONAM O DESMATAMENTO DO
CERRADO

Dissertação defendida no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos
Naturais do Cerrado da Universidade Estadual de Goiás,
para a obtenção do grau de Mestre, aprovada em 25 de fevereiro de 2019, pela
Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:


Prof.^a Dr.^a Geiziane Tessarolo
Presidente da banca
Universidade Estadual de Goiás


Prof.^a Dr.^a Elaine Barbosa da Silva
Membro externo
Universidade Federal de Goiás


Prof.^a Dr.^a Héliida Ferreira da Cunha
Membro interno
Universidade Estadual de Goiás

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me permitido participar de mais uma grande etapa da minha vida.

À minha esposa e filha por me incentivar na luta por uma melhor formação profissional.

Aos meus pais que sempre me educaram da melhor forma possível, demonstrando a importância do amor, sinceridade, honestidade, responsabilidade, empatia e busca profissional.

À orientadora Geiziane Tessarolo pela sua competência, profissionalismo, atenção e presteza, me guiando a buscar novos conhecimentos para elaboração deste trabalho.

A todos os professores que me instruíram para o desenvolvimento e crescimento da dissertação, em especial ao professor e co-orientador João Carlos Nabout, por ter me dado a oportunidade de desenvolver um trabalho diferente do tema anteriormente proposto e por ter me instruído na complexa matéria de estatística, tão importante ao resultado do trabalho.

Aos professores Fabrício Barreto Tereza, Patrick Thomaz de Aquino Martins, Elaine Barbosa da Silva e Héliida Ferreira da Cunha pelas sugestões dadas durante a qualificação e defesa desta dissertação, que contribuíram satisfatoriamente para o complemento deste trabalho.

E ao Ibama que me proporcionou e incentivou a minha participação nessa qualificação profissional, certo de trazer frutos positivos ao desenvolvimento do meu trabalho e da preservação ambiental.

SUMÁRIO

Resumo	05
Abstract	06
Lista de Abreviaturas	07
Introdução Geral	08
Variação espacial dos fatores que direcionam o desmatamento do Cerrado	10
<i>Introdução</i>	10
<i>Metodologia</i>	11
<i>Área de estudo</i>	11
<i>Seleção das variáveis</i>	12
<i>Análise de autocorrelação espacial</i>	14
<i>Regressão Geograficamente Ponderada (GWR)</i>	15
Resultados	17
Discussão	20
<i>Norte</i>	21
<i>Centro-norte</i>	22
<i>Centro-leste</i>	23
<i>Centro-sudeste</i>	25
<i>Oeste</i>	26
<i>Matopiba</i>	26
Recomendações gerais para a contenção do desmatamento do Cerrado	27
Conclusão	30
Referências Bibliográficas	32
Material suplementar	44

RESUMO

Nas últimas décadas o desmatamento do bioma Cerrado tem alcançado taxas alarmantes, sendo maiores que o desmatamento da Amazônia. Embora as consequências do desmatamento do Cerrado sejam agora bem conhecidas, o estudo dos motivadores do mesmo ainda é insipiente. Adicionalmente, os estudos existentes consideram que as causas do desmatamento apresentam as mesmas relações em todo o território do bioma, o que tem se mostrado ser equivocado, uma vez que processos antrópicos, incluindo o desmatamento apresentam forte estrutura espacial, levando diferentes motivadores a terem maior ou menor influência no desmatamento em diferentes regiões. Dessa forma, estudos que levem em conta a estrutura espacial no processo do desmatamento seriam mais adequados. Neste estudo foi avaliada a variabilidade espacial da relação entre o desmatamento do bioma Cerrado e variáveis socioeconômicas, ambientais e estruturais, com o objetivo de proporcionar informações que considerem as diferenças locais, subsidiando o poder público a adotar políticas adequadas a cada região ou localização. Para calcular a relação entre o desmatamento e variáveis preditoras, foi utilizada uma Regressão Geograficamente Ponderada (*Geographically Weighted Regression – GWR*). As variáveis que apresentaram as maiores relações com o desmatamento no Cerrado foram crédito rural agrícola, vegetação nativa remanescente, precipitação média, média das distâncias entre desmatamento e rodovias e declividade média. A GWR demonstrou que diferentes regiões apresentam relações diferentes com o desmatamento. Dessa forma, foi sugerido que as políticas públicas para conter o desmatamento do Cerrado devem ser implementadas de forma a contemplar as peculiaridades locais.

Palavra Chave: Desmatamento, Cerrado, Regressão Geograficamente Ponderada, políticas públicas.

ABSTRACT

In the last decades the deforestation of Cerrado biome has reached alarming rates, being greater than the deforestation of the Amazon. Although the consequences of Cerrado deforestation are now well known, the study of its motivators is still insipient. Also, the existing studies consider that the causes of deforestation have the same relationships throughout the entire biome, which has been shown to be wrong, since anthropic processes, including deforestation, have a strong spatial structure, leading to different motivators to present different intensity of influence on deforestation in different regions. Thus, studies that take into account spatial structure in the deforestation process would be more adequate to evaluate their influence. In this study, was evaluated the spatial variability of the relationship between deforestation of the Cerrado biome and socioeconomic, environmental and structural variables, in order to provide information that considers local differences and helping the delineation of public policies more appropriate to each region. Geographically Weighted Regression (GWR) was used to calculate the relationship between deforestation and predictor variables. Rural agricultural credit, remaining native vegetation, mean precipitation, average distance between deforestation and highways, and mean slope presented the strongest relationship with deforestation in the Cerrado. GWR has shown that different regions have different relationships with deforestation. Thus, the public policies to curb deforestation in the Cerrado should be implemented in a way to address local peculiarities.

Keyword: Deforestation, Cerrado, Geographically Weighted Regression, public policy.

LISTA DE ABREVIATURAS

AICc – Critério de Informação Akaike corrigido
CAR – Cadastro Ambiental Rural
CN – Número de Condições
Deter Cerrado – Sistema de detecção de degradação ambiental em tempo real no Cerrado
GWR – Regressão Geograficamente Ponderada
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICMBio – Instituto Chico Mendes de Biodiversidade
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Lapig – Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento
Matopiba – Região localizada em partes dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
MMA – Ministério do Meio Ambiente
OLS – Mínimos Quadrados Ordinários
PIB – Produto Interno Bruto
PLANAVEG – Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa
PPCerrado – Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado
Prodes Cerrado – Projeto de monitoramento anual do desmatamento no Cerrado
PROVEG – Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa
 R^2 – Coeficiente de determinação
SIG – Sistema de Informação Geográfica
VDP – Decomposição Proporcional da Variância
VIF – Fator de Inflação de Variância

INTRODUÇÃO GERAL

O bioma Cerrado está localizado na região central do Brasil, tendo contato com outros quatro principais biomas brasileiros – Caatinga, Florestas Amazônica e Atlântica e Pantanal – funcionando como um corredor ecológico para esses biomas vizinhos (OLIVEIRA, P; MARQUIS, 2002) e proporcionando um maior fluxo gênico entre os mesmos (SILVA, C., 2009). A vegetação nativa do Cerrado possui raiz profunda para extrair e reabastecer as águas subterrâneas, e os sistemas radiculares canalizam as águas das chuvas e superficiais para os reservatórios profundos, com isso consegue abastecer importantes bacias hidrográficas da América do Sul (LAHSEN; BUSTAMANTE; DALLA-NORA, 2016), fundamentais para a produção agropecuária, geração de energia, abastecimento público, e manutenção dos serviços ecossistêmicos, inclusive em outros biomas. Devido também a esse desenvolvido sistema radicular, o Cerrado possui comprovada importância para conter as mudanças climáticas, pois sua vegetação retém substancial quantidade de gás carbônico, tanto na biomassa acima do solo como abaixo do solo (BRANDÃO JUNIOR et al., 2018; NOOJIPADY et al., 2017).

No entanto, apesar da importância ambiental, social e econômica, o Cerrado vem sendo bastante degradado nas últimas décadas (PELÁ; CASTILHO, 2010). O Brasil está entre os quatro países tropicais com maiores áreas desmatadas (AUSTIN et al., 2017), e embora na última década a implementação de políticas públicas pelo governo brasileiro, tenha conseguido reduzir o desmatamento da Amazônia em cerca de 70%, o desmatamento de ecossistemas nativos não-florestados continua aumentando a taxas alarmantes, sendo o Cerrado o mais afetado desses ecossistemas (OVERBECK et al., 2015; STRASSBURG et al., 2017; STRASSBURG; LATAWIEC; BALMFORD, 2016). De acordo com Fernandes et al. (2016), cerca de 901 espécies do Cerrado já estão ameaçadas de extinção, incluindo 266 espécies de fauna e 635 espécies de flora, e segundo Strassburg et al. (2017), se as taxas atuais de expansão de áreas de agricultura no Cerrado continuarem iguais, até 2050 é provável que o bioma perca cerca de 34% de sua área de vegetação nativa restante, o que pode levar à extinção de cerca de 480 espécies de plantas endêmicas. Devido ao grande número de espécies endêmicas, associado ao alto grau de ameaça que esse bioma sofre, o Cerrado é considerado como uma das áreas prioritárias para conservação da biodiversidade mundial (MYERS et al., 2000).

Um dos motivos para a crescente degradação desse bioma, é o fato de que o Cerrado tem sido historicamente subvalorizado e negligenciado pelas políticas públicas brasileiras, pois não é considerado como patrimônio nacional pela Constituição Federal; a Reserva Legal

mínima estabelecida por lei é quatro vezes menor do que da Amazônia; e a porcentagem de áreas de Unidades de Conservação também não atendem a quantidade mínima sugerida pela Convenção da Diversidade Biológica e pelo Tratado de Aichi (BOLSON, 2018; BUSTAMANTE, 2015; OVERBECK et al. 2015).

Somente recentemente algumas políticas públicas de combate ao desmatamento foram elaboradas, com destaque ao Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado - PPCerrado, e outras ações específicas, como o Cadastro Ambiental Rural – CAR e monitoramento do desmatamento, Prodes e Deter Cerrado. Essas políticas são similares às políticas implementadas no bioma Amazônico, para o qual existem vários trabalhos estudando os motivadores e a heterogeneidade espacial do desmatamento, enquanto que para o Cerrado ainda há escassez desses estudos. Uma vez que o Cerrado possui uma grande variabilidade em seu histórico de ocupação e mudança de uso de solo, tais estudos são essenciais para implementação de políticas eficientes que considerem as peculiaridades regionais, uma vez que a mesma estratégia aplicada a outros biomas ou a outras áreas podem não ser eficientes para determinadas regiões do Cerrado.

Sendo assim, nessa dissertação, analisamos os motivadores do desmatamento no Cerrado, utilizando variáveis que são conhecidas por influenciar a supressão de vegetação nativa, considerando as diferenças entre os municípios do Cerrado, através de uma metodologia de regressão espacial conhecida como Regressão Geograficamente Ponderada (*Geographically Weighted Regression* – GWR). Com os resultados da GWR, propomos políticas públicas que são mais adequadas para combater a degradação no bioma Cerrado, levando em conta as peculiaridades das diferentes regiões.

VARIAÇÃO ESPACIAL DOS FATORES QUE DIRECIONAM O DESMATAMENTO DO CERRADO

Werikson Rodrigues Trigueiro, João Carlos Nabout & Geiziane Tessarolo

Introdução

O desmatamento é considerado um dos principais problemas ambientais, afetando sensivelmente o ecossistema local, causando vários desequilíbrios como a perda da biodiversidade, fragmentação dos habitats, modificação do clima, perda do ciclo hidrológico, perda da fertilidade e erosão do solo (SILVA, C., 2009; PELÁ e CASTILHO, 2010; KLINK E MACHADO, 2005; CEBALLOS et al., 2015; ESPINDOLA et al., 2012). Embora os impactos do desmatamento sejam bem conhecidos, os processos que o acarretam ainda necessitam de debates e estudos (ARRAES; MARIANO; SIMONASSI, 2012). O entendimento dos fatores e processos causadores do desmatamento é um passo importante para embasar políticas públicas eficientes, voltadas para a contenção do mesmo.

Vários autores investigaram os fatores específicos que influenciam o desmatamento em ambientes florestais, como: a agricultura, (ARIMA et al., 2011; BARONA et al., 2010; MACEDO, M. N. et al., 2012; MORTON et al., 2006); proximidade das redes rodoviárias (FEARNSIDE, 2007; FEARNSIDE; DE ALENCASTRO GRAÇA, 2006; PFAFF et al., 2007; PFAFF et al., 2009); quantidade de população (LOPEZ-CARR; BURGDORFER, 2013); concessões de crédito rural (ASSUNÇÃO; SOUZA; FIGUEIREDO, 2018; ASSUNÇÃO et al., 2013). Enquanto outros estudos investigam as causas gerais do desmatamento (AGUIAR; CÂMARA; ESCADA, 2007; HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013; LAURANCE et al., 2002; REIS, E.; GUZMAN, 1993). Esses trabalhos contribuíram grandemente para o entendimento das variáveis influenciadoras do desmatamento, entretanto a maioria dos estudos acima analisou o desmatamento no bioma Amazônia, e para o bioma Cerrado ainda se precisa de estudos que analisam os vetores do desmatamento que considerem as diferenças regionais e municipais.

De acordo com dados disponíveis pelo governo brasileiro, mais de 36 mil quilômetros quadrados de vegetação nativa no Cerrado foram suprimidos nos anos de 2013, 2014 e 2015 (INPE, 2018), o que torna o Cerrado um dos biomas mais ameaçados do planeta

(MYERS et al., 2000; ELOY et al., 2015; STRASSBURG et al., 2017; STRASSBURG; LATAWIEC; BALMFORD, 2016).

Embora vários trabalhos tenham apontado a expansão agropecuária como o dominante influenciador do desmatamento no Cerrado (MONZONI, 2018; WWF-BRASIL, 2017; GVCES; WWF-BRASIL, 2017; MAGRIN et al., 2014), não se pode considerá-la como a única. É provável que haja diferenças regionais que motivaram e motivam a conversão do uso do solo nas várias regiões do Cerrado, devido a sua extensão e características físicas, biológicas e climáticas diversas, além de elementos históricos, econômicos, sociais, políticos e culturais, que proporcionaram variações em sua ocupação e transformação no seu uso do solo (PELÁ; CASTILHO, 2010; FERREIRA, M., 2009; FALEIRO; FARIAS NETO, 2008). Embora vários trabalhos tenham avaliado as possíveis causas do desmatamento no bioma Cerrado (SILVA, E., 2013; BRITO, 2016; DELLA GIUSTINA; FRANCO, 2014; REIS, S., 2014; VIEIRA, S., 2011), até o momento nenhum deles avaliou a variabilidade espacial que pode ocorrer nos motivadores do desmatamento desse bioma.

Nesse contexto, utilizamos a análise de regressão linear espacial não-estacionária pra avaliar as variações espaciais na relação entre as variáveis motivadoras e o desmatamento no bioma Cerrado, de forma a proporcionar informações que considerem as peculiaridades municipais, subsidiando o poder público na implementação de políticas públicas de combate a degradação adequada a cada região.

Metodologia

Área de estudo

A área de estudo compreende o bioma Cerrado, delimitado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (Figura 1), que abrange uma área estimada de 2.036.448 quilômetros quadrados, ou 23.92% da área total do Brasil (IBGE, 2004).

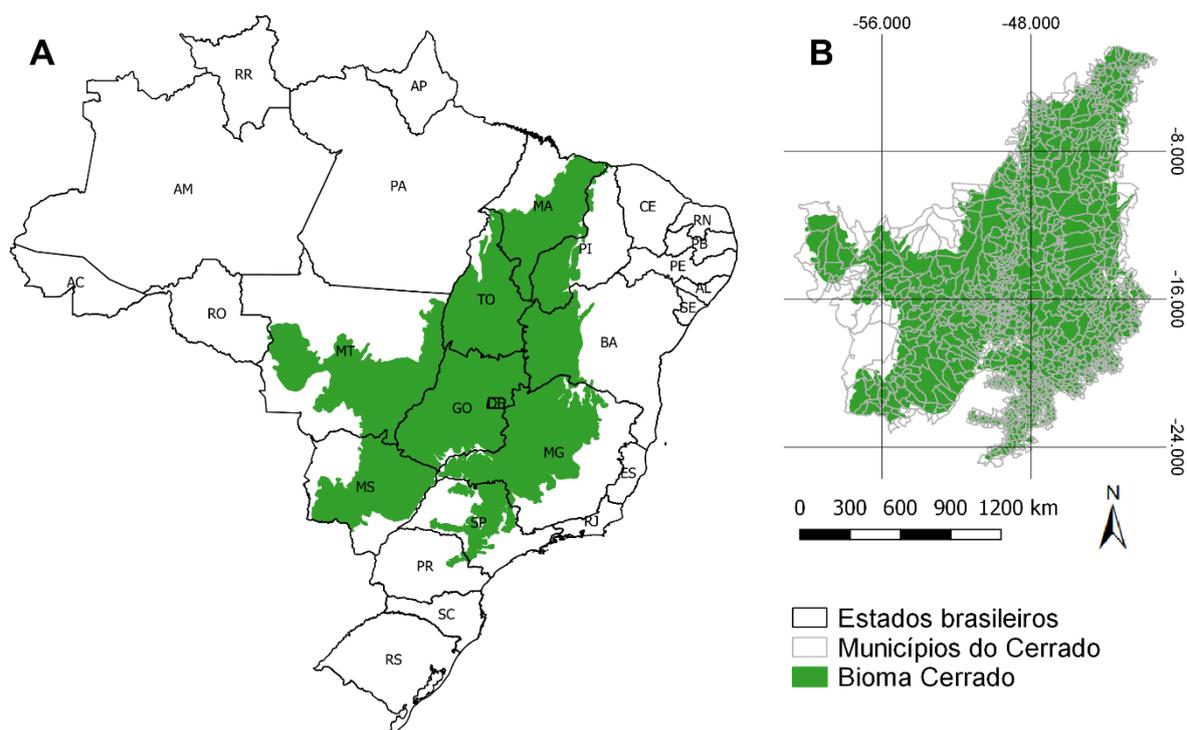


Figura 1 – (A) Limites do bioma Cerrado e (B) limites dos municípios que fazem parte do bioma.

Seleção das variáveis

Foi utilizada como variável dependente a área desmatada em cada município. Os dados de desmatamentos foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, gerados através do Projeto Monitoramento do Cerrado (INPE, 2018). Foram quantificadas como desmatamento toda a remoção completa da cobertura vegetal natural do Cerrado, maiores que um hectare.

A definição do grupo inicial de variáveis preditoras, foi baseada em estudos anteriores sobre o desmatamento, de forma a selecionar variáveis que são conhecidas por afetarem direta e indiretamente o desmatamento, são elas: quantidade total de área com lavouras temporárias plantadas (BOLFE et al., 2016; GIBBS et al., 2010; TILMAN, 1999); número de cabeças de gado bovino (FEARNSIDE, 2005; MACEDO, M. R., 2011); população urbana e rural (LAURANCE et al., 2002); Produto Interno Bruto Per Capita (OLIVEIRA, R., 2011; GOMES; BRAGA, 2004; ARAUJO, C. et al., 2009; CALDAS et al., 2003; SANTOS, R. et al., 2008; PRATES, 2008); créditos rurais disponibilizados para agricultura e pecuária (ASSUNÇÃO; SOUZA; FIGUEIREDO, 2018; ASSUNÇÃO et al., 2013); média das distâncias entre local de desmatamento e rodovias mais próximas (FEARNSIDE, 2007; FEARNSIDE; DE ALENCASTRO GRAÇA, 2006; PFAFF et al., 2007; LAURANCE et al., 2002); quantidade

média de precipitação (ARAGÃO, 2008; LAURANCE et al., 2002); quantidade de remanescente de vegetação nativa (JUSYS, 2016); e média de declividade (ROCHA et al., 2011).

Algumas informações das variáveis preditoras estão disponíveis somente a partir de 2013, então para manter todos esses fatores conhecidos por influenciar o desmatamento, o período do presente estudo restringiu-se aos anos de 2013 a 2017, que se refere aos últimos dados disponíveis por municípios.

Todos os valores das variáveis foram divididos pela quantidade de área de cada município, inclusive a variável dependente, para que o tamanho do município não tivesse influência sobre os resultados, com exceção das variáveis “precipitação média”, “declividade média” e “média das distâncias entre local de desmatamento e rodovias mais próximas”, pois seus valores foram calculados considerando o tamanho do município. Maiores detalhes sobre a descrição e processamento das variáveis podem ser encontrados na Tabela 1 e texto S1 do material suplementar.

Tabela 1 – Descrição das variáveis utilizadas, com as respectivas abreviações usadas ao longo do texto, unidades de medida e fonte da informação.

Abreviação	Descrição	Unidade	Fonte
DESMAT	Média da área desmatada anualmente entre os anos de 2013 a 2017, dividida pela área de cada município do Cerrado.	Hectares (Ha.)	MMA
LAV	Média de área plantada para lavouras temporárias, entre os anos de 2013 e 2017, dividida pela área de cada município do Cerrado.	Hectares (Ha.)	IBGE
REB	Média da quantidade de cabeças de gado, entre os anos de 2013 e 2017, dividida pela área de cada município do Cerrado.	Cabeças / Unidade	IBGE
POP_URB	Quantidade de pessoas residentes na zona urbana conforme censo de 2010, dividida pela área de cada município do Cerrado.	Contagem / Unidade	IBGE
POP_RUR	Quantidade de pessoas residentes na zona rural conforme censo de 2010, dividida pela área de cada município do Cerrado.	Contagem / Unidade	IBGE
PIB_PER	Média do Produto Interno Bruto entre os anos de 2013 e 2015, dividida pela população total.	Cada R\$ 1000,00	IBGE
CRED_AGR	Média de crédito rural disponibilizado por bancos oficiais entre os anos de 2013 a 2017 para agricultura, dividida pela área de cada município do Cerrado.	Cada R\$ 1000,00	Banco Central
CRED_PEC	Média de crédito rural disponibilizado por bancos oficiais entre os anos de 2013 a 2017 para pecuária, dividida pela área de cada município do Cerrado.	Cada R\$ 1000,00	Banco Central
DIST_MED	Média da distância entre as áreas desmatadas e as estradas oficiais mais próximas, por município do Cerrado.	Quilômetros (Km)	IBGE / MMA
PRECIP	Média anual de precipitação, por município do Cerrado.	Milímetros (mm)	WorldClim
VEG_REM	Área com remanescente de vegetação nativa, dividida pela área de cada município do Cerrado.	Hectares (Ha.)	Lapig
DECLIV	Média da declividade de cada município do Cerrado.	Metros	Lapig

Análise de autocorrelação espacial global

Para avaliar e diminuir a colinearidade entre as variáveis, os dados foram submetidos aos testes globais de correlação e verificação do Fator de Inflação de Variância (*Variance Inflation Factor – VIF*), através da função “vifcor” do pacote “usdm” (NAIMI, 2014), no software R. Essa função encontra pares de variáveis que tenha a correlação linear máxima (atribuímos o valor máximo de 0.7), e exclui a variável que possui maior valor de VIF. O procedimento é repetido até que não haja nenhum par de variáveis com correlação acima do valor máximo. Após o diagnóstico, as variáveis consideradas colineares são removidas das

análises subsequentes. Os dados foram previamente padronizados com a função “decostand” do pacote “vegan”, usando a metodologia “standartization”.

Regressão Geograficamente Ponderada (GWR)

Para avaliar as diferenças espaciais nas relações dos fatores que influenciam a supressão da vegetação nativa do Cerrado em cada município, foi utilizada a análise da Regressão Geograficamente Ponderada, conhecida como GWR, que tem como base o ajuste de um modelo de regressão para cada ponto no conjunto de dados, ponderando as observações em razão da distância a este ponto (CARVALHO, L. et al., 2006). A GWR leva em conta a dependência espacial e a influência de áreas vizinhas nos modelos locais independentes (BRUNSDON; FOTHERINGHAM; CHARLTON, 1996), para isso, essa análise calcula os coeficientes locais usando pesos de influência de cada amostra vizinha. Os resultados são então, “ponderados geograficamente, de forma que, observações mais próximas têm mais influência na estimativa dos coeficientes de regressão local do que observações mais distantes” (GOLLINI et al., 2015). Foi utilizada a função *kernel Bi-square*, para definir a influência de cada área vizinha. Para a definição da distância máxima de influência (também conhecida como largura da banda), foi utilizado o método adaptativo, através da minimização do Critério de Informação Akaike corrigido (AICc), de forma a encontrar para cada amostra municipal a distância ideal ou um número ótimo de vizinhos influentes. Esse método é o mais indicado para dados com distribuições das amostras não uniformes (RAMIREZ, 2015). A GWR e a definição da largura da banda foram executadas utilizando o pacote “GWmodel” (GOLLINI et al., 2015), no software RStudio 1.1.456 (R CORE TEAM, 2018).

Embora a GWR seja promissora para análise de dados espaciais, seu uso só se justifica se as variáveis analisadas apresentarem não-estacionariedade, ou seja, se apresentam diferenças entre a relação das variáveis ao longo do espaço. Em casos em que as variáveis são estacionárias um modelo de regressão global por Mínimos Quadrados Ordinários (*Ordinary Least Squares – OLS*) consegue capturar a relação das variáveis, sendo neste caso o mais indicado. Assim, antes de utilizar a GWR, a não-estacionariedade das variáveis deve ser analisada, de forma a justificar ou não o seu uso. Para verificar a não-estacionariedade espacial das relações entre as variáveis, foi utilizado o teste de significância Monte Carlo também disponível no pacote GWmodel (GOLLINI et al., 2015).

Posteriormente, para selecionar o conjunto de variáveis com melhores ajustes foram calculados os AICc de modelos gerados com conjuntos de variáveis selecionados iterativamente

(*stepwise model*). A cada passo a variável que gerasse modelo com menor AICc era incluída no conjunto de dados, até que todas as variáveis fossem incluídas, foi utilizada a função “*model.select.gwr*” do pacote *GWmodel* (GOLLINI et al., 2015). Após a identificação do melhor conjunto de variáveis, foi calculado um novo valor de escolha de largura de banda, uma vez que, o mesmo pode variar com mudanças no conjunto de variáveis.

Embora as variáveis predictoras possam não apresentar problemas de colinearidade globais, é possível que apresentem colinearidade em abrangência local. A colinearidade local assim como a colinearidade global, leva a uma perda de precisão nas estimativas de coeficientes em análises como a GWR (BLACK, 2014; LU et al., 2014; WHEELER, 2007; WHEELER; TIEFELSDORF, 2005). Dessa forma, ao se utilizar a GWR também se deve levar em conta a possível colinearidade local entre as variáveis. Foram avaliadas as colinearidades locais através de quatro tipos de diagnósticos: matriz de correlação local, Fator de Inflação de Variação Local – VIF, Decomposição Proporcional da Variância – VDP local e Número de Condições – CN local, sendo que os valores das médias de correlações locais maiores que 0.8, das médias dos VIFs superiores a 10, das médias das VDPs superiores a 0.5, ou CN do conjunto de variáveis maior que 30 podem indicar problemas de colinearidade (LU et al., 2014).

Os valores de coeficientes locais para cada variável calculados na GWR são os indicativos da importância da variável para o desmatamento naquele local, assim os valores dos coeficientes que apresentaram significância ($p < 0.5$), foram mapeados para permitir a análise espacial e a variação da influência de cada variável no desmatamento do Cerrado. Adicionalmente, os resultados da GWR foram comparados com os resultados de um modelo OLS, por meio dos resultados de AICc e R^2 para os dois modelos, podendo assim comparar o ganho em termos de ajuste da GWR em relação ao modelo global.

Para permitir uma análise regional, os resultados dos municípios foram agrupados em regiões definidas por uma análise de agrupamento utilizando os coeficientes da GWR e levando-se em conta a distância de cada município. Foi utilizado o pacote “*ClustGeo*” (CHAVENT et al, 2017) do software R (R CORE TEAM, 2018). Este algoritmo utiliza duas matrizes de dissimilaridade, uma de distância espacial (coordenadas dos municípios) e outra de distância entre as características (coeficientes da GWR), para definir os agrupamentos. É necessário também definir o parâmetro alfa de importância da matriz de características em relação a matriz de distância. Esse parâmetro foi calculado com a função “*choicealpha*” do pacote “*ClustGeo*” (CHAVENT et al, 2017). O número de agrupamentos (5) foi escolhido

arbitrariamente, baseado na análise visual de testes com diferentes números de agrupamentos. Foi considerado cinco classes para proporcionar uma melhor discussão dos resultados.

Na Figura 2 são demonstradas as etapas de preparação dos dados e passos da execução da GWR.

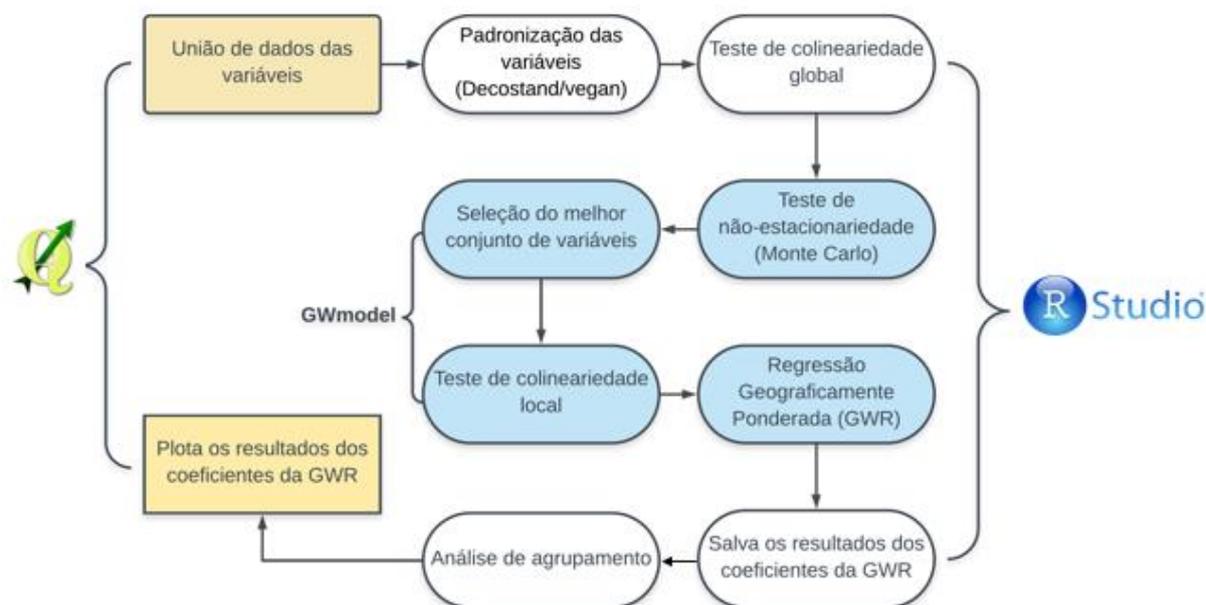


Figura 2 – Etapas para o cálculo da GWR

Resultados

As variáveis estudadas não apresentaram colinearidade global de acordo com os critérios definidos (Tabela S1). Adicionalmente, todas apresentaram não-estacionariedade (Tabela S2), ou seja, a relação entre variáveis preditoras e a variável dependente muda ao longo do espaço, justificando assim o uso de modelo de regressão local com essas variáveis. De acordo com o modelo de seleção de variáveis, o conjunto de variáveis que gerou o modelo com melhor ajuste é formado pelas variáveis: crédito rural agrícola (CRED_AGR), vegetação natural remanescente (VEG_REM), precipitação média (PRECIP), média das distâncias entre local de desmatamento e rodovias mais próximas (DIST_MED) e declividade média (DECLIV). Nenhuma das variáveis selecionadas por esse modelo apresentaram colinearidade local (Tabelas S3 e S4). Assim essas variáveis foram então utilizadas para gerar os modelos OLS e GWR.

A GWR apresentou melhor desempenho em relação à regressão global, tanto nos maiores valores de R^2 quanto nos menores valores de AICc (Tabela 2). O modelo GWR

explicou cerca de 76% da variação da variável dependente, enquanto que o modelo OLS explicou apenas 48%.

Tabela 2 – Estatística da GWR do GWmodel, comparando os valores do R², R² ajustado e AICc confirmou-se os benefícios da GWR, com maior coeficiente de determinação e menor AICc.

Modelos	R²	R² AJUSTADO	AICc
OLS	0.4895	0.4875	2821.801
GWR	0.830748	0.7676	2076.634

Os coeficientes locais estimados na GWR, que apresentaram relações significativas ($p < 0.05$), estão apresentados na Figura 3 para cada variável, juntamente com o mapa apresentando as cinco classes de agrupamento (Figura 3F), tendo as seguintes divisões: norte, centro-norte, centro-leste, centro-sudeste e oeste.

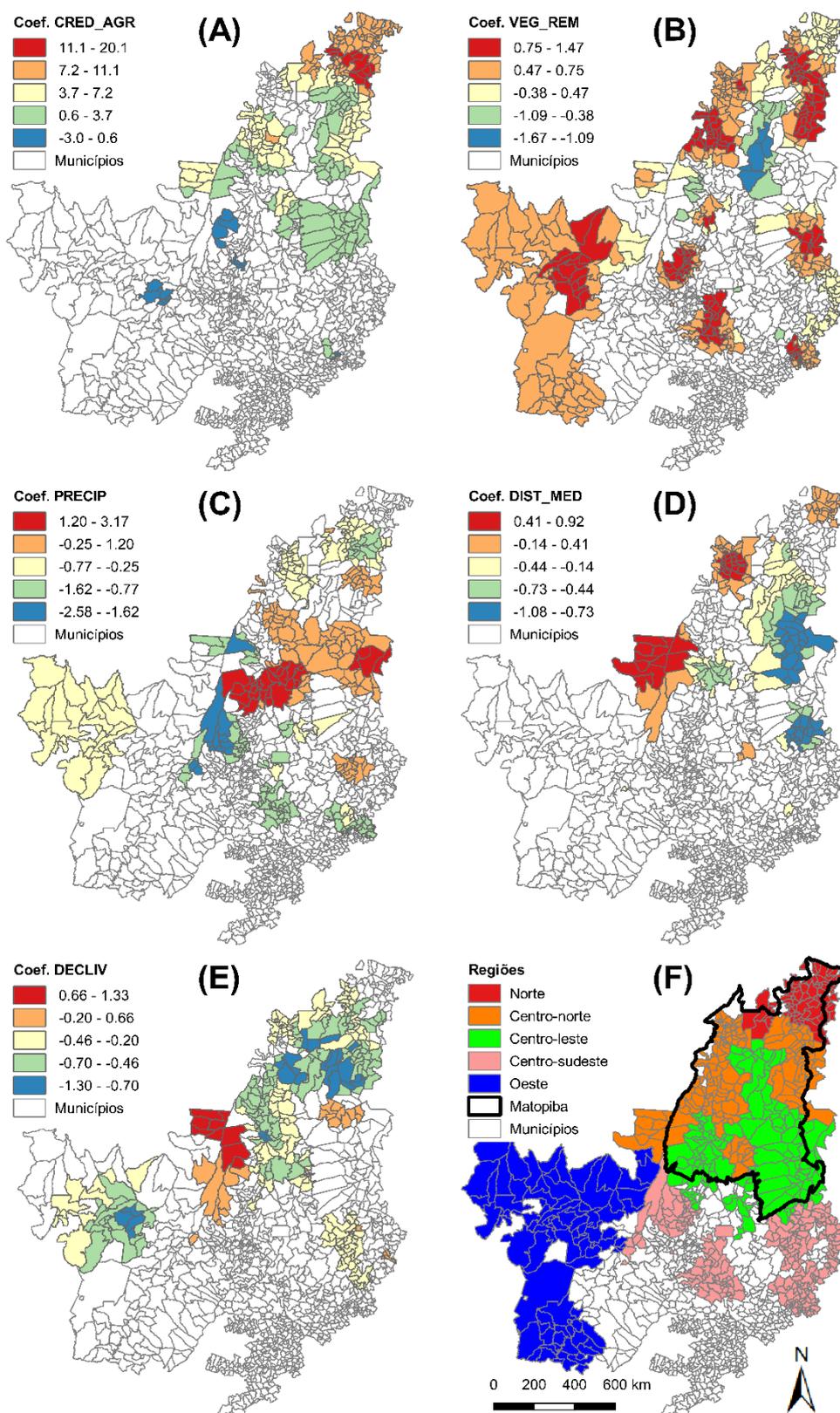


Figura 3 – Parâmetros locais estimados pela GWR para cada variável preditora do modelo final (A-E). Valores são mostrados apenas para os municípios em que os coeficientes foram significativos ($p < 0.05$). Os municípios em branco são os que não apresentaram relações significativas. Agrupamento dos municípios em 5 classes de acordo com a distâncias geográficas e similaridades dos dados dos coeficientes da GWR, com destaque para a região de MATOPIBA em preto (F).

A variável CRED_AGR apresentou maior amplitude de valores dos coeficientes da GWR (Figura 3A) e a variável VEG_REM atingiu o maior número de municípios com relação significativa (Figura 3B). O CRED_AGR apresentou alta relação positiva com o desmatamento na região norte, e relação positiva mais fraca no centro-norte e centro-leste do Cerrado; e apresentou valores negativos em alguns municípios do centro-leste e oeste do Cerrado (Figura 3A). A VEG_REM está associada positivamente com o desmatamento em todas as regiões do Cerrado, mas não em todos os municípios; e negativamente em alguns municípios do centro-leste (Figura 3B). No centro-leste e em alguns municípios do centro-norte do Cerrado a precipitação influenciou positivamente o desmatamento, enquanto que, em alguns municípios do norte, centro-norte, centro-sudeste e oeste a influência foi negativa (Figura 3C). A DIST_MED está positivamente vinculada com o desmatamento em parte do norte e do centro-norte do Cerrado; e negativamente relacionada em parte do centro-leste, centro-norte e centro-sudeste do Cerrado (Figura 3D). A relação da DECLIV com o desmatamento é positiva em poucos municípios do centro-norte e em um município do centro-leste do Cerrado e negativa em alguns municípios do oeste, centro-norte, centro-leste e norte do Cerrado (Figura 3E). A variação dos valores dos coeficientes locais foi alta para as variáveis “CRED_AGR” e “PRECIP”, e relativamente baixa para as outras variáveis.

Discussão

Os resultados dos coeficientes não foram significativos para a maioria dos municípios da região sul do Cerrado (Figura 3), locais onde possui baixa densidade de remanescente de vegetação nativa (Figura S1A) e baixa densidade de desmatamento (Figura S1B). As supressões de vegetação nativa no Cerrado, entre 2013 e 2017, ocorreram em sua maioria nas áreas onde os resultados da GWR foram significantes, ou seja, nos municípios onde nossas variáveis se relacionaram com o desmatamento, demonstrando a eficácia da metodologia utilizada.

Os resultados da GWR demonstraram que o desmatamento no Cerrado é devido a causas diversas, distribuídas desigualmente no espaço. Essa heterogeneidade espacial faz com que os modelos locais como a GWR sejam a melhor forma de estudar os fatores que contribuem para o desmatamento (JUSYS, 2016; AGUIAR; CÂMARA; ESCADA, 2007). O modelo proposto explica 83% do desmatamento no Cerrado, valor esse muito expressivo,

principalmente porque diferentes determinantes do desmatamento causam efeitos em diferentes locais do Cerrado. Os municípios que apresentaram algum dos coeficientes significativos representam mais de 87% dos desmatamentos de todo o Cerrado, no período entre 2013 e 2017 (Tabela S5), e mais de 80% do remanescente de vegetação nativa do Cerrado.

Norte

O Norte do Cerrado é uma região que está localizada em parte dos estados do Maranhão e do Piauí, e onde, entre 2013 e 2017, teve 294.892,61 hectares de vegetação natural suprimida, equivalente a 5,48% do desmatamento do Cerrado, nesse período. É uma região com razoável quantidade de remanescente de vegetação nativa, aproximadamente 45% da área de cada município dessa região é coberta por Cerrado, essa região apresenta também grande número de polígonos de desmatamento, altos valores de precipitação, baixa declividade, grande quantidade de população rural e baixo Produto Interno Bruto per capita, o menor entre todas as regiões do Cerrado (Tabela S5). Nessa região as variáveis CRED_AGR e VEG_REM apresentaram forte relação positiva com o desmatamento (Figuras 3A e 3B). É provável que o favorecimento da agricultura ocorra devido aos altos valores de precipitação nessa região, uma vez que menos investimento em irrigação é necessário, diminuindo o custo da produção, além de ser ambientalmente correto o uso da água da chuva para esse fim (VIEIRA, J. et al., 2010). Segundo Smith (2000), a precipitação é a variável que mais pode afetar a produção agrícola. Outro fator também redutor do custo da produção agrícola na região é a baixa declividade. Esses fatores aliados com a grande disponibilidade de mão de obra rural facilitam e barateiam a produção agrícola na região uma vez que, as grandes monoculturas de grãos em larga escala e com alta tecnologia ainda não se estabeleceram no Norte, como em outras regiões do Cerrado (GARAGORRY; MIRANDA; MAGALHÃES, 2015).

Os resultados demonstram que embora essa região tenha recebido os menores valores de crédito rural agrícola, comparado com as outras regiões (Tabela S5), sua influência no desmatamento já pôde ser detectada. Dessa forma, é necessário que os órgãos responsáveis acompanhem o uso das concessões futuras de crédito rural, fiscalizando o cumprimento das regulamentações e legislações vigentes, impedindo que esses recursos venham a ser utilizados na conversão ilegal da vegetação nativa. Outra medida que pode ter grande impacto na diminuição do desmatamento dessa região, é a conscientização da população rural na importância da conservação do Cerrado. Então, os recursos rurais devem ser empregados em processos educativos permanentes e continuados, que tragam mudanças de atitudes, e que

qualifiquem os produtores rurais a utilizar práticas sustentáveis, fazendo com esses auxiliem na fiscalização e proteção dos seus recursos naturais tão importantes para a promoção do desenvolvimento rural e melhoria na qualidade de vida (INCRA, 2004).

Centro-norte

O Centro-norte também teve grande quantidade de área com vegetação natural do Cerrado destruída entre 2013 e 2017, com mais de 1,3 milhão de hectares, correspondendo a mais de 25% da área desmatada de todo o Cerrado, nesse período (Tabela S5). Aproximadamente 60% das áreas do Centro-norte ainda são cobertas por remanescentes de vegetação nativa do Cerrado, isso equivale a quase 20% das áreas totais de vegetação do Cerrado ainda existentes. Não surpreendentemente, essa variável associou-se positivamente com o desmatamento em vários municípios dessa região. A tabela S5 demonstra que a maioria dos desmatamentos estão ocorrendo nos municípios que possuem a maior densidade de vegetação nativa. Normalmente o desmatamento anual é menor onde há pouca área de vegetação nativa (OLIVEIRA, R. et al., 2011). Jusys (2016) e Oliveira, R. et. al. (2011), em suas análises espaciais de desmatamento, concluíram que a quantidade de vegetação nativa preexistente contribuiu favoravelmente com a destruição da floresta em partes da região Amazônica, ou seja, quanto mais remanescente de vegetação nativa maior o risco de desmatamento. Os resultados comprovaram que a quantidade de vegetação natural existente é um determinante para o desmatamento também no Cerrado. Sendo assim, o monitoramento e fiscalização são ainda mais importantes nessas áreas. O monitoramento disponibilizado pelo INPE (Deter Cerrado e Prodes Cerrado), fornecem dados que pode auxiliar os órgãos ambientais no controle e fiscalização do desmatamento. Esses dados podem ser usados para identificar os focos de desmatamento de forma a permitir o embargo das áreas desmatadas irregularmente e exigir que propiciem a regeneração natural e ou dê viabilidade para recuperação da área degradada. Adicionalmente, as informações geográficas dessas áreas e dados de seus infratores, podem ser disponibilizadas ao público as para que toda população possa monitorá-la e fiscalizá-la. Essa transparência dos embargos tem sido pouco aplicada pelos órgãos ambientais (SCHMITT, 2015).

As áreas desmatadas no Centro-norte possuem maiores distâncias das rodovias comparado com outras regiões do Cerrado (Tabela S5), e mesmo assim na região conhecida como “Bico do Papagaio”, localizada da divisa dos estados do Tocantins e Maranhão e na região da divisa dos estados de Mato Grosso e Tocantins o desmatamento apresentou forte relação

positiva com a variável DIST-MED (Figura 3D). Em geral o desmatamento ocorre em maior proporção nas áreas onde a produção agropecuária tem melhor acesso às rodovias e aos centros urbanos (LAURANCE et al. 2002), e a simples previsão de pavimentação de rodovias aumenta a grilagem de terra e o desmatamento (FEARNSIDE, 2007; FEARNSIDE; DE ALENCASTRO GRAÇA, 2006). No entanto, para Pfaff et al. (2009), a influência das estradas sobre o desmatamento depende de fatores biofísicos e socioeconômicos externos, demonstrando que os impactos sobre a vegetação nativa provocados pela abertura de novas estradas são menores onde já existe mais infraestrutura e menos remanescentes. Por isso, nas regiões mais distantes das capitais, que possuem pouca infraestrutura e alta densidade de vegetação nativa, como o “Bico do Papagaio”, a abertura e melhoramento de estradas podem influenciar no desmatamento, mesmo com distâncias maiores. Sendo assim, sugerimos que a abertura ou melhoramento de estradas nessa região sejam acompanhados de melhores estudos dos impactos negativos, buscando alternativas que causem menos custos ambientais, por exemplo, evitar cruzar as áreas com alta densidade de remanescente de vegetação nativa, e criar áreas protegidas, que ajuda a reduzir os impactos negativos (BARBER et al., 2014; BORGES; FERREIRA, L., 2011).

Centro-leste

A região do Centro-leste está localizada nas divisas dos estados da Bahia, Maranhão, Piauí e Tocantins. É a região que teve a maior quantidade de desmatamento no período estudado, com mais de 1,7 milhão de hectares de vegetação natural suprimida, mais de 31% da área desmatada. Possui grande expansão agrícola e pecuária, alta densidade de população rural e o mais alto percentual de remanescente de vegetação nativa, em comparação com as outras regiões (Tabela S5). Essa região também possui boa precipitação e declividade considerada suave-ondulada (SANTOS, H. et al., 2013), características que favorecem a mecanização agrícola. Recebeu razoável quantidade de créditos rurais agrícolas e pecuários dos bancos oficiais. Os resultados da GWR demonstraram que o CRED_AGR e PRECIP relacionaram-se positivamente com o desmatamento em alguns municípios dessa região.

O Centro-leste é uma das regiões que impressiona pela elevada expansão da produção agrícola nos últimos anos, com destaque para as produções de soja, milho, arroz, algodão e feijão (LUMBRERAS et al., 2015). Dessa forma, os resultados encontrados, indicam a contribuição do avanço da atividade agrícola sobre as áreas de vegetação nativa. Entretanto, alguns trabalhos têm sugerido que nessa parte do Cerrado, a agricultura não pode ser confundida

com desmatamento, pois essa atividade está sendo desenvolvida em áreas anteriormente antropizadas, principalmente pela substituição de pastagens naturais em áreas desmatadas antes de 2002, e esse meio de ocupação tem auxiliado na preservação do Cerrado (MIRANDA; CARVALHO, C. 2015; LORENSINI et al., 2015). Porém, Bolfe (2016) e Noojipady et al. (2017) demonstraram em seus estudos que as áreas de agricultura estão ocupando tantas áreas recém-desmatadas, quanto nas áreas já antropizadas, e que os novos desmatamentos vêm aumentando em áreas com boa aptidão para lavouras, enquanto os estoques de áreas já antropizadas com boa aptidão estão diminuindo.

O crédito rural é a principal política pública para a agricultura brasileira (ASSUNÇÃO; SOUZA; FIGUEIREDO, 2018), e assim, concessões futuras de crédito rural nessa região devem vir acompanhadas de exigências quanto à regularidade ambiental e monitoramento para que o recurso financeiro não seja utilizado em desmatamentos ilegais. Uma estratégia relevante é vistoriar as áreas que foram embargadas anteriormente pelo desmatamento ilegal, uma vez que impedir o desenvolvimento da atividade econômica nessa área causará dissuasão a possíveis infratores, pois impedirá que o infrator tenha ganhos econômicos. A aplicação de multas para quem produz, intermeia, transporta e comercializa produtos advindos de área embargadas, e apreensão de maquinários e produtos, também são táticas importantes aos órgãos de controle ambiental, que podem ser aplicados nessa região. Exemplos bem sucedidos foram a Operação Shoyo (IBAMA, 2018), que penalizou cinco empresas exportadoras de soja (*tradings*) por adquirirem soja produzida em áreas embargadas no Cerrado e a Operação Carne Fria (IBAMA, 2017), que multou 14 frigoríficos e um exportador que receberam gados de áreas embargadas.

Em alguns municípios dessa região a VEG_REM associou-se positivamente com o desmatamento, enquanto que, nos municípios onde está localizado o complexo de Unidades de Conservação do Jalapão, a quantidade de vegetação natural remanescente associou-se negativamente com o desmatamento, ou seja, as UCs contribuíram para conter o desmatamento do Cerrado. Esse resultado, acompanhado da intensa expansão do agronegócio, faz com que a criação de novas áreas de proteção integral e aumento das áreas já existentes seja uma estratégia prioritária para proteger a biodiversidade existente no Cerrado (STRASSBURG; LATAWIEC; BALMFORD, 2016; BUSTAMANTE, 2017).

No Centro-leste a média de distância entre desmatamento e rodovias também é alta (Tabela S5), mas essas distâncias favoreceram a contenção da supressão vegetal na parte leste dessa região (Figura 3D), possivelmente por possuir melhores infraestruturas, comparados com

a região oeste. Nesse caso, as longas distâncias contribuíram para diminuição do avanço da conversão de uso do solo, já que os custos de transportes são mais elevados.

Centro-sudeste

O Centro-sudeste está localizado nos municípios dos estados de Goiás e Minas Gerais e em dois municípios do Mato Grosso. Esses municípios tiveram aproximadamente 634 mil hectares de área com vegetação nativa suprimida entre 2013 e 2017. Nessa região a declividade média é alta comparada com as outras regiões, o que dificulta a mecanização para atividade agrícola, passando a pecuária ter maior destaque como atividade rural. Para os municípios dessa região, a VEG_REM nativa contribuiu positivamente para o desmatamento do Cerrado. Essa relação é preocupante, pois a pouca vegetação restante está sendo suprimida. Nesses locais, a cobrança da reparação do dano ambiental causado e do passivo ambiental das propriedades é de suma importância, para dissuadir os possíveis infratores além dos ganhos ambientais.

Dentre as políticas públicas brasileiras voltadas para a reparação de áreas degradadas está a Lei nº. 12.651/2012 (BRASIL, 2012a) que obriga os proprietários rurais a recuperar as áreas de reserva legal e de preservação permanente. Adicionalmente, o governo federal também instituiu a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – PROVEG e o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa - PLANAVEG através do Decreto nº. 8.972/2017 (BRASIL, 2017a), no intuito de promover, incentivar e estimular a recuperação do passivo ambiental. Especificamente para o Cerrado, embora por lei os proprietários rurais sejam obrigados a recuperar as áreas de reserva legal e de preservação permanente degradadas e uma das diretrizes do PPCerrado seja “articular a criação de incentivos econômicos e creditícios que promovam a recuperação das áreas de preservação permanente e de reserva legal”, o mesmo esbarra na restrição orçamentária e de recursos humanos (BRASIL, 2018). Uma vez que esses desafios sejam resolvidos, essas políticas devem ser implantadas com prioridade no Centro-sudeste do Cerrado.

A PRECIP associou-se negativamente com o desmatamento nessa região. A alta declividade aliada a razoável precipitação, aproximadamente 1.297 mm/ano (Tabela S5), são fatores que auxiliam a controlar o desmatamento nessa região. Áreas com altas declividades são consideradas restritas para atividades econômicas como a agropecuária, devido à dificuldade de mecanização e à fragilidade do solo, sendo mais suscetíveis às erosões,

principalmente quando há bastante precipitações (AZEVEDO; DALMOLIN, 2004; DALMOLIN et al., 2004), restringindo a supressão da vegetação nativa nessas áreas.

Oeste

O Oeste do Cerrado está localizado nos municípios dos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Possui baixa declividade, alta precipitação, pouco percentual de remanescente de vegetação nativa, comparado as outras regiões. A atividade agropecuária é intensa, possuindo as maiores médias de quantidade lavouras temporárias e de bovinos, maior média do Produto Interno Bruto – PIB total e PIB Per Capita, e o que mais recebeu créditos rurais agrícolas e pecuários, comparado com as outras regiões do Cerrado (Tabela S5). O estado de Mato Grosso está inserido dentro da Amazônia Legal, onde a reserva legal da propriedade deve ser de 35%, segundo a Lei 12.651/2012 (BRASIL, 2012a). Então, a baixa quantidade de remanescente de vegetação natural (36.6%) nessa região é uma preocupação, pois essa variável tem influenciado positivamente o desmatamento, que continua ocorrendo com intensidade, sendo provável que desmatamentos futuros ocorram predominantemente em áreas que deveriam ser destinadas à reserva legal. O *déficit* de reserva legal e área de preservação permanente é grande nessa região, no Mato Grosso mais de 29,5 milhões de hectares precisam ser recuperados, de áreas de preservação permanente, de reserva legal e de uso restrito degradados (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2019). Então, o apoio do governo estadual é fundamental para recuperação da vegetação nativa, da mesma forma que sugerimos no Centro-sudeste do Cerrado. No entanto, independentemente de incentivos, a reparação do dano deve ser cobrada, pois a responsabilidade é do poluidor/destruidor, e os Ministérios Públicos dos Estados e da União tem papel fundamental, pois são os legitimados a propor ação de responsabilidade civil (BRASIL, 1981).

Matopiba

Embora na análise de agrupamento a região conhecida como Matopiba (Figura 3F) não tenha sido identificada como um grupo específico, essa região merece destaque quando se fala sobre o avanço do desmatamento no Cerrado. Isso porque, os municípios com maiores densidades de desmatamento estão localizados em Matopiba (Figura S1B) e por isso foi dedicado aqui uma parte para a discussão da influência das variáveis no desmatamento dessa região.

A maioria dos municípios das regiões Norte, Centro-norte e Centro-leste do Cerrado estão localizadas em Matopiba (Figura 3F), e é uma região que ficou conhecida como a mais nova fronteira agrícola do Cerrado (EMBRAPA, 2017). A expansão agrícola em Matopiba foi motivada pela disponibilidade hídrica, boas condições de solo e clima, expressivos resultados de pesquisas para atividade agrícola, empreendedorismo da agroindústria e de políticas de governo (BOLFE et al., 2016) motivos pelo qual as variáveis CRED_AGR e PRECIP apresentaram relação positiva com o desmatamento na maioria dos municípios dessa região. Essa região se beneficiaria com um melhor controle para concessões de crédito rural agrícola, a fiscalização da regularidade ambiental e o monitoramento do uso dos recursos. Políticas públicas de apoio as atividades agrícolas, como o Plano de Desenvolvimento Agropecuário do Matopiba (BRASIL, 2015), devem vir acompanhadas de regulamentações para o desenvolvimento somente de atividades sustentáveis, resguardando o meio ambiente e propiciando melhora social das comunidades locais (LAHSEN; BUSTAMANTE; DALLA-NORA, 2016).

Matopiba é uma região com grande quantidade de remanescente de vegetação nativa, aproximadamente 43% de toda a vegetação do bioma Cerrado (Tabela S5). Segundo Margulis (2003), o desmatamento é um processo de interação espacial, e novos desmatamentos são vizinhos de áreas anteriormente desmatadas, e a atividade desenvolvida após o desmatamento segue o mesmo uso das áreas vizinhas (OLIVEIRA, R. et al., 2011). Sendo assim, a alta quantidade de remanescente de vegetação nativa em Matopiba traz uma alerta, porque essa variável associou-se positivamente com o desmatamento, confirmando o estudo de Bolson (2018) e Noojipady et al. (2017) de que a conversão da vegetação e a expansão agropecuária vão avançando rumo ao norte, onde atualmente se concentra os últimos remanescentes de vegetação natural do Cerrado. Monitorar e fiscalizar os grandes remanescentes do Cerrado são essenciais, mas outras políticas também são primordiais para essa região, das quais destacou-se: o avanço da regularização fundiária; a criação de novas Unidades de Conservação; e o apoio das empresas compradoras de grãos, assumindo compromissos como a Moratória da Soja.

Recomendações gerais para a contenção do desmatamento do Cerrado

O monitoramento e a fiscalização ambiental são imprescindíveis para conter o desmatamento ilegal (SCHMITT, 2015; MELLO; ARTAXO, 2017), e apesar das conquistas de conseguir para o Cerrado os monitoramentos, anual (Prodes Cerrado) e em tempo real (Deter Cerrado), a capacidade da fiscalização ambiental é limitada, pois analistas ambientais do IBAMA e ICMBio foram reduzidos (ARAÚJO, E., 2017), e a participação dos estados e municípios ainda é insignificante (BRASIL, 2018). É possível que algumas estratégias sejam tomadas para amenizar a demanda por recursos humanos e financeiros na fiscalização. Por exemplo, muitas penalizações poderiam ocorrer usando a fiscalização remota, por meio de ferramentas e informações geoespaciais, com dados integrados de várias instituições. No entanto, a disponibilização desses dados ainda encontra barreiras (BRASIL, 2018).

Iniciativas para a criação de bases de dados que permitam o monitoramento e controle do desmatamento também são importantes para a fiscalização e contenção do desmatamento. O CAR (Cadastro Ambiental Rural), que é obrigatório para todos os proprietários de imóveis rurais, é uma importante ferramenta de monitoramento ambiental, entretanto devido à sua característica de ser autodeclaratório, o mesmo vem sendo usado de forma fraudulenta, servindo apenas um indicador de ocupação privada até o momento (MOREIRA, 2016). Para que sejam úteis para fins de fiscalização, a veracidade e validação das informações prestadas no CAR devem ser analisadas. Em alguns órgãos estaduais essa análise ocorre com muita morosidade devido à escassez de funcionários (BRASIL, 2018; COUTINHO; CARNEIRO, 2017) enquanto em outros estados, como Maranhão e Piauí (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2018) nenhum tipo de checagem desses dados é feita. Outra fonte de dados importante para esse tipo de fiscalização é do Sistema de Gestão Fundiária do INCRA – SIGEF, mas a regularização fundiária no Cerrado também enfrenta problemas de sobreposição e grilagem de terras (ALVES, 2009; OLIVEIRA, G., 2016).

Para que as políticas públicas surtam efeito no combate ao desmatamento uma maior eficiência na fiscalização deve vir acompanhada de maior eficiência nos processos de punição. Na Amazônia, onde a fiscalização é intensa, apenas 24% das áreas são autuadas, e somente as multas de menores valores são pagas (SCHMITT, 2015), assim apesar da fiscalização, o infrator não tem nenhum tipo de ônus econômico/penal que leve a dissuasão em relação ao desmatamento. Nesse contexto, cada vez mais o apoio do setor produtivo é fundamental para o combate do desmatamento no Cerrado, que pode contribuir adquirindo somente produtos advindos de áreas que possuem regularidade ambiental, diminuindo assim o ganho econômico de produtores em áreas ilegais. Exemplos bem sucedidos de acordos e

compromissos com o setor produtivo são a Moratória da Soja na Amazônia (ABIOVE, 2018) e TAC da Carne (BARRETO et al., 2017; BARRETO; GIBBS, 2015), embora problemas de monitoramento e rastreabilidade tanto do gado como de grãos necessitem ser corrigidos (MONZONI, 2018). Apesar de eficientes, elaboração desses acordos depende do entendimento comum entre governo e o setor produtivo da soja e pecuária, o que nem sempre acontece (BRASIL, 2018).

O controle do desmatamento não é somente preocupação ambiental ao setor produtivo, também é uma necessidade financeira, devido à possível queda de produção e às dificuldades de comercialização de seus produtos ou o aumento de barreiras não tarifárias relacionadas ao controle do desmatamento, pois a sociedade civil e os mercados internacionais estão cobrando cada vez mais produções sustentáveis. Alguns mercados internacionais estão desenvolvendo sistemas de monitoramento remoto ou fazendo parcerias com ferramentas existentes que avaliam os desmatamentos recentes e ou a exposição da empresa ao risco de que o produto comprado esteja associado ao desmatamento (MONZONI, 2018). Riscos financeiros relacionados ao desmatamento podem atingir também os bancos que oferecem e disponibilizam créditos rurais, pois a queda nos lucros de produtos advindos de áreas ilegais, aumentaria a inadimplência, causaria desvalorização de ativos e queda de receita, além de receber possível penalização dos órgãos ambientais, por financiar a degradação (GVCES; WWF-BRASIL, 2017). A exigência de apresentação de comprovação de regularização ambiental para liberação de crédito rural seria uma boa solução, nos mesmos moldes da Resolução do Banco Central nº 3.545/2008, já implantada na Amazônia (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2008), impondo ainda que o beneficiário assumira compromissos, que deve ser monitorado pela instituição financeira.

Para garantir o aumento da produção em áreas já abertas e a implantação de práticas sustentáveis no Cerrado, o produtor rural precisa ter acesso a novas tecnologias e um sistema de crédito que apoie as atividades que melhor se adapte as características específicas de cada região ou bioma (MARTINS, 2017). Há necessidade de reformar o sistema de disponibilização do crédito rural atual, pois o apoio à agricultura de baixo carbono é subutilizado, e o fornecimento de melhores condições aos produtores que estão em conformidade com o Código Florestal ajudaria na proteção ambiental e justificaria os subsídios públicos. Os financiamentos de práticas sustentáveis não alcançaram resultados em larga escala, principalmente nas regiões onde ocorre as maiores conversões de vegetação (BRASIL, 2018), porque as linhas de crédito rural existentes favorecem os produtores nas partes mais ricas do país (ASSUNÇÃO; SOUZA;

FIGUEIREDO, 2018). Adicionalmente, como forma de incentivar a preservação do Cerrado, os conhecimentos tradicionais da biodiversidade do Cerrado, de variadas culturas, como geraizeiros, quebradeiras de coco, vazanteiros e comunidades de fecho de pasto, quilombolas, indígenas, ribeirinhos e agricultores familiares, devem ser incentivados (ELOY et al., 2015; MATHIAS, 2018; SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2013).

A conversão da vegetação para atividade agropecuária em áreas cada vez mais remotas ocorre devido ao baixo valor da terra, e é parte de um processo maior de especulação de terras (LAHSEN; BUSTAMANTE; DALLA-NORA, 2016). Empresas estrangeiras também promovem a especulação imobiliária no Cerrado (MATHIAS, 2018). Existe 2,5 milhões de hectares de terras públicas ainda não destinadas no Cerrado (BRANDÃO JUNIOR et al., 2018), e para prevenir novas ocupações irregulares, o governo deve concluir a alocação das terras públicas brasileiras (AZEVEDO-RAMOS; MOUTINHO, 2018). Em áreas ainda não destinadas com grande remanescentes com vegetação nativa, a criação de Unidades de Conservação de Proteção Integral é uma importante estratégia para controlar o avanço do desmatamento e as emissões de carbono, e conservar a biodiversidade e outros recursos naturais relevantes, propiciando meios e incentivos para atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento ambiental, e promoção da recreação com a natureza e o turismo ecológico.

Conclusão

O modelo de análise para encontrar as principais causas do desmatamento no bioma Cerrado selecionou variáveis ambientais (precipitação média e estoque de vegetação nativa), econômica (crédito rural agrícola), e físicas (distância entre desmatamento e rodovias e declividade média), demonstrando que diferentes tipos de preditores se relacionam com o desmatamento, e que um mesmo preditor pode relacionar-se de forma diversa ao longo do espaço. Assim é necessário avaliar a necessidade de se estabelecer políticas públicas que sejam pensadas e priorizadas de forma individualizada para diferentes regiões, considerando suas características biológicas, físicas, sociais, econômicas e outras peculiaridades locais.

Embora tenha sido utilizada variáveis conhecidas por afetam o desmatamento em outras regiões é possível que outras variáveis não consideradas no neste trabalho sejam importantes motivadores do desmatamento, por exemplo, quantidades de abate bovino e ou produtos florestais. É necessário levar em conta também a janela de tempo utilizada, aqui foi

considerada que as variáveis têm efeito imediato sobre o desmatamento, entretanto é possível que haja um atraso temporal no efeito das variáveis no desmatamento. Por exemplo, é possível que a quantidade de crédito rural agrícola disponibilizada no ano de 2017 só venha a ser detectada nos desmatamentos dos anos posteriores. Assim, novos estudos devem testar modelos com diferentes janelas de tempo de forma a verificar a ocorrência ou não desse atraso temporal. Adicionalmente, novos trabalhos podem explorar os resultados do modelo gerado pela GWR pra prever como o aumento ou diminuição da intensidade de variáveis específicas podem afetar o desmatamento, ou prever áreas que estarão mais susceptíveis ao desmatamento no futuro.

Os resultados do deste trabalho demonstraram que a atividade agrícola está direta e indiretamente associada ao desmatamento no Cerrado. E para contribuir de forma positiva com o recuo do desmatamento e continuidade da atividade agrícola, mas de forma sustentável, há a necessidade da união dos esforços de organismos governamentais e não governamentais. Ficou evidente nas sugestões e recomendações dadas, que os danos ambientais no Cerrado não podem ser combatidos exclusivamente pelos órgãos ambientais, sendo importante: a integração e soma de esforços dos órgãos executivos de todas as esferas (fundiários, ambientais, de assistência técnica e extensão rural, de defesa agropecuária, de infraestrutura, assistência social, instituições financeiras etc.); a celeridade da atuação dos ministérios públicos e judiciários estaduais e federais quanto à cobrança de reparação de dano e penalização criminal; a padronização da regulamentação das instituições financeiras para concessão de créditos rurais, de forma a exigir a regularidade ambiental do imóvel e melhorar o controle do uso dos recursos, facilitando o acesso aos pequenos produtores que utilizam atividades sustentáveis; a contribuição dos empresários do agronegócio, exigindo a regularidade ambiental e inexistência de embargos para o fomentando da atividade e aquisição dos produtos; e a participação dos organismos não governamentais, no apoio técnico e educacional, especialmente aos pequenos produtores, e no monitoramento e fiscalização das atividades desenvolvidas pelo setor privado e público.

Referências Bibliográficas

- ABIOVE. **Moratória da Soja**. 2018. Disponível em: <<http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=moratoria-da-soja&area=NS0zLTE=>>. Acesso em: 26 dez. 2018.
- AGUIAR, A. P. D.; CÂMARA, G.; ESCADA, M. I. S. Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: Exploring intra-regional heterogeneity. **Ecological Modelling**, p. 168–169, 2007.
- ALVES, V. E. L. O mercado de terras nos cerrados piauienses: modernização e exclusão. **Agrária** (São Paulo. Online), n. 10-11, p. 73-98, 8 dez. 2009.
- ARAGÃO, L. E. O. C. et al. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, 2008.
- ARAUJO, C. et al. Property rights and deforestation in the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, v. 68, n. 8–9, p. 2461–2468, 2009.
- ARAÚJO, E. et al. **Unidades de conservação mais desmatadas da Amazônia Legal 2012-2015**. Imazon, 2017. 92 p.
- ARIMA, E. Y. et al. Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, vol. 6, n. 2, 2011.
- ARRAES, R. A.; MARIANO, F. Z.; SIMONASSI, A. G. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.50, n.1. 2012.
- ASSUNÇÃO, J. et al. Does Credit Affect Deforestation? Evidence from a Rural Credit Policy in the Brazilian Amazon. **Climate Policy Initiative**, 2013.
- ASSUNÇÃO, J.; SOUZA, P.; FIGUEIREDO, B. Distribution Channels for Rural Credit. **Climate Policy Initiative**, 2018.
- AUSTIN, K. G. et al. Trends in size of tropical deforestation events signal increasing dominance of industrial-scale drivers. **Environmental Research Letters**, 2017.
- AZEVEDO-RAMOS, C.; MOUTINHO, P. No man's land in the Brazilian Amazon: Could undesignated public forests slow Amazon deforestation? **Land Use Policy**, 2018.
- AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D. **Solos e ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Pallotti, 2004. 100p.

- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Resolução nº 3.545, de 2008**. Altera o MCR 2-1 para estabelecer exigência de documentação comprobatória de regularidade ambiental e outras condicionantes, para fins de financiamento agropecuário no Bioma Amazônia. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/normativo/detalharNormativo.do?N=108019002&method=detalharNormativo>>. Acesso em: 26 nov. 2018.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Matriz de Dados do Crédito Rural**. Brasília: 2018. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/pt-br/#!/c/MICRRURAL/>>. Acesso em: 23 out. 2018.
- BARONA, E. et al. The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, 2010.
- BARBER, C. P. et al. Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. **Biological Conservation**, n. 177, p. 203-209, 2014.
- BARRETO, P. et al. **Os frigoríficos vão ajudar a zerar o desmatamento na Amazônia?** Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - Imazon, 2017.
- BARRETO, P.; GIBBS, H. **Como melhorar a eficácia dos acordos contra o desmatamento associado à pecuária na Amazônia?** Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - Imazon, 2015.
- BLACK, N. C. An Ecological Approach to Understanding Adult Obesity Prevalence in the United States: A County-level Analysis using Geographically Weighted Regression. **Applied Spatial Analysis and Policy**, 2014.
- BOLFE, É. L. et al. Matopiba em crescimento agrícola Aspectos territoriais e socioeconômicos. **Revista de Política Agrícola**, 2016.
- BOLSON, S. H. O Cerrado nas metas brasileiras do Acordo de Paris: a omissão do Estado brasileiro com o desmatamento na cumeieira da América do Sul. **Revista de Direito Ambiental e Socioambientalismo**, 2018.
- BORGES, C. A. R. F.; FERREIRA, L. V. **O processo de desflorestamento nas rodovias do estado do Pará: um estudo de caso da rodovia Transamazônica (BR-230)**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba: 2011. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.06.13.25/doc/p0972.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2019.
- BRANDÃO JUNIOR, A. et al. **Emissões do Setor de Mudanças de Uso da Terra: período 1990-2016**. Belém: 2018. Disponível em: <http://www.observatoriodoclima.eco.br/wp->

content/uploads/2018/05/Relato%CC%81rios-SEEG-2018-MUT-Final-v1.pdf?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=desmatamento_no_cerrado_emite_mais_que_industria_mostram_dados_do_seeg&utm_term=2018-05-23>. Acesso em: 06 jan. 2019.

BRASIL. **Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 26 nov. 2018.

BRASIL. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012a**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n.ºs. 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n.ºs. 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n. 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 26 nov. 2018.

BRASIL. **Decreto n. 8.447, de 6 de maio de 2015**. Dispõe sobre o Plano de Desenvolvimento Agropecuário do Matopiba e a criação de seu Comitê Gestor. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Decreto/D8447.htm>. Acesso em: 17 jul. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Operativo do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento no Cerrado – PPCerrado**. Brasília: 2016c. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80120/Anexo%20I%20-%20PLANO%20OPERATIVO%20DO%20PPCERRADO%20-%20GPTI%20_%20p%20site.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2017.

BRASIL. **Decreto n. 8.972, de 23 de janeiro de 2017a**. Institui a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/D8972.htm>. Acesso em: 26 nov. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Download de dados geográficos**. Brasília: 2017b. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: 2 out. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Departamento de Florestas e de Combate ao Desmatamento. Comissão Executiva do PPCDAm e PPCerrado. **BALANÇO DE**

- EXECUÇÃO 2018: PPCDAm e PPCerrado 2016-2020.** Brasília: 2018. Disponível em:
<http://combateadesmatamento.mma.gov.br/images/Doc_ComissaoExecutiva/Balanco-PPCDAm-e-PPCerrado_2018.pdf>. Acesso em: 6 jan. 2019.
- BRITO, A. **Heterogeneidade espaço-temporal do desmatamento do Cerrado Brasileiro: estimativas e cenários de emissões de carbono.** Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, São José dos Campos, 2016.
- BRUNSDON, C.; FOTHERINGHAM, A. S.; CHARLTON, M. E. Geographically Weighted Regression: A Method for Exploring Spatial Nonstationarity. **Geographical Analysis**, 1996.
- BUSTAMANTE, M. M. C. **Desmatamento em Matopiba, no Cerrado, anula ganhos com preservação na Amazônia.** Conexão Planeta, mar. 2017. Entrevista concedida a Luciana Vicária. Disponível em: <<http://conexaoplaneta.com.br/blog/desmatamento-em-matopiba-no-cerrado-anula-ganhos-com-preservacao-na-amazonia/>>. Acesso em: 25 nov. 2018.
- BUSTAMANTE, M. M. C. **Política de clima negligencia o Cerrado – mais uma vez:** Plano entregue à ONU não menciona o segundo maior bioma do país, sob pressão intensa. Observatório do Clima, Edição Especial, 2015. Disponível em: <<http://www.observatoriodoclima.eco.br/politica-de-clima-negligencia-o-cerrado-mais-uma-vez/>>. Acesso em: 03 dez. 2018.
- CALDAS, M. M. et al. Ciclo de vida da família e desmatamento na Amazônia: combinando informações de sensoriamento remoto com dados primários. **Revista Brasileira de Economia**, 2003.
- CARVALHO, L. E. X. et al. Regressão linear geograficamente ponderada em ambiente SIG. **TRANSPORTES**, 2006.
- CEBALLOS, G. et al. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. **Science Advances**, 2015.
- CHAVENT, M. et al. ClustGeo: Hierarchical Clustering with Spatial Constraints. **R package version 2.0**, 2017.
- COUTINHO, L. S.; CARNEIRO, R. A. PONDERAÇÕES SOBRE O CAR – CADASTRO AMBIENTAL RURAL E SUA EFETIVIDADE. **Revista Jurídica Direito, Sociedade e Justiça**, p. 12, 2017.

- DALMOLIN, R. S. D. et al. Relação entre as características e utilização de levantamentos de solos de diferentes escalas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1479-1486, 2004.
- DELLA GIUSTINA, C. C.; FRANCO, J. L. DE A. O Uso Insustentável dos Recursos Naturais no Estado de Goiás: Efeitos da agricultura na conservação do bioma Cerrado. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, 2014.
- ELOY, L. et al. On the margins of soy farms: traditional populations and selective environmental policies in the Brazilian Cerrado. **Journal of Peasant Studies**, 2015.
- EMBRAPA. **Sobre o Matopiba**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-matopiba/sobre-o-tema>>. Acesso em: 3 jan. 2018.
- ESPINDOLA, G. M. et al. Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 240–252, 2012.
- FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. (Ed. Técnicos). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina: Embrapa, 2008.
- FEARNSIDE, P. M. Brazil's Cuiabá- Santarém (BR-163) Highway: The environmental cost of paving a soybean corridor through the Amazon. **Environmental Management**, 2007.
- FEARNSIDE, P. M.; DE ALENCASTRO GRAÇA, P. M. L. BR-319: Brazil's Manaus-Porto Velho Highway and the potential impact of linking the Arc of Deforestation to Central Amazonia. **Environmental Management**, 2006.
- FEARNSIDE, P. M. **Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências**. Megadiversidade, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 113-122, 2005.
- FERNANDES, G. W. et al. **Cerrado: em busca de soluções sustentáveis**. Belo Horizonte: Rede Com Cerrado, 2016.
- FERREIRA, M. E. **Modelagem da dinâmica de paisagem do Cerrado**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.
- FOLMER, H.; KOOTEN, G. C. V. Deforestation. **Resource Economics and Policy Analysis (REPA) – Department of Economics University of Victoria**, Paper 6, November, 21 p., 2006.
- GARAGORRY, F. L.; MIRANDA, E. E.; MAGALHÃES, L. A. **Matopiba: evolução recente da produção de grãos**. Nota Técnica 9 – GITE. Campinas: Embrapa, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT9_DinamicaGraos_Final.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2018.

- GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. What Drives Tropical Deforestation. **Global Environmental Change**, 2001.
- GIBBS, H. K. et al. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 2010.
- GOLLINI, I. et al. GWmodel: an R Package for exploring Spatial Heterogeneity using Geographically Weighted Models. **Journal of Statistical Software**, 2015.
- GOMES, S. C.; BRAGA, M. J. Desenvolvimento econômico e Desmatamento na Amazônia Legal: Uma Análise Econométrica. **XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, 2004.
- GVCES; WWF-BRASIL. Investimento Responsável e o Combate ao Desmatamento nas Cadeias de Pecuária, Soja, Papel e Celulose no Brasil. **White Paper**, São Paulo, 2017.
- HARGRAVE, J.; KIS-KATOS, K. Economic Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon: A Panel Data Analysis for the 2000s. **Environmental and Resource Economics**, 2013.
- IBAMA. **Ibama fiscaliza aquisição de gado de áreas desmatadas ilegalmente na Amazônia**. Brasília, 2017. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/noticias/422-2017/1064-ibama-fiscaliza-aquisicao-de-gado-de-areas-desmatadas-ilegalmente-na-amazonia>>. Acesso em: 26 nov. 2018.
- IBAMA. **Operação Shoyo Matopiba: Ibama aplica R\$ 105,7 milhões em multas por plantio ilegal de grãos em áreas embargadas no Cerrado**. Brasília, 2018. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/noticias/436-2018/1467-operacao-shoyo-matopiba-ibama-aplica-r-105-7-milhoes-em-multas-por-plantio-ilegal-de-graos-em-areas-embargadas-no-cerrado>>. Acesso em: 26 nov. 2018.
- IBGE. **Mapa de Biomas e de Vegetação**. Brasília, 2004. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 31 jul. 2018.
- IBGE. **Cartas e Mapas: bases cartográficas contínuas**. Brasília, 2017. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao_2017/shapefile/>. Acesso em: 29 abr. 2018.
- IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Brasília, 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>>. Acesso em: 23 out. 2018.
- INCRA. **Norma de Execução nº 39, de 30 de março de 2004. Estabelece critérios e procedimentos referentes ao Serviço de Assessoria Técnica, Social e Ambiental à Reforma Agrária – ATES**. Disponível em:

- <http://www.incra.gov.br/sites/default/files/uploads/institucional/legislacao--/atos-internos/normas/ne_39_300304.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2018.
- INPE. **INPE divulga dados sobre o desmatamento do bioma Cerrado**. São José dos Campos, 2018. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/noticias/inpe-divulga-dados-sobre-o-desmatamento-do-bioma-cerrado>>. Acesso em: 3 dez. 2018.
- JUSYS, T. Fundamental causes and spatial heterogeneity of deforestation in Legal Amazon. **Applied Geography**, v. 75, p. 188–199, 2016.
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. **A conservação do Cerrado brasileiro**. Megadiversidade, v. 1, 147 - 155, 2005.
- LAHSEN, M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; DALLA-NORA, E. L. Undervaluing and overexploiting the Brazilian Cerrado at our peril. **Environment**, v. 58, n. 6, p. 4–15, 2016.
- LAPIG. **Dados Geográficos**. Goiânia, 2017. Disponível em: <<http://maps.lapig.iesa.ufg.br/lapig.html>>. Acesso em: 1 dez. 2017.
- LAURANCE, W. F. et al. Predictors of deforestation in the Brazilian Amazon. **Journal of Biogeography**, v. 29, n. 5–6, p. 737–748, 2002.
- LÓPEZ-CARR, D.; BURGDORFER, J. Deforestation drivers: Population, migration, and tropical land use. **Environment**, 2013.
- LORENSINI, C. L. et al. **Mapeamento e identificação da época de desmatamento das áreas de expansão da agricultura no MATOPIBA**. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. João Pessoa: 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0697.pdf>>. Acesso em: 17 jul. 2018.
- LU, B. et al. The GWmodel R package: Further topics for exploring spatial heterogeneity using geographically weighted models. **Geo-Spatial Information Science**, v. 17, n. 2, p. 85–101, 2014.
- LUMBRERAS, J. F. et al. **Aptidão agrícola das terras do MATOPIBA**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015. (Embrapa Solos. Documentos, 179). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1025303>>. Acesso em: 4 dez. 2018.
- MACEDO, M. N. et al. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 2012.
- MACEDO, M. R. A. **Regressão geograficamente ponderada aplicada ao estudo da relação pecuária e desmatamento no sudeste do estado do Pará**. Anais XV Simpósio

- Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba: 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0697.pdf>>. Acesso em: 17 jul. 2018.
- MAGRIN, G. et al. Central and South America. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**, 2014.
- MARGULIS, S. **Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira**. 1ª ed. Brasília: Banco Mundial - Brasil, 2003.
- MARTINS, A. **Produtores enfrentam dificuldades para obter crédito rural**. Correio Brasiliense, 2017. Disponível em: <<https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/correiodebate/agonegocio-df/2017/05/16/noticias-agronegocio-df,595268/produtores-enfrentam-dificuldades-para-obter-credito-rural.shtml>>. Acesso em: 24 nov. 2018.
- MATHIAS, M. **Matopiba: na fronteira entre a vida e o capital**. Rio de Janeiro: Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio (FIOCRUZ), 2018. Disponível em: <<http://www.epsjv.fiocruz.br/noticias/reportagem/matopiba-na-fronteira-entre-a-vida-e-o-capital>>. Acesso em: 3 dez. 2018.
- MELLO, N. G. R.; ARTAXO, P. Evolução do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, n. 66, 2017.
- MIRANDA, E. E.; CARVALHO, C. A. **Na Agricultura, a Preservação Dos Cerrados**. Campinas: 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/gite/projetos/matopiba/151030_CERRADOS_MATOPIBA.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2018.
- MMA et al. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013**. Brasília: 2015. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/projetos/terraclassbaixa2.pdf>>. Acesso em: 1 dez. 2017.
- MONZONI, M. (Coord.). Desmatamento. São Paulo: **Revista Página 22 (P22_ON) – FGV EAESP**, 2018. Disponível em: <http://www.p22on.com.br/wp-content/uploads/2018/05/P22ON_MAIO-2018-FINAL.pdf>. Acesso em: 31 nov. 2018.
- MOREIRA, E. **O Cadastro Ambiental Rural: a nova face da grilagem na Amazônia?** Associação Brasileira dos Membros do Ministério Público de Meio Ambiente, 2016. Disponível em: <<https://www.abrampa.org.br/site/?ct=noticia&id=230>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

- MORRISSEY, K. Exploring Spatial Variability in the Relationship between Long Term Limiting Illness and Area Level Deprivation at the City Level Using Geographically Weighted Regression. **AIMS Public Health**, 2015.
- MORTON, D. C. et al. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 2006.
- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 2000.
- NAIMI, B. et al. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling. **Ecography**, vol 37, p. 191-203, 2014.
- NOOJIPADY, P. et al. Forest carbon emissions from cropland expansion in the Brazilian Cerrado biome. **Environmental Research Letters**, 2017.
- OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University Press, 2002.
- OLIVEIRA, R. C. et al. Desmatamento e crescimento econômico no Brasil: uma análise da curva de Kuznets ambiental para a Amazônia legal. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 2011.
- OLIVEIRA, G. DE L. T. Regularização Fundiária e a “Corrida Mundial por Terras” no Brasil. **Revista de Geografia Agrária**, p. 43–75, 2016.
- OVERBECK, G. E. et al. Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. **Diversity and Distributions**, v. 21, n. 12, p. 1455–1460, 2015.
- PELÁ, M.; CASTILHO, D. (org.). **Cerrados: perspectivas e olhares**. Goiânia: Editora Vieira, 2010.
- PFAFF, A. et al. Road investments, spatial spillovers, and deforestation in the Brazilian Amazon. **Journal of Regional Science**, n. 47, p. 109-123, 2007.
- PFAFF, A. et al. **Impactos de Estradas na Amazônia Brasileira**. Cedeplar, Belo Horizonte, p. 101-116, jan. 2009. Disponível em: <https://daac.ornl.gov/LBA/lbaconferencia/amazonia_global_change/7_Impactos_Estradas_Pfaff.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2018.
- PRATES, R. C. **O desmatamento desigual na Amazônia brasileira: sua evolução, suas causas e conseqüências sobre o bem-estar**. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- R CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, 2018.

- RAMÍREZ, F. L. B. **Modelagem de biomassa acima do solo e emissões de carbono associadas a mudanças na cobertura da terra na Floresta Tropical Amazônica Equatoriana**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, São José dos Campos, 2015.
- REIS, E. J.; GUZMAN, R. M. Um modelo econométrico do desflorestamento da Amazônia. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 23, n. 1, p. 33–64, 1993.
- REIS, S. L. DA S. **Desenvolvimento e Natureza: a dinâmica de ocupação do Cerrado e repercussões ambientais na região agroexportadora do oeste baiano**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.
- ROCHA, G. et al. Detecção de desmatamentos no bioma cerrado entre 2002 e 2009: padrões, tendências e impactos. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2011.
- RUDORFF, B.; RISSO, J. (Coord.). **Análise geoespacial da dinâmica das culturas anuais no bioma Cerrado: 2000 a 2014**. Florianópolis: 2015. Disponível em: <http://biomas.agrosatelite.com.br/img/Analise_geoespacial_da_dinamica_das_culturas_anuais_no_bioma_Cerrado_2000a2014.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2017.
- SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013.
- SANTOS, R. B. N. et al. Estimativa da curva de Kuznets ambiental para a Amazônia legal. **XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, 2008.
- SCHMITT, J. **Crime sem castigo: a efetividade da fiscalização ambiental para o controle do desmatamento ilegal na Amazônia**. Tese (Doutorado em Política e Gestão Ambiental) do Centro de Desenvolvimento Sustentável – Universidade de Brasília, 2015.
- SCRIECIU, S. S. Economic Causes of Tropical Deforestation: A Global Empirical Application. **A Global Empirical Application**, v. Paper nº 4, 2003.
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em resumo 2013**: dados 2007 a 2012. Brasília: 2013. 188 p.
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Cadastro Ambiental Rural - Boletim Informativo**: Edição especial 4 anos do CAR. Brasília: 2018. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/documentos/car/boletim-do-car/3657-boletim-informativo-edicao-especial-4-anos-car/file>>. Acesso em: 27 nov. 2018.

- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Consulta Pública: regularidade**. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://www.car.gov.br/publico/tematicos/regularidade>>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- SILVA, C. E. M. **O Cerrado em Disputa: apropriação global e resistências locais**. Brasília: Confea, 2009. 264 p.
- SILVA, E. B. **A Dinâmica Socioespacial e as mudanças na cobertura e uso da terra no bioma Cerrado**. Tese (Doutorado em Geografia) do Instituto de Estudos Sócio-ambientais – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.
- SMITH, M. **The application of climatic data for planning and management of sustainable rainfed and irrigated crop production**. Agricultural and Forest Meteorology. Anais...2000.
- STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 4, p. 1–3, 2017.
- STRASSBURG, B. B. N.; LATAWIEC, A.; BALMFORD, A. Urgent action on Cerrado extinctions. **Nature**, v. 540, n. 540199a, p. 199, 2016.
- TILMAN, D. Global environmental impacts of agricultural expansion: the need for sustainable and efficient practices. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 96, n. 11, p. 5995–6000, 1999.
- VIEIRA, J. P. G. et al. Estudo da precipitação mensal durante a estação chuvosa em Diamantina, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 762–767, 2010.
- VIEIRA, S. R. **Investigating the driving forces of deforestation in the state of Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- WHEELER, D. C. Diagnostic tools and a remedial method for collinearity in geographically weighted regression. **Environment and Planning A**, 2007.
- WHEELER, D.; TIEFELSDORF, M. Multicollinearity and correlation among local regression coefficients in geographically weighted regression. **Journal of Geographical Systems**, 2005.
- WORLDCLIM. **Global Climate Data**. 2017. Disponível em: <<http://worldclim.org/version2>>. Acesso em: 4 dez. 2017.
- WWF-BRASIL. **Manifesto convoca o mercado para atingir o desmatamento zero do Cerrado**. World Wildlife Fund – WWF-Brasil, 2017. Disponível em:

<https://www.wwf.org.br/informacoes/sala_de_imprensa/?60722/Manifesto-convocao-mercado-para-atingir-desmatamento-zero-do-Cerrado>. Acesso em: 5 dez. 2018.

Material Suplementar

Texto S1 – Descrição do processamento das variáveis

Os dados de desmatamento utilizados foram gerados pelo INPE, resultado do projeto Desenvolvimento de Sistemas de Prevenção de Incêndios Florestais e Monitoramento da Cobertura Vegetal do Cerrado Brasileiro, financiado pelo Programa de Investimento Florestal (FIP), administrado pelo Banco Mundial, para mapear e monitorar a vegetação no bioma Cerrado. Para o monitoramento foi utilizado 118 imagens de satélites *Landsat*, com resolução de 30 metros, a cada ano, e quantificadas todas as áreas desmatadas maiores que um hectare. O INPE considerou como desmatamento toda a remoção completa da cobertura vegetal natural do Cerrado, independentemente da utilização posterior.

Os dados de precipitação média foram obtidos na plataforma WorldClim (WORLDCLIM, 2017, disponível em: <http://worldclim.org/version2>). Esses dados referem-se à média de um espaço temporal de 30 anos (1970 – 2000), e foram obtidos para uma resolução espacial de 1 quilômetro quadrado, posteriormente, foi calculada a quantidade média anual de precipitação por município do Cerrado.

Os dados de declividade média de cada município foram obtidos do sítio eletrônico do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – Lapig (LAPIG, 2017, disponível em: <http://maps.lapig.iesa.ufg.br/lapig.html>). Esses dados foram gerados utilizando imagens STRM para obter um modelo digital do terreno da zona da Terra, com resolução espacial de 30 metros.

A quantidade de pessoas residentes em áreas urbanas e rurais refere-se ao último censo do ano de 2010, e foi extraída do banco de dados do IBGE (IBGE, 2018, disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>). Também foram extraídos deste banco de dados as informações: do Produto Interno Bruto – PIB, das quantidades de áreas da lavoura temporária, e do número de bovinos. A quantidade de área de lavouras temporárias refere-se à soma das áreas de culturas de abacaxi, algodão, alho, amendoim, arroz, aveia, batata-doce, batata-inglesa, cana-de-açúcar, cebola, centeio, cevada, ervilha, fava, feijão, fumo, girassol, juta, linho, malva, mamona, mandioca, melancia, melão, milho, rami, soja, sorgo, tomate, trigo, triticale. Os dados do PIB referem-se aos anos de 2013 a 2015, pois até o processamento do presente trabalho o IBGE não disponibilizou os dados posteriores a 2015. As quantidades dos créditos rurais agrícolas e pecuários foram extraídas do sítio eletrônico do Banco Central do Brasil, (BANCO

CENTRAL DO BRASIL, 2018, disponível em: <https://www.bcb.gov.br/pt-br/#!/c/MICRRURAL/>), referentes a todas as fontes de recursos e programas de créditos rurais disponíveis. Todos esses dados foram extraídos por município, e posteriormente, as médias anuais foram calculadas. A média anual do PIB foi dividida pela população total dos municípios, para gerar a variável que foi utilizada no modelo, o valor de PIB per capita.

Foi calculada a distância por município entre os polígonos de desmatamentos e as estradas oficiais mais próximas. Os dados vetoriais das estradas foram extraídos dos sítios eletrônicos do IBGE (IBGE, 2017, disponível em: ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2017/shapefile/) e do MMA (BRASIL, 2017b, disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>).

Os dados de remanescentes de vegetação nativa foram gerados pelo Lapig (LAPIG, 2017), a partir da compilação dos dados de uso e cobertura do solo do Projeto Terra Class Cerrado do ano de 2013 (MMA et al., 2015), e das áreas de agricultura, a partir do Mapeamento da Agricultura da Agrosatélite Geotecnologia Aplicada, do ano de 2014 (RUDORFF; RISSO, 2015). Com esses dados vetoriais, foi calculada a área de remanescente de vegetação nativa por município.

Os dados de todas as variáveis foram agrupados em um único arquivo, no formato *shapefile* (*shp.*), tendo os limites dos municípios como feições. Esses dados foram processados através do Sistema de Informações Geográficas – SIG Quantum GIS (QGIS 2.14.12), e todos os arquivos em formato *shapefile* (*shp.*) foram convertidos para a projeção SIRGAS 2000. Com o arquivo vetorial do desmatamento (*shp.*) foi calculado no QGIS a média anual da área desmatada entre 2013 e 2017, e esses dados foram unidos ao arquivo base, formando a variável dependente.

Os dados das variáveis foram transformados em densidades, ou seja, foram divididos pela área de cada município, evitando que o tamanho do município causasse influência nos resultados da GWR, com exceção das variáveis “precipitação média”, “declividade média” e “distância média entre polígonos de desmatamento e rodovias oficiais”, porque seus valores estavam dispostos em “médias” já calculadas considerando o tamanho do município.

Tabela S1 – Valores de VIF global entre as variáveis.

Variáveis	VIF
Lavoura temporária	2.121704
Rebanho bovino	1.569686
População urbana	1.147848
População rural	1.115511
Produto Interno Bruto per capita	1.187093
Crédito agrícola	1.273525
Crédito Pecuário	1.227423
Vegetação nativa remanescente	2.137587
Precipitação média	1.584171
Distância entre desmatamento e rodovias	1.219420
Declividade média	1.155284

Tabela S2 – Valores de p no teste de Monte Carlo.

Variáveis	<i>p-value</i>
Lavoura temporária	0.00
Rebanho bovino	0.00
População rural	0.00
Produto Interno Bruto	0.00
Produto Interno Bruto per capita	0.00
Crédito agrícola	0.00
Crédito Pecuário	0.00
Vegetação nativa remanescente	0.00
Precipitação média	0.00
Distância entre desmatamento e rodovias	0.01
Declividade média	0.00

Tabela S3 – Valores de correlação local (índice de Pearson), com as variáveis selecionadas.

Variáveis	CRED_AGR	VEG_REM	PRECIP	DIST_MED	DECLIV
CRED_AGR	1				
VEG_REM	-0.16403	1			
PRECIP	0.10319	0.00362	1		
DIST_MED	-0.01389	0.08209	0.07677	1	
DECLIV	-0.12794	0.27501	0.1314	0.03334	1

Tabela S4 – Valores do VIF, VDP e CN locais do conjunto de variáveis selecionadas.

Variáveis	VIF	VDP
CRED_AGR	1.313	0.2580402
VEG_REM	1.760	0.3305327
PRECIP	1.822	0.4951954
DIST_MED	1.286	0.113273
DECLIV	1.770	0.2121260

A média do Número de Condição (CN) local do conjunto de variáveis é igual a 19,586.

Tabela S5 - Dados estatísticos (média e porcentagem) das variáveis usadas na GWR, por regiões.

Descrição	Cerrado	GWR_P	%*	Norte	%*	Centro-norte	%*	Centro-leste	%*	Centro-sudeste	%*	Oeste	%*	Matopiba	%*
Média do município (ha)	197940.43	258883.90	130.79	132543.78	66.96	226967.55	114.66	321926.12	162.64	124675.66	62.99	730682.08	369.14	233255.37	117.84
Média do N° de desmatamento	454.91	669.10	147.08	688.99	151.46	626.61	137.74	1124.83	247.26	428.12	94.11	704.32	154.82	904.74	198.88
Média do desmatamento (ha)	4145.26	6512.27	157.10	3137.16	75.68	8588.99	207.20	12743.65	307.43	2579.99	62.24	7869.04	189.83	10020.44	241.73
Média da dens. desmatamento	0.00366	0.00560	152.84	0.00438	119.64	0.00787	214.67	0.00865	236.12	0.00389	106.09	0.00295	80.46	0.00824	224.98
Total do desmatamento (ha)	5376402.04	4695345.30	87.33	294892.61	5.48	1365649.22	25.40	1707649.76	31.76	634678.01	11.80	692475.70	12.88	3056235.30	56.85
Média da lavoura (ha)	27079.31	29101.13	107.47	5860.61	21.64	12443.75	45.95	28751.78	106.18	9752.28	36.01	138643.93	511.99	17549.61	64.81
Média da dens. da lavoura	0.17	0.08	48.28	0.06	34.22	0.04	24.42	0.06	38.69	0.07	41.90	0.23	138.85	0.05	32.66
Média do rebanho bovino	69716.56	75436.31	108.20	25009.22	35.87	53906.59	77.32	68921.99	98.86	54356.64	77.97	237048.72	340.02	46856.00	67.21
Média da dens. do rebanho	0.45	0.38	83.38	0.22	47.48	0.35	76.52	0.32	70.30	0.46	102.51	0.46	100.55	0.31	67.96
Média da população urbana	25866.95	23263.90	89.94	25411.30	98.24	10071.28	38.93	9325.16	36.05	33653.70	130.10	36987.41	142.99	11642.12	45.01
Média da dens. da pop. urbana	0.38	0.29	75.09	0.24	62.17	0.07	18.69	0.04	9.78	0.65	169.77	0.10	25.54	0.08	21.62
Média da população rural	4200.46	5471.77	130.27	12535.22	298.43	3815.98	90.85	5383.40	128.16	4109.04	97.82	4862.43	115.76	6089.12	144.96
Média da dens. da pop. rural	0.04	0.04	105.18	0.12	277.27	0.03	65.00	0.02	50.68	0.05	122.83	0.01	27.57	0.04	102.34
Média do PIB (R\$)	931864107.03	839461034.04	90.08	394679701.81	42.35	218005951.57	23.39	259898962.39	27.89	1537905743.74	165.04	1367469242.61	146.75	240844571.25	25.85
Média do PIB Per Capita (R\$)	21752.54	17530.21	80.59	7179.84	33.01	12871.46	59.17	16903.02	77.71	19318.96	88.81	32958.48	151.52	13096.48	60.21
Média do Créd. R. Agrícola (R\$)	35416499.72	28439474.80	80.30	2803115.43	7.91	12838275.22	36.25	35528655.30	100.32	17522329.19	49.48	103735794.66	292.90	20261679.61	57.21
Média da dens. Cred. Agrícola	0.30	0.10	32.74	0.02	6.80	0.05	15.79	0.08	25.87	0.14	47.61	0.18	59.98	0.06	18.42
Média do Créd. R. Pecuário (R\$)	15670047.63	13953647.17	89.05	3217620.43	20.53	8279358.05	52.84	12353692.39	78.84	14748295.24	94.12	35888976.70	229.03	7244811.11	46.23
Média da dens. Cred. Pecuário	0.12	0.08	66.67	0.03	20.38	0.06	47.82	0.06	45.59	0.14	110.71	0.07	59.12	0.05	39.67
Média do Rem. Veg. Nativa (ha)	85897.06142	124205.11	144.60	62507.55	72.77	136823.15	159.29	212279.59	247.13	53995.33	62.86	229465.67	267.14	158187.22	184.16
Média do Perc. Rem. Veg. Nat.	36.81	48.37	131.40	45.05	122.39	59.29	161.09	62.87	170.79	38.88	105.63	36.60	99.45	62.00	168.43
Total de Rem. Veg. Nativa (ha)	111408488.66	89551885.76	80.38	5875709.24	5.27	21754881.33	19.53	28445465.64	25.53	13282850.84	11.92	20192978.70	18.13	48247100.98	43.31
Média da Precipitação	1402.38	1392.63	99.30	1526.32	108.84	1449.76	103.38	1281.25	91.36	1297.05	92.49	1583.38	112.91	1420.69	101.31
Média da Dist. Desm. Rodovias	0.02	0.02	112.17	0.02	117.83	0.03	141.06	0.03	130.47	0.02	76.57	0.03	125.56	0.03	143.10
Média da declividade	8.42	8.15	96.78	7.07	83.90	6.97	82.82	6.43	76.40	10.83	128.64	6.54	77.72	6.83	81.07

% refere-se a porcentagem das variáveis comparado a todo o Cerrado

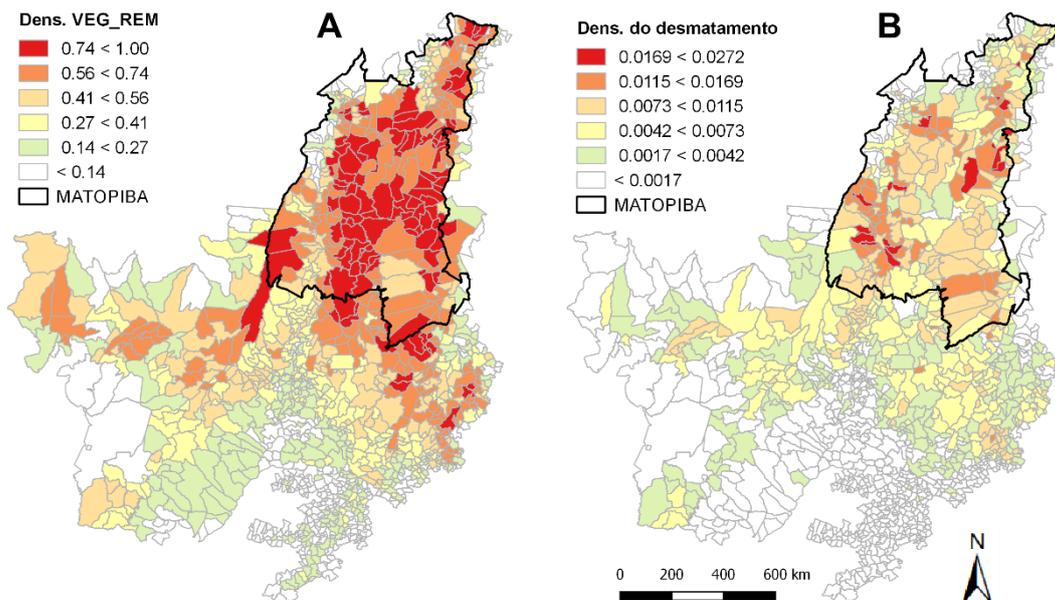


Figura S1 – (A) Densidade da vegetação nativa remanescente e (B) densidade do desmatamento ocorrido entre 2013 e 2017.