

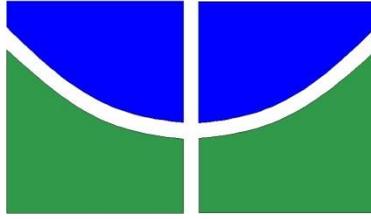


**ANÁLISE ESPACIALMENTE EXPLÍCITA DA OCORRÊNCIA DE FOGO  
NA REGIÃO DO MATOPIBA**

**Joaquim José Raposo Puga Pereira**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

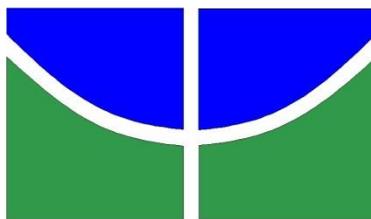
**ANÁLISE ESPACIALMENTE EXPLÍCITA DA OCORRÊNCIA DE FOGO  
NA REGIÃO DO MATOPIBA**

**Joaquim José Raposo Puga Pereira**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Brasília, 10 de dezembro de 2018



**Universidade de Brasília - UnB**  
**Faculdade de Tecnologia - FT**  
**Departamento de Engenharia Florestal - EFL**

## **Análise espacialmente explícita da ocorrência do fogo na região do MATOPIBA**

**Estudante: Joaquim José Raposo Puga Pereira**

**Matrícula: 14/0146288**

**Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli**

**Matricardi Menção: MS**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Eraldo Trondoli', positioned above a horizontal line.

**Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli**  
**Matricardi Universidade de Brasília -UnB**  
**Departamento de Engenharia**  
**Florestal Orientador (EFL)**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Fabrícia Menez Mota', positioned above a horizontal line.

**Profa. Dra. Fabrícia Conceição Menez**  
**Mota Universidade de Brasília -UnB**  
**Membro da Banca**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ricardo de O. Gaspar', positioned above a horizontal line.

**Prof. Dr. Ricardo Gaspar de Oliveira**  
**Universidade de Brasília - UnB**  
**Membro da Banca**

**Brasília-DF, 10 de dezembro de 2018.**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço aos meus pais, que sempre me deram liberdade, apoio e acreditaram no meu potencial. Minha mãe Rosane, que me fez ter contato com a natureza desde criança e me ensinou a valorizar esse meio. Ao meu pai, João, que sempre me fez buscar o conhecimento, e não deixou de me cobrar bons desempenhos como aluno.

Agradeço a minha namorada, que esteve comigo ao longo de todo esse percurso da engenharia florestal, onde construímos um caminho juntos repleto de felicidade, de muito amor e muitos conhecimentos compartilhados.

Agradeço a todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, onde sempre tive bom convívio, e pude aprender e sobre diversas áreas de estudo. Em especial ao meu orientador, Eraldo, que não desistiu do meu potencial, criou todas as oportunidades que estavam ao seu alcance, e teve um importante papel no meu desenvolvimento acadêmico, profissional e pessoal.

Enfim, agradeço a todos os amigos que fiz na Engenharia Florestal, que me fizeram crescer como pessoa, e com os quais compartilhei grandes momentos, alegrias e aventuras.

## RESUMO

### ANÁLISE ESPACIALMENTE EXPLÍCITA DA OCORRÊNCIA DE FOGO NA REGIÃO DO MATOPIBA

O objetivo geral do presente estudo foi analisar a dinâmica espacial e temporal das áreas queimadas ocorridas na região do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) dentro do bioma Cerrado, ocupando um total de 655.983,12 km<sup>2</sup>, no período de 2000 a 2017. Neste trabalho foram utilizados dados do produto MODIS MCD64A1, os quais fornecem mensalmente informação sobre áreas queimadas em escala global, e dados da coleção 3 do MAPBIOMAS de uso e cobertura do solo para o bioma do Cerrado. Primeiramente, quantificou-se a área ocupada por cada classe de uso e cobertura do solo na área de estudo usando dados do projeto MapBiomias e, posteriormente, foram estimadas as áreas atingidas por fogo anualmente. Complementarmente, foram identificados e analisados os principais fatores físicos e socioeconômicos espacialmente explícitos que influenciam a ocorrência dos incêndios florestais usando o modelo probabilístico Probit. As classes de uso e cobertura do solo predominantes na região do MATOPIBA até 2017 foram: Formação Savânica (39,5%), Formação Florestal (19,2%) e Formação Campestre (18,3%). Os anos com maior área queimada foram os anos 2000 (20,2%), 2010 (19,9%) e 2012 (18,4%). Os anos com menor área queimada foram os anos 2006 (4,93%), 2009 (3,48%) e 2013 (6,27%). No período analisado, estima-se que 54,9% da área de estudo foi atingida pelo menos uma vez por fogo. Verificou-se que a maior parte dos incêndios estava localizada na porção central e sudoeste da área estudada. Com base nos resultados do modelo Probit, as variáveis espaciais que mais afetaram a ocorrência dos incêndios na área ( $\alpha= 0,05$ ) foram: distância de rodovias, distância de centros urbanos, distância de ferrovias, distâncias de linhas de transmissão, altitude, declividade e longitude, dentro das Unidades de Conservação de Proteção Integral, fora das Unidades de Conservação de Uso Sustentável, Formação Florestal, Formação Savânica, Formação Campestre, Cultura Anual e Perene e Mosaico de Agricultura e Pastagem. Em 2007, 2010 e 2012 ocorreram de forma significativa mais incêndios comparados com 2017. Em 2014 e 2015 não houve diferença significativa de ocorrência de incêndios comparados com 2017. Os demais anos tiveram significativamente menos incêndios comparados com 2017. Estes resultados indicam que fatores adversos que ocorreram a cada ano e que não foram incluídos na presente modelagem Probit influenciam a ocorrência de incêndios florestais na região. Além disso, alguns tipos de vegetação como as formações campestre e savânica parecem ser mais vulneráveis aos incêndios florestais, especialmente dentro das Unidades de Conservação de proteção integral na região do MATOPIBA.

**Palavras-chave:** MATOPIBA. Áreas queimadas. MAPBIOMAS. MODIS MCD65A1. Estatísticas espaciais. Modelo Probit.

## ABSTRACT

### SPATIALLY EXPLICIT ANALYSIS OF THE OCURRENCE OF FIRE IN THE MATOPIBA REGION

The general objective of this study was the spatial and temporal analysis of the burned areas occurred in the MATOPIBA region (Maranhão, Tocantins, Piauí and Bahia) in the Cerrado biome, occupying a total of 655.983,12 km<sup>2</sup>, from 2000 to 2017. In this research, data from the MODIS MCD64A1 product were used, which provide monthly information on burned areas in a global scale, and data from MAPBIOMAS collection 3 of land use and cover for the Cerrado biome. Firstly, the area occupied by each class of land use and cover in the study area was quantified using data from MapBiomias project and subsequently, the areas affected by fire were estimated annually. In addition, we identified and analyzed the main spatially explicit physical and socioeconomic factors that influence the occurrence of forest fires using the Probit probabilistic model. The classes of land use and cover predominant in the MATOPIBA region until 2017 were: Savanna Formation (39.5%), Forest Formation (19.2%) and Grass Lands Formation (18.3%). The years that burned the largest areas were 2000 (20.2%), 2010 (19.9%) and 2012 (18.4%). The years with the lowest area burned were the years 2006 (4.9%), 2009 (3.5%) and 2013 (6.3%). During the studied period, I estimated that 54,9% of the study area was burned at least once. Most of the fires was spatially located in the central and southwest portion of the studied region. Based on the Probit model results, the spatial variables that most affected the fire occurrence in the study area ( $\alpha = 0,05$ ) were: distance of highways, distance of urban centers, distance of railways, distance of transmission lines, slope and longitude, sites located within the Protected areas of Full Protection, sites located outside of Protected areas of Sustainable Use, Forest Formation, Savanna Formation, Grass Lands Formation, Annual and Perennial Culture and Mosaic of Agriculture and Pasture. In 2007, 2010 and 2012 there were significantly more fires compared 2017. There was no significant difference between those fires that occurred in 2014 and 2015 compared to 2017 (the temporal omitted variable). Every other year of analysis showed significantly lesser fire events than those observed in 2017. These study results indicate that unknown factors that may annually occur were not included in the present Probit modeling and they may affect fire occurrence in the study region. In addition, some types of vegetation, such as the savanna formation, grasslands formation and pastures, seem to be more prone to forest fires, especially within Protected areas of Full Protection in the MATOPIBA region.

**Keywords:** MATOPIBA. Burned areas. MAPBIOMAS. MODIS MCD64A1. Spatial statistics. Model Probit.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
1.1. Questões Norteadoras do Estudo .....	5
2. OBJETIVOS.....	6
2.1. Objetivo geral .....	6
2.2. Objetivos específicos .....	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1. Incêndios Florestais .....	6
3.2. Sensor MODIS.....	7
3.2.1. Produto MCD64A1 V006.....	7
3.3. Modelo probabilístico espacial de incêndios florestais – Probit.....	8
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
4.1. Localização e caracterização da área de estudo.....	9
4.2. Base de dados.....	10
4.3. Uso e Cobertura do Solo .....	11
4.4. Processamento do produto MCD64A1 .....	11
4.4.1. Mapeamento e quantificação das áreas queimadas .....	11
4.4.2. Recorrência das áreas atingidas por fogo .....	11
4.5. Processamento do modelo probabilístico e espacial de ocorrência de incêndios	12
4.5.1. Modelo Conceitual da ocorrência de Incêndios Florestais .....	12
4.5.2. Amostragem .....	13
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	15
5.1. Uso e Cobertura do Solo .....	15
5.2. Incêndios na área de estudo (2000 a 2017).....	20
5.3. Recorrência de incêndios florestais (2000 a 2018).....	22
5.4. Distribuição espacial e temporal dos incêndios .....	25
6. CONCLUSÕES .....	33
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34
APÊNDICE A .....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Base de dados utilizada no estudo. ....	10
Tabela 2. Áreas em km <sup>2</sup> e percentagem para cada classe de uso e cobertura do solo. ....	16
Tabela 3. Área em km <sup>2</sup> e percentagem das classes de uso e cobertura da terra agrupadas. .....	19
Tabela 4. Área queimada anualmente na região do MATOPIBA entre 2000 e 2017. ....	21
Tabela 5. Recorrência de áreas queimadas no período de 2000 a 2017. ....	23
Tabela 6. Resultados da regressão Probit. ....	26

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo (área do bioma Cerrado na região do MATOPIBA).....	9
Figura 2. Amostragem estratificada-aleatória das variáveis espacialmente explícitas utilizada na área de estudo.....	14
Figura 3. Uso e cobertura da terra na região do MATOPIBA entre 2000 e 2017. Fonte: Adaptado do projeto MAPBIOMAS (2018). ....	17
Figura 4. Variação da área de cada classe de uso e cobertura da terra agrupadas em Floresta, Formação Natural e Agropecuária entre 2000 e 2017. ....	20
Figura 5. Área total queimada nos anos de 2000 a 2018. ....	22
Figura 6. Distribuição espacial da recorrência dos incêndios florestais na área entre 2000 e 2017. ....	24
Figura 7. Probabilidade da ocorrência de incêndio florestal com a variação da distância de rodovias.....	28
Figura 8. Probabilidade da ocorrência de incêndio florestal com a variação da distância de centros urbanos. ....	29
Figura 9. Probabilidade da ocorrência de incêndio florestal com a variação altitude....	30
Figura 10. Probabilidade da ocorrência de incêndio florestal com a variação da declividade.....	30
Figura 11. Probabilidade da ocorrência de incêndios florestais dentro e fora de Unidades de Conservação.....	31
Figura 12. Probabilidade de ocorrência de incêndios florestais em diferentes classes de vegetação. ....	32

## 1. INTRODUÇÃO

As savanas são um dos ambientes em que a presença do fogo é considerada um fator estruturador da vegetação (MIRANDA et al., 2002). As savanas são biomas que ocorrem em sua maioria na latitude dos trópicos e sua existência está diretamente ligada ao ciclo das chuvas (ANDRADE, 2008). O Cerrado é a maior savana da América do Sul sendo considerado um “*hotspot*” tanto pela sua biodiversidade como pelo seu alto grau de degradação (MYERS et al., 2000; MITTERMEIER et al., 2005). O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, sendo superado em área apenas pela Amazônia. Ocupa 21% do território nacional e é considerado a última fronteira agrícola do planeta (BORLAUG, 2002).

Com o avanço do agronegócio brasileiro, as novas fronteiras têm sido observadas na porção da região nordeste e em parte da região norte do Brasil. Os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, que juntos formam uma das mais recentes fronteiras agrícolas do país, denominada região do MATOPIBA, nome dado pela junção das iniciais das siglas dos quatro Estados. Com potencial agrícola promissor, esta região apresentou uma escala crescente em área plantada e na produção de grãos e outros produtos oriundos da agricultura (MIRANDA et al., 2014). A região MATOPIBA está localizada no bioma Cerrado e apesar da sua dimensão e importância, é um dos ecossistemas mais ameaçados, pois a ocupação agrícola de seus solos tem provocado nas últimas décadas, transformações drásticas em sua paisagem natural (SILVA, 2000).

A realização de queimadas está entre as práticas de manejo do uso da terra no Cerrado. Para esse bioma, a ocorrência de fogo tem aumentado em área e frequência junto com o crescimento das atividades de agropecuária nas três últimas décadas, a maior parte com o manejo do pasto para criação de bovinos (RIVERA-LOMBARDI, 2003). O fogo é utilizado no manejo e renovação de pastagens na região do Cerrado durante o período seco, para estimular a rebrota da forragem, que é mais fresca e palatável para o gado. A expansão agrícola é uma atividade causadora de queimadas, já que é uma atividade controlada e incorporada ao sistema de produção (COUTINHO, 1980; PIVELLO & COUTINHO, 1996; RIVERA-LOMBARDI, 2003).

As queimadas, importante fator ecológico (SUGIHARA et al., 2006) e de perturbação ambiental (MIRANDA et al., 2004), constituem uma questão extremamente complexa, de difícil mitigação e monitoramento (CHUVIECO et al., 2008), sofrendo influência de fatores climáticos, ecológicos, culturais e econômicos. Da mesma forma, seus danos não

implicam somente na redução da cobertura vegetal lenhosa (SATO, 2003), mas na perda da biodiversidade, na sustentabilidade dos ecossistemas e na emissão de gases para a atmosfera, os quais trazem efeitos para a saúde da população e para as mudanças climáticas (TANSEY et al., 2004; RANDERSON et al., 2012; LONGO et al., 2009; DIAS & MIRANDA 2010; PIVELLO et al., 2010). Dentre outros problemas eminentes com o uso do fogo ao meio ambiente estão as erosões, a compactação do solo e o aumento da ocorrência de espécies vegetais invasoras (ZANINI & DINIZ, 2006).

Em uma projeção futura, estimativas apontam que até o ano de 2050 ocorrerá o desmatamento de 13,5% do restante do bioma Cerrado, com taxas médias de 40.000 km<sup>2</sup> por década (FERREIRA et al., 2012). Desta maneira, para que possam ser realizadas ações de prevenção e combate ao desmatamento e às queimadas, em especial nos ecossistemas que se encontram constantemente ameaçados pela ação antrópica, o monitoramento sistemático se torna necessário, para traçar metas no planejamento para controle e gerenciamento eficiente para os próximos anos (PIROMAL et al. 2008).

No presente estudo, foi identificadas as áreas com ocorrência de fogo na região do MATOPIBA utilizando o produto MCD64A1 derivado do sensor MODIS, no período entre 2000 e 2017. Adicionalmente, foi conduzida uma análise espaço-temporal das variáveis espacialmente explícitas que influenciam a ocorrência dos incêndios florestais na região de estudo. Os resultados desta pesquisa podem contribuir para o entendimento da dinâmica do fogo e para a definição de estratégias de controle, prevenção e combate deste fenômeno na região de estudo.

### **1.1. Questões Norteadoras do Estudo**

As últimas décadas no Brasil foram marcadas pela expansão da produção da agricultura de commodities, especialmente na região do Cerrado brasileiro. A região do MATOPIBA foi marcada pelas maiores taxas de expansão das áreas agrícolas, notadamente os plantios de soja. Os incêndios florestais estão em sua maioria associados às atividades antrópicas e ao uso intensivo do solo para fins agrícolas. Diante desta problemática, algumas questões relevantes devem ser adequadamente consideradas para proporcionar um melhor entendimento sobre os incêndios florestais ocorridos nessa região, por exemplo: Qual foi a área e a frequência da ocorrência dos incêndios na região do MATOPIBA? Onde estavam localizados esses incêndios? Quais fatores podem ser considerados com influência significativa para a ocorrência de incêndios florestais?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

O objetivo geral do presente estudo foi analisar a dinâmica espacial e temporal das áreas atingidas por fogo na região do MATOPIBA no período de 2000 a 2017.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Mapear as áreas queimadas na região do MATOPIBA utilizando o produto MODIS MCD64A1;
- Analisar o padrão de recorrência das queimadas;
- Verificar por meio do modelo Probit os fatores que influenciam a probabilidade de ocorrência das áreas queimadas na área de estudo com base na distribuição espacial, características físicas e socioeconômicas.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1. Incêndios Florestais**

Os ecossistemas naturais, especialmente aqueles mais fragilizados em seus aspectos físicos, químicos e biológicos, encontram-se, ao longo das últimas décadas, sob grande pressão antrópica, que, associada a fatores naturais, vêm promovendo sérios riscos à manutenção da estabilidade do meio ambiente. Intrinsecamente ligado a esse contexto, destacam-se os incêndios florestais, cuja ação afeta a estabilidade no processo de resiliência ambiental, promovendo, desse modo, sérios riscos à sustentabilidade do meio (ASSIS et al., 2014). Os incêndios em vegetação podem provocar prejuízos importantes ao ambiente, como os danos à fauna e à flora, às pessoas, além de consequências econômicas consideráveis, como a destruição de habitats, a queima de madeira e os custos para seu controle (FIEDLER et al., 2006).

Para Torres e Ribeiro (2008), a maior parte dos incêndios tem origem humana. Ações antrópicas como consolidação de áreas urbanas, abertura de novas áreas para pastagem e uso agrícola, limpeza do terreno para plantio, queima de lixo, proximidade de rodovias, são alguns fatores que contribuem para ocorrência de incêndios florestais. Além disso, vários fatores naturais também estão ligados diretamente à ocorrência de incêndios florestais, sendo as variáveis climáticas, o material combustível característico da área e o relevo os mais relevantes. (ASSIS et al., 2014).

### **3.2.Sensor MODIS**

O MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) é o principal instrumento presente nos satélites Terra e Aqua lançados em 1999 e 2002, respectivamente. Ambos integram o sistema de observação da Terra da NASA (EOS). Desde fevereiro de 2000, o MODIS vem gerando uma série de produtos da superfície terrestre para atender as demandas da agência de Ciência da Terra da NASA (JUSTICE et al., 1998).

A órbita do satélite da Terra é sincronizada com a órbita do satélite Aqua para que passe de norte a sul na linha do equador na parte da manhã, enquanto que o Aqua passe de sul para norte no período da tarde. O Terra MODIS e o Aqua MODIS percorrem a superfície terrestre entre 1 a 2 dias, gerando alta resolução temporal (MODIS Website, 2018). Além da resolução temporal, este sensor possui uma série de características melhoradas em relação a outros sensores como, por exemplo, melhor resolução espectral e radiométrica (JUSTICE et al., 2002a). O Sensor MODIS também apresenta melhor resolução espacial nas bandas espectrais da região do visível e infravermelho próximo e médio (comparados à satélites geoestacionários) (JUSTICE et al., 2002b).

Composto por um scanner óptico de varredura transversal e um conjunto de elementos detectores capazes de fornecer imagens da superfície terrestre em 36 bandas espectrais distribuídas entre o visível e o infravermelho termal, o sensor MODIS pode ser considerado um espectro-radiômetro imageador de resolução espacial moderada, variando entre 250 m e 1000 m (JUSTICE et al. 2002a). Este sensor foi projetado para atender as necessidades de três campos de pesquisa: superfície terrestre, atmosfera e oceano, contendo bandas de resolução espectral e espacial adaptadas para o conhecimento de diferentes demandas observacionais, e oferecer uma cobertura global quase diária (JUSTICE et al. 2002a).

#### **3.2.1. Produto MCD64A1 V006**

O produto de dados de área queimada, dos satélites Terra e Aqua combinados, MCD64A1 Versão 6, é um produto mensal de grade de 500 m, contendo informações de qualidade e área queimada por pixel. Na abordagem de mapeamento da área queimada do MCD64A1, são utilizadas imagens de reflectância de superfície MODIS de 500 m, de maneira conjunta com observações ativas de incêndio MODIS de 1 km. O algoritmo usa um índice de vegetação sensível à queima (IV) para criação de limiares dinâmicos que são aplicados aos dados compostos. O índice de vegetação é derivado das bandas de

infravermelho de onda curta 5 e 7 do MODIS, de reflectância da superfície corrigidas atmosféricamente, com uma medida de textura temporal. O algoritmo identifica a data de gravação das células da grade de 500 m e a data é codificada em uma única camada de dados contendo o dia ordinal do ano em que a queima ocorreu, com valores atribuídos a pixels de terra não queimados e valores especiais adicionais reservados para dados perdidos e células de grade de água. Os dados fornecidas pelo produto MCD64A1 incluem data de queima (*Burned Date*), incerteza de dados de queima (*Burned Data Uncertainty*), garantia de qualidade (*Quality Assurance*) e o primeiro e último dia de detecção de alterações confiáveis do ano (GIGLIO et al., 2015). O uso combinado de dados de fogo ativo e reflectância permite que o algoritmo se adapte regionalmente em uma ampla gama de condições pré e pós-queima e em múltiplos ecossistemas (GIGLIO et al., 2009).

### 3.3. Modelo probabilístico espacial de incêndios florestais – Probit

De acordo com Gujarati e Porter (2011), para se entender o comportamento de uma variável dependente dicotômica é necessária a utilização de uma função de distribuição acumulada. O modelo probabilístico espacial, Probit, pode ser utilizado para descrever o comportamento da variável binária (*dummy*) em termos de uma regressão linear sobre variáveis explicativas não-aleatórias contidas em um vetor (BRAUMANN & CARNEIRO, 2002).

Conforme Wooldridge (2000), o modelo probit pode ser definido como:

$$y^* = \beta_0 + x\beta + \varepsilon, y = 1 [y^* > 0] \quad (1)$$

Onde:  $y^*$  é uma variável latente ou não-observada (neste estudo, sendo representada pelo pixel de fogo) que satisfaça a distribuição normal e de homoscedasticidade com uma média linear;  $x$  é um vetor de variáveis independentes;  $\beta$  é um vetor de coeficientes não conhecidos;  $\varepsilon$  é o erro de distribuído independentemente, onde se assume ser normal com média zero e variância constante. Assim, a função indicadora requer que as observações sejam consideradas valor 1 se o evento (incêndio florestal) é verdadeiro e 0 se for falso. Deste modo,

$$y = 1 \text{ se } y^* > 0 \text{ e}$$

$$y = 0 \text{ se } y^* \leq 0$$

Baseando-se nestes princípios, a probabilidade de ocorrência de fogo na área de estudo pode ser definida de acordo com a seguinte equação:

$$P(y = 1|x) = P(y > 0|x) = P(\varepsilon > -x\beta|x) = \phi(x\beta) \quad (2)$$

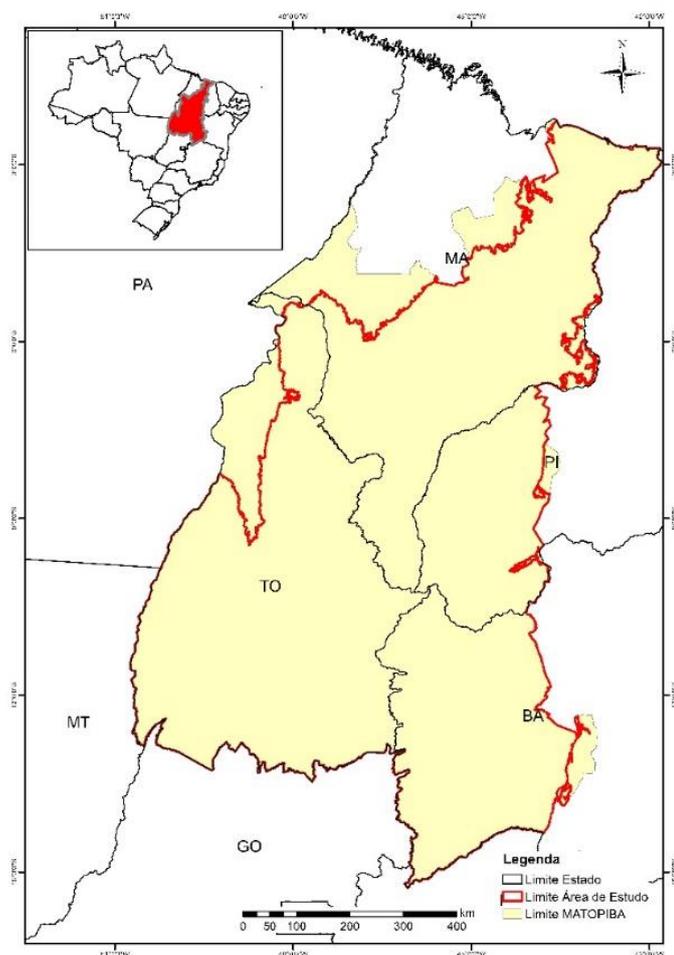
Em que:  $\phi$  é a função de distribuição normal cumulativa;  $x =$  é o vetor de variáveis independentes;  $\beta$  é o vetor de coeficientes desconhecidos.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Localização e caracterização da área de estudo

A região de estudo deste trabalho está inserida em uma área de aproximadamente 731.443,73 km<sup>2</sup> que abrange os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí, Bahia (Figura 1) e 31 microrregiões (EMBRAPA, 2015). Conhecida pelo acrônimo MATOPIBA, a região é caracterizada pela crescente expansão da fronteira agrícola fundada em tecnologias modernas e de alta produtividade (EMBRAPA, 2015).

A maior parte do limite proposto para a região do MATOPIBA é composto pelo bioma Cerrado (Figura 1), que foi utilizado como área de estudo, com uma área de 655.983,12 km<sup>2</sup>. Uma parte localizada no Oeste da região do MATOPIBA, é ocupada pelo bioma amazônico e outra parte localizada no Leste pelo bioma Caatinga.



**Figura 1.** Localização da área de estudo (área do bioma Cerrado na região do MATOPIBA).

O Cerrado possui em grande parte do seu domínio características climáticas bem definidas, apresentando duas estações, uma chuvosa, que começa entre os meses de setembro e outubro e se estende até março e abril, e outra estação seca, que se inicia entre os meses de abril e maio e estende-se até os meses de setembro a outubro, ocorrendo em média de 5 a 6 meses de deficiência hídrica (SILVA et al., 2008). O clima é predominantemente classificado como Aw de Köppen, Tropical Chuvoso, caracterizado por invernos secos e verões quentes e chuvosos, coincidindo com a distribuição da maioria das Savanas. A precipitação média anual gira em torno de 1.500 mm, variando de 750 mm a 2.000 mm (RICHARDS, 1976; NIMER, 1989; RIBEIRO & WALTER, 2008).

O bioma Cerrado apresenta diferentes fisionomias, reunindo formações florestais, savânicas e campestres, um gradiente vegetacional entre árvores e arbustos, entre arbustos e subarbustos e entre subarbustos e estruturas herbáceas. Fisionomicamente, o termo floresta se refere às áreas em que as espécies arbóreas são predominantes, com dossel contínuo ou não. O termo savana representa as áreas com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato gramíneo, sem dossel contínuo e regiões de campos indicam as áreas com espécies herbáceas e algumas arbustivas, sem árvores na composição da paisagem (EITEN, 1972; RIBEIRO & WALTER, 2008).

#### 4.2. Base de dados

Os dados vetoriais e matriciais utilizados no estudo encontram-se na **Tabela 1**, a seguir:

**Tabela 1.** Base de dados utilizada no estudo.

<b>Dado</b>	<b>Formato</b>	<b>Fonte</b>
Uso e Cobertura do Solo – Cerrado	<i>Raster</i>	MAPBIOMAS
Produto MODIS MCD64A1	<i>Raster</i>	USGS
Modelo Digital de Elevação – SRTM	<i>Raster</i>	USGS
Rodovias	<i>Shapefile</i>	IBGE
Ferrovias	<i>Shapefile</i>	IBGE
Linhas de Transmissão	<i>Shapefile</i>	IBGE
Centros Urbanos	<i>Shapefile</i>	IBGE
Unidades de Conservação de Proteção Integral	<i>Shapefile</i>	ICMBIO
Unidades de Conservação de Uso Sustentável	<i>Shapefile</i>	ICMBIO

### **4.3. Uso e Cobertura do Solo**

A análise de uso e cobertura do solo para o período de 2000 a 2017 foi realizada a partir dos dados do MAPBIOMAS para o bioma do Cerrado. As imagens foram exportadas a partir da plataforma em nuvem *Google Earth Engine*. As imagens foram projetadas para o Sistema de Projeções Cartográficas *World Sinusoidal*, utilizando o software ArcGIS 10.3, o que permitiu a estimativa das áreas de cada classe de uso e cobertura da terra para a região estudada. Os dados gerados (uso e cobertura anual da área de estudo) foram utilizados para compor as variáveis utilizadas no modelo probabilístico espacial de ocorrência de incêndios.

### **4.4. Processamento do produto MCD64A1**

#### **4.4.1. Mapeamento e quantificação das áreas queimadas**

A obtenção do produto MCD64A1, disponibilizado pelo o Serviço Geológico Americano (USGS), foi feita através da plataforma em nuvem *Google Earth Engine*, onde foram exportados os valores de detecção da área rotulada como queimada (*burndate*) para a área de estudo em cada ano de análise.

O produto MCD64A1 fornece uma data de evento queimado para cada pixel, que foi utilizada para derivar estimativas de áreas queimadas e gerar mapas acumulativos anuais, por meio do *software* ArcGIS 10.3. Para o cálculo das áreas de queimada anuais foi utilizado o Sistema de Projeção Cartográfica *World Sinusoidal*, os valores julianos da banda *burndate* que variam de 0 a 366 foram reclassificados de maneira binária onde foi utilizado o valor 0, se menores que 1 ou maiores que 365, e 1 caso contrário. O produto também fornece informações sobre a garantia de qualidade (*Quality Assurance*), onde foram utilizados os dados com o valor 1, que indicam que haviam dados suficientes para que o pixel fosse classificado como área de queima. Os dados gerados foram utilizados para compor as variáveis utilizadas no modelo probabilístico espacial de ocorrência de incêndios.

#### **4.4.2. Recorrência das áreas atingidas por fogo**

A partir do mapeamento das áreas atingidas por fogo, as imagens anuais reclassificadas foram utilizadas para a obtenção da recorrência anual das queimadas durante o período analisado, a partir da interseção, ano a ano, dos pixels classificados como cicatriz de fogo pelo produto MODIS MCD64A1. Para isso foi feito uma álgebra

de mapas, somando-se os valores de pixel em cada ano através da ferramenta *Raster Calculator*, do software ArcGIS 10.3.

#### **4.5. Processamento do modelo probabilístico e espacial de ocorrência de incêndios**

##### **4.5.1. Modelo Conceitual da ocorrência de Incêndios Florestais**

Para a construção do modelo probabilístico Probit, assumiu-se que três principais fatores podem aumentar a probabilidade de ocorrência de incêndios florestais, a saber: condições físicas, fontes de ignição e tipo de cobertura vegetal. As variáveis quantitativas incluídas no modelo para representar as condições topográficas da área de estudo foram a declividade do terreno e a altitude. Visto que, a topografia exerce influência sobre o vento, a temperatura, a umidade do ar e, conseqüentemente, atua como condicionante na propagação dos incêndios florestais (FREIRE et al., 2004).

As variáveis quantitativas distância euclidiana (km) de cidades, rodovias, ferrovias e linhas de transmissão foram utilizadas para verificar se a ocorrência dos incêndios florestais estava associada às atividades antrópicas. Foram criadas variáveis quantitativas referentes às coordenadas Sinusoidais em quilômetros, para analisar se a ocorrência das áreas queimadas na área de estudo sofre alguma influência espacial em relação aos sentidos de latitude, longitude e diagonal (latitude x longitude).

Diversos aspectos relacionados ao comportamento do fogo variam em função do tipo de cobertura vegetal (BATISTA, 2000). Neste sentido, para representar os diferentes graus de vulnerabilidade da vegetação (ARIMA et al., 2007), incluiu-se no modelo as variáveis binárias (*dummy*) correspondentes as seguintes classes: (1) Formação Florestal, (2) Formação Savânica, (3) Floresta Plantada, (4) Formação Campestre, (5) Pastagem, (6) Cultura anual e perene e (7) Mosaico de agricultura e pastagem.

Criou-se uma variável binária para representar a situação das unidades de conservação de proteção integral e outra para as unidades de conservação de uso sustentável, pois é esperado que ocorram menos incêndios dentro de suas fronteiras territoriais (MATRICARDI, 2007).

A seguir, estão listadas as variáveis independentes (x) utilizadas no modelo:

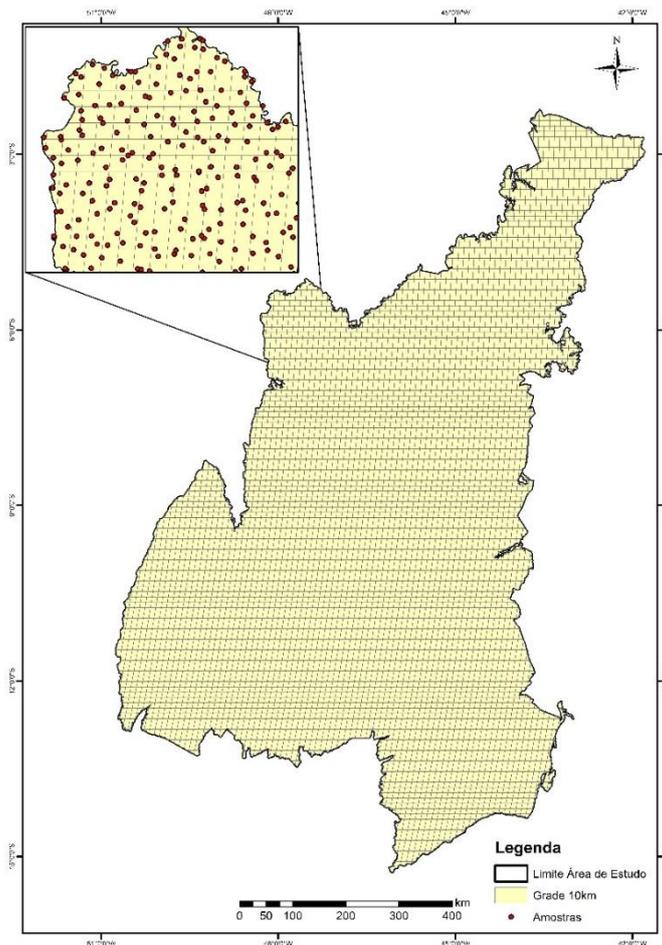
- Declividade do terreno (graus);
- Altitude (m);
- Proximidade de centros urbanos (distância euclidiana em Km);

- Proximidade de rodovias (distância euclidiana em Km);
- Proximidade de ferrovias (distância euclidiana em Km);
- Proximidade de linhas de transmissão (distância euclidiana em Km);
- Tipo de vegetação 1 (1 se Formação Florestal, 0 se contrário);
- Tipo de vegetação 2 (1 se Formação Savânica, 0 se contrário);
- Tipo de vegetação 3 (1 se Floresta Plantada, 0 se contrário);
- Tipo de vegetação 4 (1 se Formação Campestre, 0 se contrário);
- Tipo de vegetação 5 (1 se Pastagem, 0 se contrário);
- Tipo de vegetação 6 (1 se Cultura anual e perene, 0 se contrário);
- Tipo de vegetação 7 (1 se Mosaico de agricultura e pastagem, 0 se contrário);
- Unidades de Conservação de proteção integral (1 se dentro de UC, 0 se contrário);
- Unidades de Conservação de uso sustentável (1 se dentro de UC, 0 se contrário);
- Longitude (coordenada Sinusoidal em km);
- Latitude (coordenada Sinusoidal em km);
- Latitude x Longitude (representação diagonal em km);
- Ano de análise da ocorrência do fogo (1 se referente ao ano de interesse, 0 se contrário). Essa variável se repetiu para cada ano da análise.

#### **4.5.2. Amostragem**

Conforme apresentado anteriormente, a análise espacial da ocorrência dos incêndios florestais na região do MATOPIBA foi realizada utilizando-se os dados de áreas queimadas na área de estudo. A análise envolveu uma série multianual de dados entre 2000 a 2017 obtidos a partir dos dados do produto MODIS MCD64A1.

Assim, para o Modelo Probabilístico Espacial de ocorrência de incêndios florestais, uma amostragem estratificada-aleatória foi aplicada para coletar os dados de cada ponto amostral. Primeiro, um vetor de 10 km por 10 km foi criado e alocado sobre a área de estudo. Subsequentemente, um ponto foi aleatorizado dentro de cada célula de 100 km<sup>2</sup>, totalizando 6.974 pontos amostrais (Figura 2). Porém, como a análise foi realizada para cada ano, o resultado foi de um total de 125.532 pontos amostrais.



**Figura 2.** Amostragem estratificada-aleatória das variáveis espacialmente explícitas utilizada na área de estudo.

O pixel foi utilizado como a unidade de observação e um único valor da base de dados foi coletado para cada ponto na grade amostral para representar a ocorrência de incêndios florestais (1 se queimado, 0 se não queimado). Da mesma forma, um valor de pixel foi coletado para cada variável independente no ponto amostral.

Este procedimento foi adotado para reduzir os efeitos de autocorrelação espacial na base de dados (ANSELIN, 2002; ARIMA et al., 2007). A distribuição aleatória dos pontos dentro da grade amostragem regular contribui para reduzir os efeitos da coincidência entre os padrões espaciais da paisagem e dos pontos amostrais (BURROUGH, 1998). A amostragem estratificada-aleatória pode contribuir para minimizar prováveis tendências estatísticas de um modelo e o termo do erro em modelos Probit ocorridos devido a autocorrelação espacial na população amostrada (CHOMITZ & GRAY 1996; ARIMA et al., 2007).

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. Uso e Cobertura do Solo**

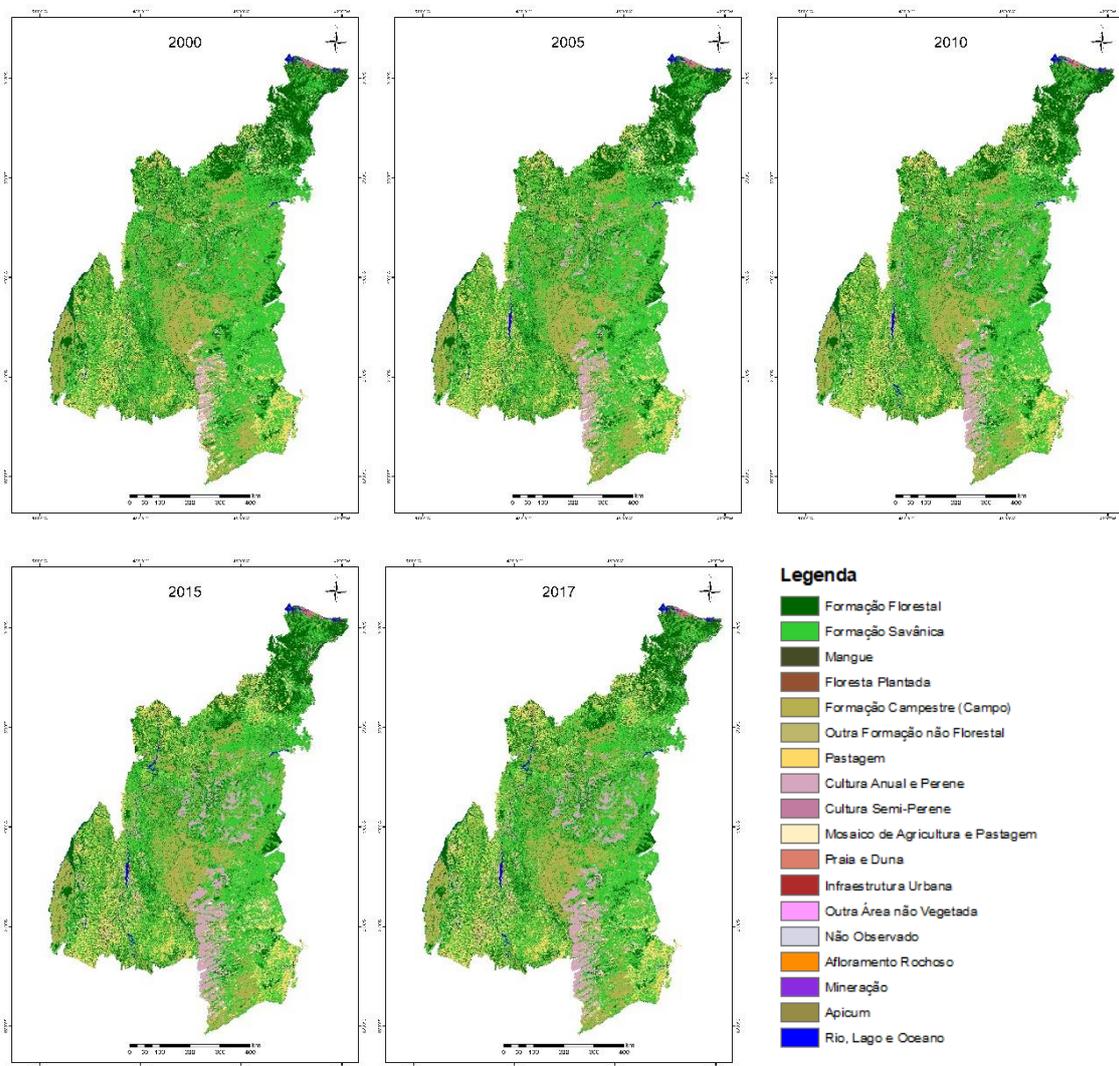
As áreas das classes de uso e cobertura do solo foram calculadas para os anos de 2000, 2005, 2010, 2015 e 2017 (Tabela 2).

**Tabela 2.** Áreas em km<sup>2</sup> e % para cada classe de uso e cobertura do solo.

Classe	2000		2005		2010		2015		2017	
	Área		Área		Área		Área		Área	
	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)
Formação Savânica	283.195,3	43,17	270.318,2	41,2	266.857,5	40,7	265.455,2	40,0	262.448,9	39,5
Formação Florestal	146.682,6	22,36	142.368,4	21,7	136.348,3	20,8	129.020,0	19,4	127.350,3	19,2
Formação Campestre	127.100,2	19,38	126.777,8	19,3	124.508,8	19,0	120.332,0	18,1	121.148,1	18,3
Pastagem	53.806,2	8,20	62.334,0	9,5	68.558,5	10,5	74.588,0	11,2	76.255,4	11,5
Cultura Anual e Perene	11.282,9	1,72	21.701,6	3,3	28.175,8	4,3	45.728,2	6,9	46.399	7,0
Mosaico de Agricultura e Pastagem	27.449,7	4,18	25.555,1	3,9	24.280,6	3,7	20.677,1	3,1	22.259,5	3,4
Rio, Lago e Oceano	3.927,0	0,6	4.506,3	0,7	4.612,7	0,7	5.126,9	0,8	5.005,7	0,8
Praia e Duna	891,9	0,14	951,9	0,1	974,7	0,1	1.005,2	0,2	1.003,9	0,2
Infraestrutura Urbana	520,2	0,08	552,0	0,1	644,5	0,1	759,1	0,1	762,5	0,1
Mangue	668,9	0,1	623,5	0,1	658,6	0,1	697,6	0,1	702,6	0,1
Afloramento Rochoso	220,6	0,03	215,2	0,03	223,5	0,03	200,8	0,03	230,9	0,03
Floresta Plantada	169,6	0,026	39,8	0,01	63,9	0,01	162,1	0,02	178,1	0,03
Apicum	33,7	0,005	5,4	0,001	1,4	0,0002	5,8	0,001	10,3	0,002
Mineração	0,6	0,00009	0,8	0,0001	0,5	0,0001	2,4	0,0004	3,7	0,001
Não Observado	0,8	0,0001	0,8	0,0001	1,3	0,0002	2,7	0,0004	2,9	0,0004
Outra Formação não Florestal	5,2	0,001	4,2	0,001	44,4	0,01	0,2	0,00004	1,4	0,0002
Outra Área não Vegetada	0,4	0,00006	0,5	0,0001	0,3	0,00005	0,5	0,0001	0,2	0,00003
Cultura Semi Perene	0,2	0,00004	0,02	0,000003	0	0	0	0	0	0

A partir da análise da Tabela 2, observou-se que a classe predominante na área ao longo dos 18 anos é a de Formação Savânica, atualmente com aproximadamente 40% da área total, seguida pelas classes de Formação Florestal e Formação Campestre com 19% e 18% da área total, respectivamente. Uma diminuição constante foi observada nas áreas das classes Formação Florestal, Formação Savânica, Formação Campestre, Apicum e Outra Formação Natural não Florestal. As classes de Floresta Plantada, Pastagem, Cultura Anual e Perene, Mosaico de Agricultura e Pastagem, Infraestrutura Urbana e Mineração tiveram um aumento em suas áreas no período observado. A classe de Cultura Semi Perene, foi a única classe presente no ano 2000 e que não foi observada no ano de 2017.

Os mapas gerados de Uso e Cobertura do Solo para a área de estudo nos anos de 2000, 2005, 2010, 2015 e 2017 podem ser observados a seguir (Figura 3).



**Figura 3.** Uso e cobertura da terra na região do MATOPIBA entre 2000 e 2017. Fonte: Adaptado do projeto MAPBIOMAS (2018).

Para melhor visualização de alterações na mudança no uso e cobertura do solo, as classes foram agrupadas seguindo a classificação do MAPBIOMAS (Tabela 3), em que:

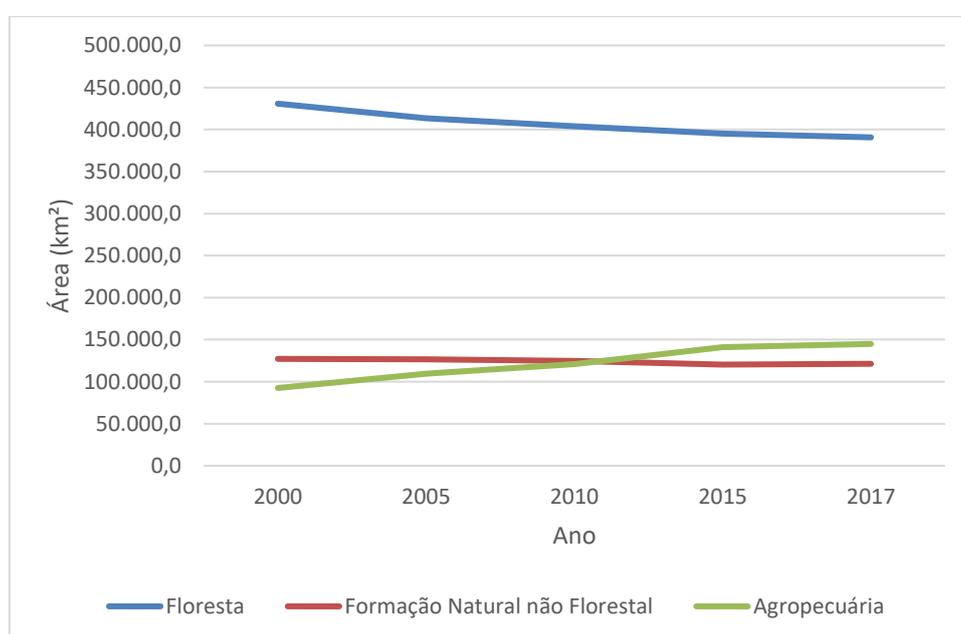
- Floresta: Formação Florestal, Formação Savânica, Mangue e Floresta Plantada;
- Formação Natural não Florestal: Formação Campestre, Apicum e Outra Formação Natural não Florestal;
- Agropecuária: Pastagem, Cultura Anual e Perene, Cultura Semi Perene e Mosaico de Agricultura e Pastagem;
- Área não Vegetada: Praia e Duna, Infraestrutura Urbana, Afloramento Rochoso, Mineração e Outra Área não Vegetada;
- Corpos d'água: Rio, Lago e Oceano;

**Tabela 3.** Área em km<sup>2</sup> e percentagem das classes de uso e cobertura da terra agrupadas.

<b>Ano</b>	<b>2000</b>		<b>2005</b>		<b>2010</b>		<b>2015</b>		<b>2017</b>	
<b>Classe</b>	<b>Área</b>									
	<b>(km<sup>2</sup>)</b>	<b>(%)</b>								
Floresta	430716,5	65,7	413349,9	63,0	403928,3	61,6	395335,0	59,6	390679,9	58,9
Agropecuária	92539,0	14,1	109590,8	16,7	121014,8	18,4	140993,2	21,2	144913,9	21,8
Formação Natural não Florestal	127139,2	19,4	126787,4	19,3	124554,5	19,0	120338,1	18,1	121159,9	18,3
Corpos d'Água	3927,0	0,6	4506,3	0,7	4612,7	0,7	5126,9	0,8	5005,7	0,8
Área não Vegetada	1633,6	0,2	1720,5	0,3	1843,6	0,3	1968,0	0,3	2001,2	0,3
Não Observado	0,8	0,0001	0,8	0,0001	1,3	0,0002	2,7	0,0004	2,9	0,0004

Analisando as classes agrupadas, a classe Floresta é a que ocupa a maior porcentagem da área de estudo, com 58,9%, seguida pela Agropecuária com 21,8% e Formação Natural não Florestal com 18,3%.

Conforme observado na Tabela 3 as áreas da classe agrupada Floresta e Formação Natural não Florestal apresentaram uma redução em suas áreas enquanto a classe agrupada de Agropecuária apresentou um aumento expressivo, com sua área crescendo de 92.539 km<sup>2</sup> para 144.913,9 km<sup>2</sup>. No decorrer do período analisado, pode-se observar que a classe Agropecuária passou a ocupar uma maior área do que a classe de Formação Natural não Florestal, possivelmente devido à redução nas áreas de Formações Savânica, Florestal e Campestre, que totalizaram uma redução de 46.031 km<sup>2</sup> (Figura 4).



**Figura 4.** Variação da área de cada classe de uso e cobertura da terra agrupadas em Floresta, Formação Natural e Agropecuária entre 2000 e 2017.

Os resultados observados do uso e cobertura da terra na região do MATOPIBA entre 2000 e 2017 estão relacionados ao período de maior expansão (últimas décadas) das commodities agrícolas no Brasil, com consequente aumento da demanda por novas áreas para atender o uso agrícola.

## 5.2. Incêndios na área de estudo (2000 a 2017)

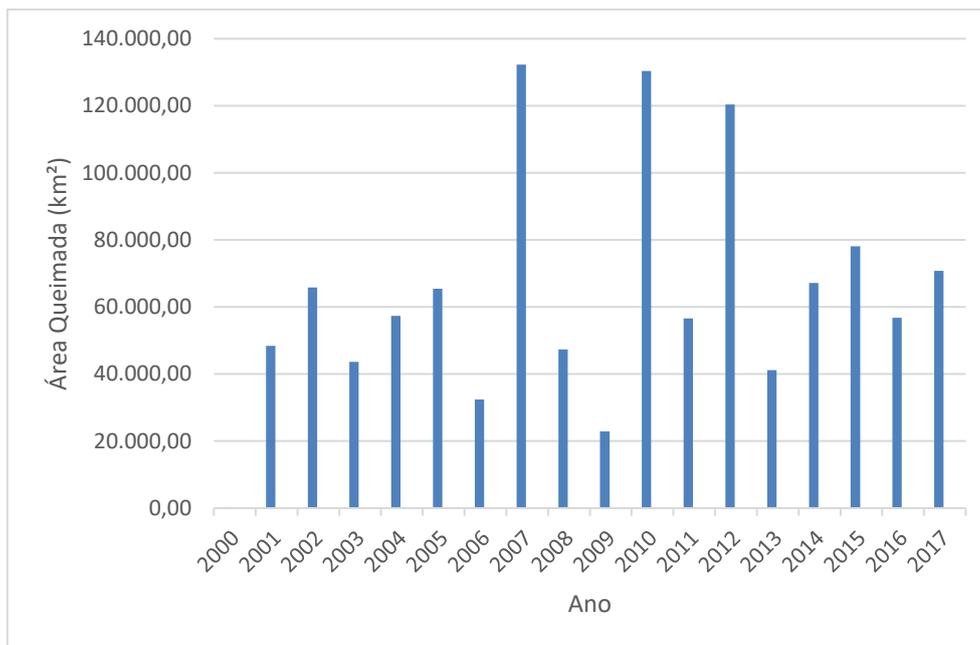
Os mapas anuais das áreas queimadas, encontram-se no **Apêndice A** deste trabalho. No ano 2000, só foram considerados dados do produto MCD64A1 a partir do dia 1 de novembro, quando foi iniciada a produção de dados, por isso o ano apresentou um

resultado inexpressivo de área queimada. Percebe-se que as queimadas possuem grande variabilidade espacial, ocorrendo em todas as regiões da área estudada. No entanto, foi possível observar uma maior recorrência desses incêndios nas porções central, e sudoeste da área de estudo.

Em relação à área anual queimada, obtida através do produto MCD64A1, os números mais expressivos são para os anos de 2007, 2010 e 2012. O ano que mais queimou foi o de 2007, em que a área queimada totalizou 132.305,02 km<sup>2</sup>, compreendendo 20,17% de toda a área. Nos anos de 2010 e 2012, as áreas queimadas foram de 130.349,98 km<sup>2</sup> e 120.367,10 km<sup>2</sup>, os quais compreenderam 19,87% e 18,35% da área total de estudo, respectivamente (Tabela 4 e Figura 5).

**Tabela 4.** Área queimada anualmente na região do MATOPIBA entre 2000 e 2017.

Ano	Área Total (km <sup>2</sup> )	Área Queimada	
		(km <sup>2</sup> )	(%)
2000*	655.983,12	299,80	0,05
2001	655.983,12	48.406,92	7,38
2002	655.983,12	65.778,52	10,03
2003	655.983,12	43.652,66	6,65
2004	655.983,12	57.354,96	8,74
2005	655.983,12	65.472,08	9,98
2006	655.983,12	32.360,75	4,93
2007	655.983,12	132.305,02	20,17
2008	655.983,12	47.391,95	7,22
2009	655.983,12	22.855,98	3,48
2010	655.983,12	130.349,98	19,87
2011	655.983,12	56.605,83	8,63
2012	655.983,12	120.367,10	18,35
2013	655.983,12	41.116,40	6,27
2014	655.983,12	67.127,58	10,23
2015	655.983,12	78.127,73	11,91
2016	655.983,12	56.762,51	8,65
2017	655.983,12	70.747,93	10,79



**Figura 5.** Área total queimada nos anos de 2000 a 2018.

A partir da análise da Figura 5, observa-se que os anos que antecederam os anos de maior área queimada (2007 e 2010 e 2012) podem ter influenciado a maior ocorrência do fogo nestes anos. É provável que devido à pequena área queimada em anos anteriores pode ter ocasionado um acúmulo de material combustível e, com isso, possibilitado a ocorrência de grandes incêndios em 2007, 2010 e 2012. Este resultado também pode estar relacionado a sazonalidades na precipitação ocorrida entre junho e setembro de cada ano. Segundo Resende et al. (2007) foi estimado 115.768 km<sup>2</sup> de áreas atingidas por fogo na região do MATOPIBA em 2012, quando foi verificada a ocorrência de baixa precipitação acumulada entre junho e setembro, que influenciou a ocorrência e propagação dos incêndios na região deixar a vegetação mais seca e susceptível ao fogo.

### **5.3. Recorrência de incêndios florestais (2000 a 2018)**

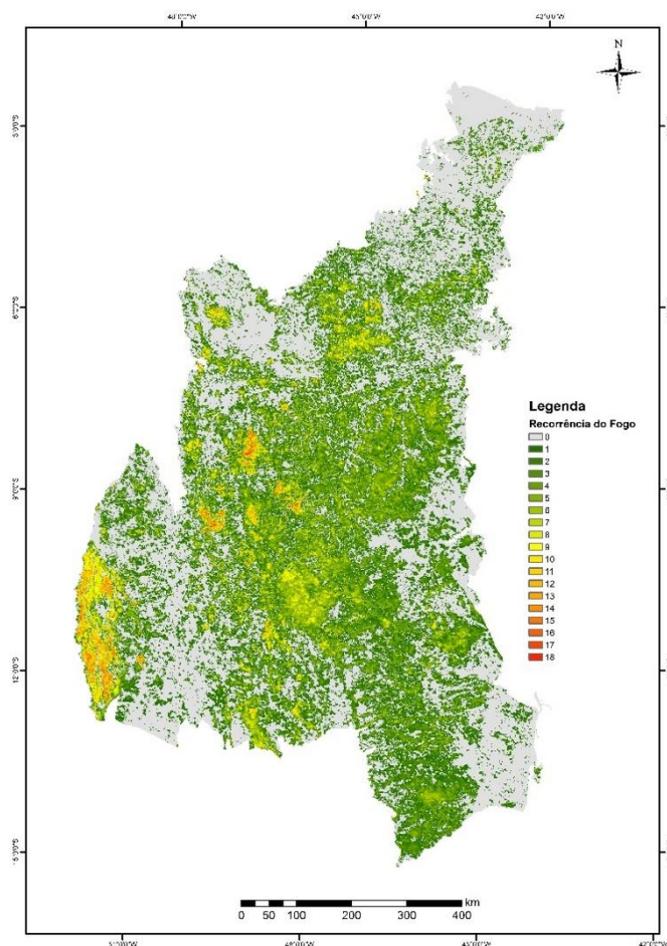
A realização do mapeamento da recorrência de queimadas é importante para prever o risco de queimadas futuras, pois dessa maneira é possível identificar áreas em que não ocorreram o registro de queimadas e que, dessa maneira, tornam-se mais propensas a pegar fogo, em consequência de um maior acúmulo de biomassa combustível (FRANÇA et al., 2007).

A Tabela 5 e a Figura 6, resultantes da sobreposição dos mapeamentos anuais, demonstram a recorrência mínima de queimadas que ocorreram na área de estudo no período de 2000 a 2017.

**Tabela 5.** Recorrência de áreas queimadas no período de 2000 a 2017.

Número de Queimadas	Área	
	km <sup>2</sup>	%
Não Queimou	296.163,49	45,1
1 vez	104.344,27	15,9
2 vezes	72.515,47	11,1
3 vezes	54.553,73	8,3
4 vezes	40.622,17	6,2
5 vezes	29.646,50	4,5
6 vezes	20.237,06	3,1
7 vezes	12.992,34	2,0
8 vezes	7.912,05	1,2
9 vezes	5.177,06	0,8
10 vezes	3.561,01	0,5
11 vezes	2.634,76	0,4
12 vezes	2.046,63	0,3
13 vezes	1.547,79	0,2
14 vezes	1.038,29	0,2
15 vezes	606,85	0,1
16 vezes	273,33	0,04
17 vezes	96,48	0,01
18 vezes	13,82	0,002
<b>Total</b>	<b>655.983,12</b>	<b>100</b>

Com base nos dados apresentados na Tabela 5, é possível observar 54,9% da área queimou ao menos uma vez, e que 45,1% da área não queimou nenhuma vez no período de 18 anos que foi mapeado. Aproximadamente 16% da área queimou (1) vez, 11% queimou (2) vezes, 8% queimou (3) vezes, 6% queimou (4) vezes, 5% queimou (5) vezes, 3% queimou (6) vezes, 2% queimou (7) vezes e 1% queimou (8) vezes no período de análise.



**Figura 6.** Distribuição espacial da recorrência dos incêndios florestais na área entre 2000 e 2017.

As áreas que queimaram de (1) a (7) vezes ocorreram em maior frequência na porção central e sul da área estudada, somando 334.911,54 km<sup>2</sup>, e as áreas que queimaram de (8) a (18) vezes encontram-se em maior frequência na porção central, na região de fronteira entre Tocantins e Maranhão e principalmente na região sudoeste da área de estudo, área de fronteira entre Tocantins e Mato Grosso, totalizando 24.908,09 km<sup>2</sup>. As classes encontradas nas áreas de maior recorrência, foram em sua maior parte, compostas pelas Formações Savânica e Campestre.

A recorrência de queimadas em uma mesma área provoca mudanças na florística e na estrutura da vegetação, alterando a densidade de indivíduos lenhosos e arbustivos (MEDEIROS & MIRANDA, 2005). Segundo Miranda et al. (2002), a compreensão do comportamento do fogo se dá principalmente, através do conhecimento das características do material combustível. No Cerrado, a disponibilidade de combustível depende da fisionomia considerada, do arranjo entre as espécies, e da janela de tempo sem ocorrência de queima (DALDEGAN, 2012)

#### **5.4.Distribuição espacial e temporal dos incêndios**

Com base nos resultados do mapeamento de incêndios florestais ocorridos no período de 2000 a 2017, a probabilidade incondicional de incêndios na área de estudo foi estimada em 9,3% para uma área total de 655.983,1 km<sup>2</sup> na região do MATOPIBA.

Os resultados estatísticos de vários fatores que afetam a ocorrência de incêndios florestais na área de estudo foram estimados por meio do modelo Probit, e são apresentados abaixo. A Tabela 6 é referente aos resultados da análise de regressão da ocorrência de incêndios no período de 2000 a 2018. Todas as variáveis independentes em conjunto apresentaram impacto na ocorrência das áreas queimadas, já que p-valor constante é menor que 0,05.

**Tabela 6.** Resultados da regressão Probit.

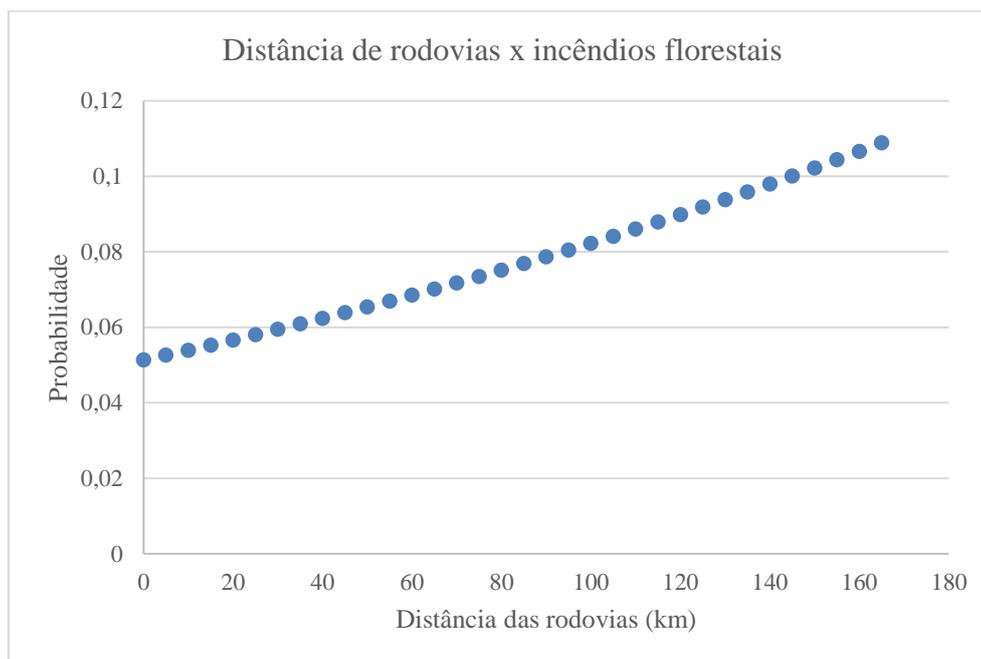
Variáveis	Coefficiente	Erro Padrão	z	P> z	Intervalo de Confiança [95%]	
Distância de Rodovias	0,000002	5,29E-07	4,57	0	1,38E-06	3,45E-06
Distância de Centros Urbanos	0,000008	3,79E-07	20,81	0	7,15E-06	8,64E-06
Distância de Ferrovias	0,000001	1,16E-07	6,31	0	5,06E-07	9,61E-07
Distâncias de Linhas de Transmissão	-0,0000004	1,23E-07	-3,57	0	-6,83E-07	-1,99E-07
Altitude	0,0011259	0,0000509	22,12	0	0,001026	0,0012256
Declividade	0,004804	0,0010754	4,47	0	0,002696	0,0069117
U.C. Proteção Integral	0,126679	0,022383	5,66	0	0,082809	0,1705484
U.C. Uso Sustentável	-0,211884	0,0236562	-8,96	0	-0,25825	-
Latitude*	0	1,20E-07	-2,07	0,039	-4,81E-07	-1,28E-08
Longitude	0,000006	5,90E-07	10,96	0	5,31E-06	7,62E-06
Lat x Long*	0	1,16E-13	10,18	0	9,55E-13	1,41E-12
Ano 2000	-2,366113	0,1913429	-12,37	0	-2,741138	-1,991088
Ano 2001	-0,328507	0,0324445	-10,13	0	-0,392097	-
Ano 2002	-0,080699	0,030263	-2,67	0,008	-0,140013	-
Ano 2003	-0,367803	0,0329288	-11,17	0	-0,432342	-
Ano 2004	-0,201803	0,0312818	-6,45	0	-0,263114	-
Ano 2005	-0,080601	0,0303097	-2,66	0,008	-0,140007	-
Ano 2006	-0,492337	0,0346184	-14,22	0	-0,560188	-
Ano 2007	0,413844	0,0276774	14,95	0	0,359598	-
Ano 2008	-0,296955	0,0322666	-9,2	0	-0,360197	-
						0,2337139

Ano 2009	-0,664067	0,0373552	-17,78	0	-0,737282	-	0,5908518
Ano 2010	0,405412	0,0277232	14,62	0	0,351076	-	0,4597487
Ano 2011	-0,197579	0,0312633	-6,32	0	-0,258854	-	0,1363042
Ano 2012	0,336813	0,0279827	12,04	0	0,281968	-	0,3916577
Ano 2013	-0,354123	0,0329619	-10,74	0	-0,418727	-	0,2895183
Ano 2014*	-0,04339	0,0301502	-1,44	0,15	-0,102484	-	0,0157029
Ano 2015*	0,012984	0,0296872	0,44	0,662	-0,045202	-	0,0711699
Ano 2016	-0,136667	0,0308332	-4,43	0	-0,197099	-	0,0762346
Formação Florestal	0,553753	0,1744555	3,17	0,002	0,211826	-	0,8956791
Formação Savânica	0,923943	0,1743844	5,3	0	0,582156	-	1,26573
Floresta Plantada*	0,433728	0,5047117	0,86	0,39	-0,555489	-	1,422944
Formação Campestre	1,183707	0,1745803	6,78	0	0,841536	-	1,525878
Pastagem*	0,278063	0,176129	1,58	0,114	-0,067143	-	0,6232699
Cultura Anual e Perene	0,620277	0,1766281	3,51	0	0,274093	-	0,9664619
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,805263	0,1768589	4,55	0	0,458626	-	1,1519
Rios Lagos e Oceanos	0,0837	0,191543	0,44	0,662	-0,291718	-	0,4591169
Constante	-3,63623	0,6177514	-5,89	0	-4,847	-	-2,425459

Probabilidade log: 10881.03; Pseudo R<sup>2</sup> = 0,1404; n = 125.532

Probabilidade incondicional de ocorrência de incêndio na área de estudo = 9,3%

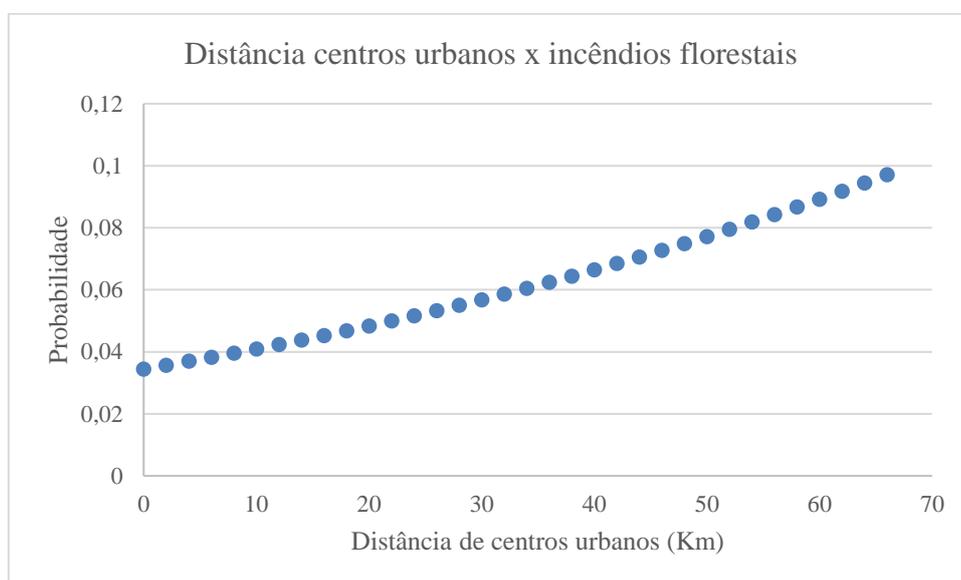
Com base nos resultados obtidos, o efeito da distância de rodovias apresentou significância estatística, pois o p-valor de 0,000 é menor que o nível de significância de 0,05, portanto neste caso foi rejeitada a hipótese nula e conclui-se que o coeficiente da regressão para a variável foi estatisticamente diferente de zero. A variável está positivamente relacionada, ou seja, quanto mais distante das rodovias, maior será a probabilidade da ocorrência do fogo. Um aumento na distância das rodovias de 35 km, ocasiona um aumento de 1% de probabilidade de ocorrência de fogo (Figura 7).



**Figura 7.** Probabilidade da ocorrência de incêndio florestal com a variação da distância de rodovias.

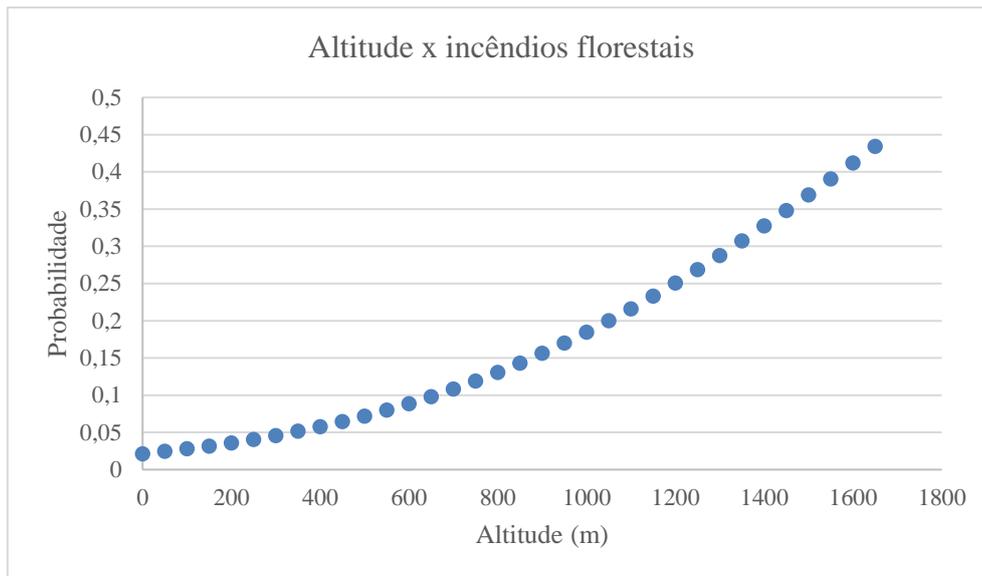
A probabilidade de ocorrência de áreas queimadas aumentar com o incremento da distância das estradas é inversa ao que era esperado, pois as mesmas são variáveis importantes, visto que representam elos que permitem a exploração mais eficiente de certa região (RIBEIRO et al., 2008; ADAB et al., 2013). Porém, não é possível afirmar que as estradas não representam fontes de ignição de queimadas na área estudada, é possível que o fogo se inicie próximo às estradas e que devido às condições de propagação do fogo na vegetação, a queimada só tome proporções maiores e capazes de identificação quando distante das estradas. Segundo Tatagiba (2010), as estradas poderiam apresentar um efeito mais significativo na ocorrência de incêndios, dividindo-as por intensidade de tráfego, ao contrário de considerá-las como um todo.

A variável distância de centros urbanos, considerada como um importante fator de origem de incêndios, apresentou relação estatisticamente significativa a um nível de 95% de probabilidade, porém a probabilidade de incêndios ocorrerem distantes dos centros urbanos é maior do que nas proximidades. A probabilidade de ocorrência de incêndios aumenta 4% a cada 40km distante dos centros urbanos. Esse resultado pode estar relacionado ao uso do fogo ser mais presente em regiões distantes dos centros urbanos, e ao fato das áreas agriculturáveis próximas aos centros urbanos já estarem consolidadas (Figura 8).



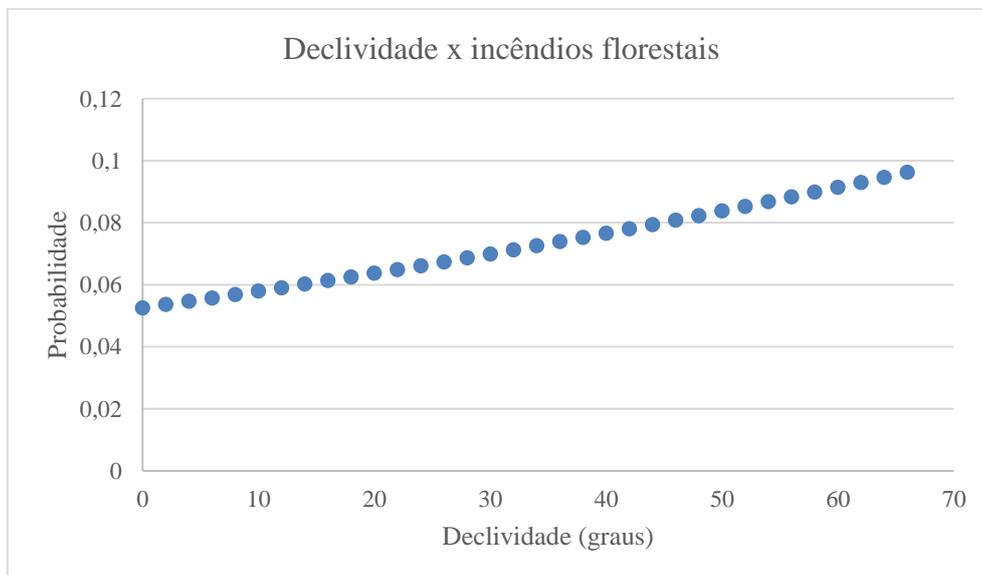
**Figura 8.** Probabilidade da ocorrência de incêndio florestal com a variação da distância de centros urbanos.

A variável altitude foi estatisticamente significativa na ocorrência do fogo, onde a relação encontrada foi positiva, com a probabilidade de ocorrência de incêndios aumentando em 15% com a variação de 600 metros de altitude, a um nível de 95% de probabilidade (Figura 9). Baixas altitudes tendem a apresentar mais riscos de incêndios, de modo que com o aumento da elevação, ocorre a diminuição da temperatura, o que conseqüentemente, reduz a ocorrência de incêndios (BATISTA et al., 2002). Entretanto, é possível citar também, a velocidade do vento que é maior nas áreas mais altas de um morro (CHENEY & SULLIVAN, 2008), o que faz com que o material combustível nessas áreas apresente uma tendência a ter um menor teor de umidade, facilitando assim, a ignição e propagação do fogo.



**Figura 9.** Probabilidade da ocorrência de incêndio florestal com a variação altitude.

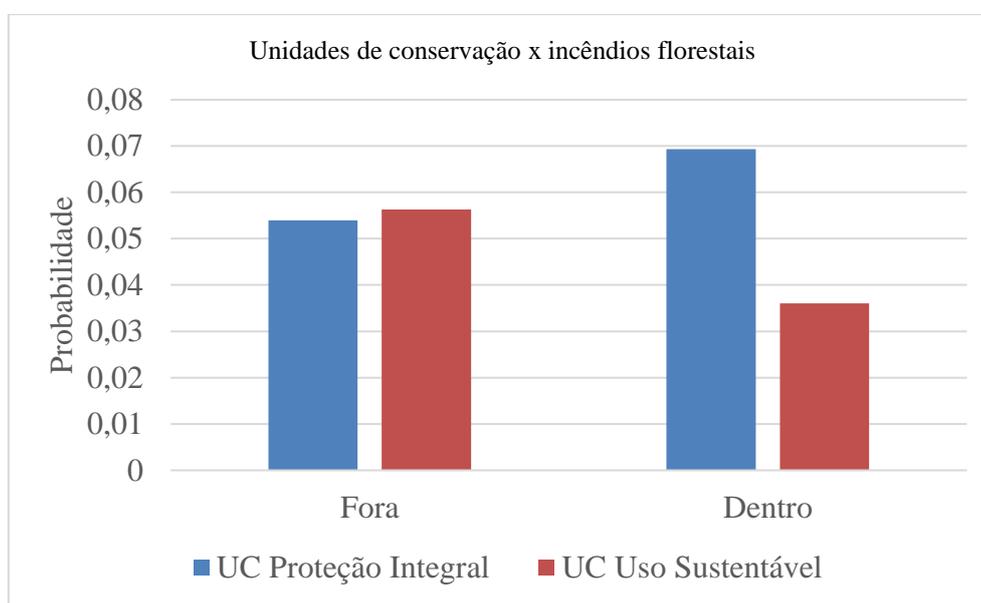
De acordo com o modelo, o efeito da variável de declividade no terreno foi estatisticamente significativo na ocorrência de fogo a 95% de probabilidade, em que o aumento da declividade em 16 graus, ocasiona um aumento de 2% na probabilidade de ocorrência de incêndios (Figura 10).



**Figura 10.** Probabilidade da ocorrência de incêndio florestal com a variação da declividade.

O relevo exerce grande influência sobre o clima e, em menor escala, sobre a vegetação e, portanto, sobre o material combustível das diversas áreas terrestres, gerando uma tendência do fogo se propagar com uma maior velocidade nos aclives e mais lentamente nos declives. Um incêndio, ao se propagar em um aclave acentuado, se aproxima de um incêndio se propagando no plano, sob efeito de forte vento (RIBEIRO et al., 2008).

A partir da análise de dados do modelo, foi observado que a ocorrência de incêndios florestais é ligeiramente maior dentro (6,9%) das Unidades de Conservação de Proteção Integral, do que fora (5,4%), enquanto nas Unidades de Conservação de Uso Sustentável ocorre o contrário, a probabilidade de ocorrência de incêndios é maior fora (5,6%), do que dentro (3,6%) dessas unidades (Figura 11). O resultado observado nas Unidades de Conservação de Proteção Integral, apesar de pequena a diferença, mostra que essas unidades não têm conseguido impedir, ou diminuir a incidência de incêndios dentro de suas áreas. Esse resultado, pode estar relacionado a pessoas que ainda residem dentro dessas áreas, ou em áreas próximas, e que ao utilizar o fogo para fins agrícolas, acabam ocasionando incêndios florestais.



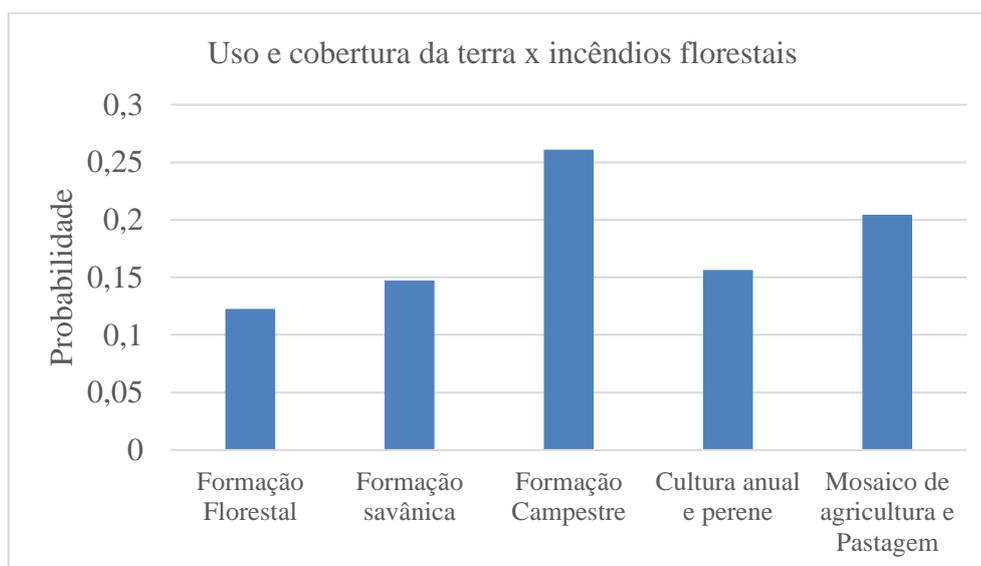
**Figura 11.** Probabilidade da ocorrência de incêndios florestais dentro e fora de Unidades de Conservação.

A partir dos resultados obtidos com o modelo, a variação espacial em longitude, apresentou significância estatística a 95% de probabilidade, ou seja, a probabilidade de incêndios aumenta no sentido leste a oeste. Observando esse fato, é possível verificar que o resultado está de acordo com o encontrado nas áreas de recorrência, em que ocorreu um maior agrupamento de áreas queimadas nas porções central e sudoeste da área estudada. A variação espacial em latitude, não foi estatisticamente significativa para a área de estudo.

Entre os anos analisados, somente os de 2014 e 2015, não apresentaram influência significativa na ocorrência de áreas queimadas na área estudada, a 95% de probabilidade, quando comparados ao ano omitido, 2017. Pode-se associar esse resultado em razão das áreas queimadas desses anos totalizarem valores semelhantes aos do ano de 2017. Nos

anos de 2007 e 2010 e 2012, ocorreram, de forma significativa, mais incêndios quando comparado aos incêndios ocorridos em 2017 (variável temporal omitida no modelo Probit). Nos demais anos, a ocorrência de incêndios foi significativamente menor quando comparado ao ano de 2017. Ao não incluir no modelo variáveis como precipitação e temperatura, pode-se deixar de observar efeitos adversos nos anos que influem na probabilidade de ocorrência de incêndios.

A seguir, apresenta-se a probabilidade de ocorrência de incêndios para cada classe em que foi encontrada significância estatística (Figura 12).



**Figura 12.** Probabilidade de ocorrência de incêndios florestais em diferentes classes de vegetação.

As probabilidades de ocorrência de incêndios para as classes de vegetação natural, Formação Florestal (12%), Savânica (15%) e Campestre (26%), podem ser relacionadas as características do material combustível, favoráveis à propagação do fogo. Essas características controlam o comportamento do fogo, e apresentam variações conforme o tipo de vegetação. O maior valor de probabilidade encontrado foi para a classe de Formação Campestre, resultado que se apresenta consistente com a literatura, pois de acordo com Miranda et al. (2010), as fisionomias de Cerrado mais susceptíveis ao fogo são as mais abertas, sendo essas as formações campestres e savânicas, pois são compostas em sua maior parte por espécies graminóides e pequenos arbustos.

Já as classes de Cultura Anual e Perene, e Mosaico de Agricultura e Pastagem, que não representam áreas de vegetação natural, apresentaram probabilidades de 16% e 20%, respectivamente, sendo a classe Mosaico de Agricultura e Pastagem a que apresentou a segunda maior probabilidade de ocorrência de incêndios, a qual pode ser relacionada com o uso do fogo como forma de manejo nessas áreas.

A classe Pastagem, não apresentou significância estatística a um nível de 95% de probabilidade, resultado que é oposto ao esperado. Isso pode estar associado ao fogo não ser recorrente em áreas de pasto já abertas, sendo utilizado em sua maior parte para a abertura e limpeza de novas áreas de pasto, nas vegetações Campestres e Savânicas. A classe Floresta Plantada também não apresentou significância estatística a um nível de 95% de probabilidade, resultado que pode ser relacionado a realização de manejos de prevenção de incêndios florestais nessas áreas, como o monitoramento, construção e manutenção de aceiros, retirada de material combustível, realização do manejo do fogo e construção de aceiros verdes ou cortinas de segurança.

## **6. CONCLUSÕES**

Ocorreram incêndios florestais em todos os anos do período entre os anos 2000 e 2017, na região do MATOPIBA. Os anos com maior área queimada foram 2007 (132.305,02 km<sup>2</sup>), 2010 (130.349,98 km<sup>2</sup>) e 2012 (120.367,10 km<sup>2</sup>). Os anos com menor área queimada foram 2000 (32.336,075 km<sup>2</sup>), 2009 (22.855,98 km<sup>2</sup>) e 2013 (41.116,40 km<sup>2</sup>). Até 2017, as formações savânica (262.448,9 km<sup>2</sup>), florestal (127.350,3 km<sup>2</sup>) e campestre (121.148,1 km<sup>2</sup>) ocupavam a maior parte da área de estudo.

Durante o período analisado 54,9% da área queimou pelo menos uma vez, com ocorrência espacial bastante ampla em toda a área de estudo. Entretanto, verificou-se a concentração dos incêndios recorrentes na porção central e sudoeste da área estudada.

Os fatores que apresentaram influência significativa sobre a probabilidade de ocorrência de incêndios foram: distância de rodovias, distância de centros urbanos, distância de ferrovias, distâncias de linhas de transmissão, altitude, declividade e longitude. As variáveis espaciais com efeitos significantes na ocorrência do fogo foram: o interior das Unidades de Conservação de Proteção Integral, o exterior das Unidades de Conservação de Uso Sustentável, a formação Florestal, a formação Savânica, a formação Campestre, as culturas anuais e perene e mosaico de agricultura e pastagem. Em 2007, 2010 e 2012 ocorreram de forma significativa mais incêndios comparados com 2017. Em 2014 e 2015 não houve diferença significativa de ocorrência de incêndios comparados com 2017. Nos demais anos ocorreram menos incêndios que em 2017 de forma significativa. Estes resultados indicam que fatores adversos podem ocorrer sazonalmente a cada ano e influenciam a ocorrência do fogo. Alguns tipos de vegetação como as formações campestre e savânica e os mosaicos de cultivos perenes e pastagens são os

mais vulneráveis à ocorrência dos incêndios florestais, especialmente dentro das Unidades de Conservação de proteção integral na região do MATOPIBA.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAB, H.; KANNIAH, K. D.; SOLAIMANI, K. Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. *Natural Hazards*, v. 65, n. 3, p. 1723 – 1743, 2013.

ANDRADE, G.A.D. 2008. Savanas tropicais: dimensão, histórico e perspectivas. Pp. 48-77. In: F.G. Faleiro & A.L.D.F. Neto (eds.). *Savanas: Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Embrapa Cerrado, Planaltina, DF, 1198p.

ANSELIN, L. (2002). "Under the hood: Issues in the specification and interpretation of spatial regression models." *Agricultural Economics* 27(3): 247-267.

ARIMA, E.; SIMMONS, C.; WALKER, R.; COCHRANE, M. 2007. Fire in the Brazilian Amazon: A spatially explicit model for policy impact analysis. "Journal of Regional Science". 47(3). 541-567.

ASSIS, F. R. V.; MENDONÇA, I. F. C.; SILVA, J. E. R.; LIMA, J. R. Uso de geotecnologias na locação espacial de torres para detecção de incêndios florestais no semiárido Nordeste. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 44, n. 1, p. 133-142, jan.-mar.2014.

BATISTA, A. C. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. *Floresta* 30 (1/2): 45- 54. 2000.

BATISTA, A. C.; OLIVEIRA, D. S.; SOARES, R. V. Zoneamento de risco de incêndios florestais para o estado do Paraná. Curitiba: FUPEF, 2002. 86 p. (Série técnica n. 2).

BORLAUG, N.E. 2002. Feeding a world of 10 billion people: the miracle ahead. In: R. Bailey (ed.). *Global warming and other eco-myths*. pp. 29-60. Competitive Enterprise Institute, Roseville, EUA.

BRAUMANN, R.; CARNEIRO, F. G. Os agentes econômicos em processo de integração regional – Inferências para avaliar os efeitos da ALCA. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 33p. 2002.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R.A. (1998). Principles of geographical information systems. Oxford, Oxford University Press.

CHENEY, N. P.; SULLIVAN, A. Grassfires: fuel, weather and fire behaviour. CSIRO Publishing, Melbourne, Victoria. 2ª ed. 2008. 161 p.

CHOMITZ, K.; GRAY, D. (1996). "Roads, land use, and deforestation: a spatial model applied to Belize." The World Bank Economic Review 10(3): 487-512. Geological Sciences Department: 26p.

CHUVIECO, E.; OPAZO, S.; SIONE, W.; DEL VALLE, H.; ANAYA, J.; DI BELA, C.; CRUZ, I.; MANZO, L.; LÓPEZ, G.; MARI, N.; GONZÁLEZ-ALONSO, F.; et al. Global burned-land estimation in latin america using MODIS composite data. Ecological Applications, Vol. 18, no. 1, p. 64-79, 2008.

COUTINHO, L.M. 1980 As queimadas e seu papel ecológico. Brasil Flor. 10: 15-23.

DALDEGAN, G. A. Análise espaço-temporal de queimadas em áreas nativas de cerrado: RPPN Serra do Tombador, GO. 2012. 56 f., il. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

DIAS, B. F. S.; MIRANDA, H. S. O Projeto Fogo. In Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: projeto fogo. Miranda, H. S. (Org). Brasília: IBAMA, 2010. p. 15-22.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. Botanical review.v. 38, n. 2, p. 201-341, 1972.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Matopiba GeoWeb. 2015.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA Jr., L.G.; SOARES, B.; MIZIARA, F. Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: future scenarios and perspectives for conservation. Journal of Land Use Science, v. 7, p. 1-19, 2012.

FIEDLER, N. C. et al. Avaliação das condições de trabalho, treinamento, saúde e segurança de brigadistas de combate à incêndios florestais em unidades de conservação do Distrito Federal: estudo de caso. Viçosa: Revista Árvore, v.30, n.1, p.55-63, 2006.

FRANÇA, H.; RAMOS NETO, M. B.; SETZER, A. O fogo no Parque Nacional das Emas. MMA, Série Biodiversidade, v. 27. 2007.

FREIRE, S.; CARRÃO, H. e CAETANO, M.R. Produção de Cartografia de Risco de Incêndio Florestal com Recurso a Imagens de Satélite e Dados Auxiliares. Lisboa: Instituto Geográfico Português, 2004.

GIGLIO, L.; JUSTICE, C.; BOSCHETTI, L.; ROY, D. MCD64A1 MODIS/Terra+Aqua Burned Area Monthly L3 Global 500m SIN Grid V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2015.

GIGLIO, L.; LOBODA, T.; ROY, D. P.; QUAYLE, B.; JUSTICE, C. O. “An activefire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 113, pp. 408–420, 2009.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. *Econometria básica*. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 924 p.

JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E., TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, P. D.; HALL, D.K, SALOMONSON, V.; PRIVETTE, J.L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R. B; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S. W.; NEMANI, R. R.; W AN, Z.; HUETE, A. R.; LEEUWEN, W. V.; WOLFE, R. E.; GIGLIO, L.; MULLER, J. P; LEWIS, P.; BARNSLEY, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 36, n. 4, p. 1228-1247, 1998.

JUSTICE, C. O., TOWNSHEND, J. R. G., VERMOTE, E. F., MASUOKA, E., WOLFE, R. E., SALEOUS, N., ROY, D. P., MORISETTE, J. T. An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sens. Environment*, v. 83, p. 3–15. 2002a.

JUSTICE, C. O.; GIGLIO, B.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MORISETTE, J.T.; ROY, D.P.; DESCLOITRES, J.; ALLEAUME, S.; PETITCOLIN, F.; KAUFMAN, Y. (2002b). The MODIS fire products. *Remote Sens. Environ.* v. 83, p. 244-262, 2002b.

LONGO, K.; FREITAS, S. R.; ANDREAE, M. O.; YOKELSON, R.; ARTAXO, P. Biomass Burning in Amazonia: Emissions, Long-Range Transport of Smoke and Its Regional and Remote Impacts. In: John Gash; Michael Keller; Mercedes Bustamante;

Pedro Silva Dias. (Org.). Amazonia and Global Change: American Geophysical Union Press, 2009.

MATRICARDI, E. A. T. Spatiotemporal dynamics of forest degradation by selective logging and forest fire in the Brazilian Amazon. A dissertation. Michigan State University, Department of Geography. 2007.

MEDEIROS, M. B.; MIRANDA, H. S. Mortalidade pós-fogo em espécies lenhosas de campo-sujo submetido a três queimadas prescritas anuais. *Acta Botanica Brasilica*, v.19, p.493-500, 2005.

MIRANDA, E. E.; MAGALHÃES, L. A.; TORCIANO, R. Proposta de Delimitação Territorial do MATOPIBA. 2014.

MIRANDA, H. S. NETE, N. W., NEVES, B. M. C. Caracterização das queimadas de Cerrado. In: MIRANDA, H. S. Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: resultados do Projeto Fogo. IBAMA/MMA, Brasília. 144p. 2010.

MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA, A. C. The fire factor. In: *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*/ Paulo S. Oliveira and Robert J. Marquis. New York: Columbia University Press, 2002.

MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; ANDRADE, S. M. A.; HARUDASAN, M.; MORAIS, H. C. Queimadas de Cerrado: Caracterização e Impactos. In *Cerrado: Ecologia e Caracterização*; Aguiar, L. M. S., Camargo, A. J. A. (Eds.); Embrapa Cerrados: Planaltina, Brazil, 2004. p. 69– 123.

MIRANDA, H.S.; BUSTAMANTE, M.M.C. & MIRANDA, A.C. 2002. The fire factor. Pp. 51-68. In: P.S. Oliveira & R.J. Marquis (eds.). *The cerrados of Brazil*. Columbia University Press, New York, NY. 398p

MITTERMEIER, R.A.; DA FONSECA, G.A.B.; RYLANDS, A.B. & BRANDON, K. 2005. A brief history of biodiversity conservation in Brazil. *Conservation Biology*, 19: 601-607.

MODIS Website. Disponível em: [https://lpdaac.usgs.gov/products/modis\\_products\\_table](https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table)

Acesso em: 11 de dezembro de 2018.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; DA FONSECA, G.A.B. & KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853-858.

NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 422 p.

PIROMAL, R. A. S.; RIVEIRA-LOMBARDI, R. J.; SHIMABURURO, Y.E.; FORMAGGIO, A. R.; KRUG, T. Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. *Revista Acta Amazonica*. Vol. 38 (1), 2008. pg. 77 –84.

PIVELLO, V.R.; COUTINHO, L.M. 1996. A qualitative sucessional model to assist in the management of Brazilian cerrados. *Forest Ecology Management* 87:127-138.

PIVELLO, V.R.; Oliveras, I.; Miranda, H.S.; Haridasan, M.; Sato, M.N.; Meirelles, S.T. 2010. Effect of fires on soil nutrient availability in an open savanna in Central Brazil. *Plant and Soil*, vol. 337(1-2), 2010. p. 111–123.

RANDERSON, J. T.; CHEN, Y.; VAN DER WERF, G. R.; ROGERS, B. M.; MORTON, D. C. Global burned area and biomass burning emissions from small fires. *Journal of Geophysical Research*, vol. 117, G04012, p. 1-23, 2012.

RESENDE, F. C.; CARDOZO, F. D. S.; PEREIRA, G. Análise Ambiental da Ocorrência das Queimadas na Porção Nordeste do Cerrado. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 34, p. 31-42, 2017.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (eds.). *Cerrado: Ambiente e Flora*, p. 87-166. Planaltina: EMBRAPA CPAC, 2008.

RIBEIRO, L.; KOPROSKI, L. P.; STOLLE, L.; LINGNAU, C.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a fazenda experimental do Canguiri, Pinhais (PR). *Revista Floresta*, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, p. 561-572. 2008.

RICHARDS, P. W. *The tropical rain forest: an ecological study*. Cambridge University Press, 1976. 451 p.

RIVERA-LOMBARDI, R. Estudo da recorrência de queimadas e permanência de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do cerrado brasileiro, utilizando imagens TM/Landsat. 2003. Dissertação (Mestrado) - INPE, São José dos Campos. 159p. 2003.

SATO, M. N. Efeito a longo prazo de queimadas na estrutura da comunidade de lenhosas da vegetação do cerrado sensu stricto. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. Caracterização climática do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (eds.). Cerrado: ecologia e flora, v. 1, p. 69-88, 2008.

SILVA, L. L. O papel do estado no processo de ocupação das áreas de cerrado entre as décadas de 60 e 80. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v.1. n.2. p.24-36. 2000.

SUGIHARA, N.G.; J.W. VAN WAGTENDONK, AND J. FITES-KAUFMAN. Fire as an ecological process. in: N.G. Sugihara, J.W. van Wagtendonk, K.E. Shaffer, J. Fites-Kaufman, and A.E. Thode, editors. Fire in California's ecosystems. University of California Press, Berkeley, USA. 2006. p. 58-74.

TANSEY, K.; GREGOIRE, J. M.; STROPPIANA, D.; SOUSA, A.; SILVA, J.; PEREIRA, J. M. C.; BOSCHETTI, L.; MAGGI, M.; BRIVIO, P. A.; FRASER, R.; FLASSE, S.; ERSHOV, D.; BINAGHI, E.; GRAETZ, D.; PEDUZZI, P. Vegetation burning in the year 2000: Global burned area estimates from SPOT VEGETATION data. Journal of Geophysical Research, Vol. 109, D14S03, p. 1-22, 2004.

TATAGIBA, M. M. A. Estudo da Dinâmica Espacial e Temporal dos Incêndios Florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 92p. 2010.

TORRES, F. T. P. Análise da ocorrência de incêndios em vegetação da área urbana de Juiz de Fora, MG. 2008. 65f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

WOOLDRIDGE, J. M. (2000). Introductory Econometrics: A modern approach., South-Western College Publishing.

ZANINI, A. M.; DINIZ, D. Efeito da Queima sob o Teor de Umidade, Características Físicas e Químicas, Matéria Orgânica e Temperatura no Solo sob Pastagem. Revista Eletrônica de Veterinária, v. 7, n. 3. Espanha, 2006.

# APÊNDICE A

