



**Universidade Federal do Tocantins  
Campus Universitário de Gurupi  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

**NORMA ELENA REYNOSA CORREA**

**AVALIAÇÃO DE ÁREAS AFETADAS POR QUEIMADAS E  
INCÊNDIOS FLORESTAIS NO ESTADO DO TOCANTINS EM 2015**

**GURUPI - TO  
2017**



**Universidade Federal do Tocantins  
Campus Universitário de Gurupi  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

**NORMA ELENA REYNOSA CORREA**

## **AVALIAÇÃO DE ÁREAS AFETADAS POR QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS NO ESTADO DO TOCANTINS EM 2015**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Giongo

Co-orientador: Dr. Edmar Vinicius de Carvalho

**GURUPI - TO  
2017**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

C824a CORREA, NORMA ELENA REYNOSA .  
AVALIAÇÃO DE ÁREAS AFETADAS POR QUEIMADAS E  
INCÊNDIOS FLORESTAIS NO ESTADO DO TOCANTINS EM 2015. /  
NORMA ELENA REYNOSA CORREA. – Gurupi, TO, 2017.  
42 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do  
Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-  
Graduação (Mestrado) em Ciências Florestais e Ambientais, 2017.  
Orientador: MARCOS GIONGO  
Coorientador: EDMAR VINICIUS DE CARVALHO

1. Fogo. 2. Cerrado. 3. Correlação. 4. Sensoriamento remoto. I.  
Título

**CDD 628**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de  
qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que  
citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime  
estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

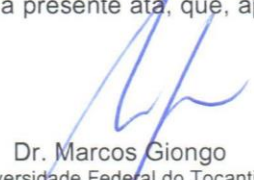
**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da  
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

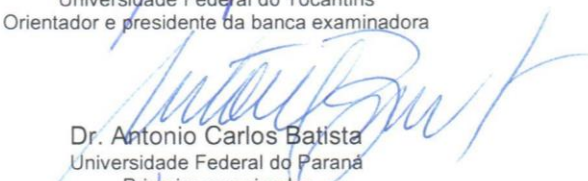


## Defesa nº 045/2017

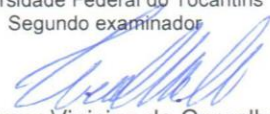
### ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE NORMA ELENA REYNOSA CORREA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS.

Aos 23 dias do mês de fevereiro do ano de 2017, às 08 horas, na sala 01, do edifício CeMAF, do Campus de Gurupi, da Universidade Federal do Tocantins - UFT, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Orientador Dr. MARCOS GIONGO da Universidade Federal do Tocantins, Prof. Dr. ANTONIO CARLOS BATISTA, da Universidade Federal do Paraná, Profª. Drª. MARIA CRISTINA BUENO COELHO da Universidade Federal do Tocantins e Prof. Dr. EDMAR VINICIUS DE CARVALHO da Universidade Federal do Tocantins, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da dissertação de mestrado de NORMA ELENA REYNOSA CORREA, intitulada "**Avaliação de áreas queimadas e incêndios florestais no estado do Tocantins**". Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo parecer favorável à aprovação, com as devidas ressalvas e correções apontadas pela banca examinadora, habilitando-a ao título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais. Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

  
Dr. Marcos Giongo  
Universidade Federal do Tocantins  
Orientador e presidente da banca examinadora

  
Dr. Antonio Carlos Batista  
Universidade Federal do Paraná  
Primeira examinador

  
Drª. Maria Cristina Bueno Coelho  
Universidade Federal do Tocantins  
Segundo examinador

  
Dr. Edmar Vinicius de Carvalho  
Universidade Federal do Tocantins  
Terceiro examinador

Gurupi, 23 de fevereiro de 2017.

  
Dr. Marcos Giongo  
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais



## DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTO

A *Deus* o grande arquiteto do universo, o grande criador, por cada oportunidade, por me guiar em todas as circunstâncias da minha vida. Por me cuidar em cada passo dado.

Aos meus pais *Augusto Cesar Reynosa e Leticia Mercedes Correa*, por me educar com amor e dedicação, me iluminar sempre com seu amor e com sua fé, acreditar fielmente em mim, me guiando com seus conselhos e com seu exemplo e por não me permitir desistir deste sonho. Ao meu pai sobretudo obrigada por ter me acompanhado em todo momento durante estes dois anos de caminhada, ser meu amigo, meu cúmplice, meu guia, por seu amor absoluto e seu apoio total independentemente das circunstâncias.

Aos meus irmãos *Ana Sofia, Augusto Lenin y Cesar Miguel* com quem não só compartilho o vínculo sagrado do sangue que nos une como família se não também a amizade, o companheirismo e a cumplicidade.

A Wanderson pelo apoio, companhia, pelos conselhos, por me escutar cada dia quando a caminhada se tornou mais difícil, por me motivar a não desistir, obrigada.

Aos colegas do mestrado aos quais nesta caminhada se tornarão amigos, conselheiros, família: *Douglas, Max, Jacqueline, Gessica, Ícaro*.

A Nadia obrigada por me acolher, me permitir ser parte da sua família, pelos conselhos pelo cuidado, pelo apoio em cada momento da minha vida. Aos seus pais *Maria de Nasaré e Raimundo*, as suas filhas *Anna Luisa e Anna Beatriz* por todos os momentos de carinho e companhia.

A minha família brasileira *Marilde, Cineya, Amanda, Lucas e Júlio*, por ter sido meu referente de carinho e calor humano nestes dois anos longe de casa.

Ao grupo de pesquisa *CEMAF* por me darem seu apoio em qualquer momento.

Ao Prof. Dr. *Marcos Giongo* e ao Dr. *Edmar Vinicius de Carvalho* pela orientação.

Ao programa de pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais e a CAPES pela concessão da bolsa.

## DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTO

A Dios, el gran arquitecto del universo, el gran hacedor, por cada oportunidad, por abrir puertas y guiarme en todas las circunstancias de mi vida. Por cuidarme en cada paso dado.

A mis padres *Augusto Cesar Reynosa y Leticia Mercedes Correa*, por educarme con amor y dedicación, por iluminarme siempre con su amor y su fe, por creer de forma fiel, por guiarme con sus consejos, con su ejemplo, por no permitir que yo desistiera de este sueño. A mi padre gracias totales por haberme acompañado en todo momento durante estos dos años de caminata, por ser mi amigo, mi cómplice, mi guía, por su amor absoluto, por su apoyo total sin importar la circunstancia.

A mis hermanos *Ana Sofía, Augusto Lenin y Cesar Miguel*, con quienes comparto no solo el vínculo sagrado de la sangre que nos une como familia sino la amistad, el compañerismo, la complicidad.

A *Wanderson* por su apoyo, por su compañía, por sus consejos, por escucharme cada día cuando la caminata se tornó difícil por motivarme a no desistir, gracias.

A los colegas de la maestría quienes en esta caminata se volvieron amigos, consejeros, familia *Douglas, Max, Jacqueline, Gessica, Ícaro, Cristiane*.

A *Nadia* gracias por acogerme por dejarme ser parte de su familia, por sus consejos por su cuidado, por su apoyo en cada momento de mi vida. A sus padres María de Nasaré y Raimundo, a sus hijas Anna Luisa y Anna Beatriz por todos los momentos de compañía y cariño.

A mi familia brasileña *Marilde, Cineya, Amanda, Julio, Lucas*, por haber sido mi referente de cariño y calor humano en estos dos años lejos de casa.

Al grupo de Pesquisa, a quienes me dieron su apoyo en cualquier momento.

Al Prof. Dr. *Marcos Giongo* y al Dr. *Edmar Vinicius de Carvalho* por la orientación.

Al programa de pos graduación en Ciências Florestais e Ambientais y a CAPES por la concesión de la beca.

*"No dejes apagar el entusiasmo,  
Virtud tan valiosa como necesaria;  
Trabaja, aspira, tiende siempre hacia la  
altura."*

*Rubén Darío, escritor nicaragüense.*

## RESUMO

O uso de técnicas de sensoriamento remoto além de auxiliar na detecção, monitoramento ou identificação de áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais, permite realizar análises voltadas para caracterização e avaliação de ocorrências de fenômenos numa paisagem em diferentes escalas temporais/espaciais. O presente estudo tem como objetivo analisar as áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais no ano 2015, nas bacias e sub-bacias dos sistemas hidrográficos Araguaia-Tocantins no estado do Tocantins. A quantificação e delimitação de áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais foi realizada com uso duas composições RGB (754; 653) oriundas de imagens do satélite Landsat 8 que correspondem ao período de seca no Estado. Além das variáveis relacionadas a caracterização de área afetada por queimadas e incêndios florestais em cada um dos 30 sistemas hidrográficos do estado do Tocantins, foram utilizadas métricas de paisagem, número de focos de calor e resultado da autocorrelação espacial nas análises de correlação e componentes principais. A área afetada por queimadas e incêndios florestais apresentou correlação positiva com as seguintes variáveis: área ocupada pelo sistema (0,72\*\*; 0,87\*\*); percentual de área queimada (0,78\*\*; 0,86\*\*). Por outro lado, foram observados valores negativos com o percentual da área queimada dentro de áreas agrícolas (-0,55\*\*; -0,80\*\*). A análise de correlação, ainda, revelou correlação da área afetada por queimadas e incêndios florestais com o número de focos de calor (0,75\*\*; 0,90\*\*) e números de focos de calor dentro de áreas queimadas (0,95\*\*; 0,97\*\*). Com menores magnitudes, também, foram observadas correlações significativas com o número de dias sem chuva (0,51\*\*; 0,63\*\*) e número de dias com chuva menor que 13 mm (0,55\*\*; 0,81\*\*). Com relação a análise de componentes principais, foi possível extrair quatro componentes com primeiro explicando 44,05% da variância, o segundo, 16,69%, o terceiro, 12,67% e o quarto 9,66%, o que totaliza 83,03% da variabilidade do conjunto de dados original. Em nove das trinta sub-bacias do sistema hidrográfico do estado foram observadas área afetada por queimadas e incêndios florestais acima de 100 mil hectares no ano de 2015: A2 (> 501 mil ha); T1 (> 406 mil ha); T10 (> 248 mil ha); A1 (> 199 mil ha); A3 (> 176 mil ha); T12 (> 126 mil ha); T9 (> 117 mil ha); T5 (> 113 mil ha) e; T14 (> 101 mil ha), o que totaliza mais de 77% do mapeado no estado. As métricas de paisagem apresentaram as menores relações com a área afetada por queimada e incêndios florestais, no entanto, no sistema de segunda maior ocorrência da área queimada houve relação com maior fragmentação da paisagem. Os sistemas que apresentaram maior ocorrência de áreas queimadas podem ser caracterizados tanto por paisagens regulares quanto por formas mais complexas da paisagem, além da ocorrência agrupada do fogo.

Palavras-chave: fogo; cerrado, correlação; sensoriamento remoto.



## ABSTRACT

The remote sensing techniques can be used for the detection, monitoring or identification of burned areas, as well for the analysis of the characterization and evaluation of occurrences of phenomena in a landscape at different temporal / spatial scales. The present study aims to analyse burned areas in the 2015 season, in the basins and sub-basins of the Araguaia-Tocantins hydrographic systems in the state of Tocantins. The quantification and delimitation of burned areas were carried out using two RGB compositions (754; 653) derived from Landsat8 satellite images and dry season. In addition to the variables related to a characterization of the burned area in each of the 30 hydrographic systems in the state of Tocantins, landscape metrics, number of hotspots and the results of the spatial autocorrelation were used too in analysis of correlation and principal components. The burned area had shown a positive correlation with the following variables: area occupied by the system (0.72 \*\*; 0.87\*\*) and the percentage of burned area (0.78\*\*; 0.86 \*\*). However, negative values were observed with the percentage of the burned area within the agricultural areas (-0.55 \*\*; -0.80\*\*). The correlation analysis also showed the relation of the burned area with the number of hotspots (0.75 \*\*; 0.90\*\*) and number of hotspots within the burned areas (0.95\*\*; 0.97\*\*). With smaller magnitudes, significant correlations were observed with the number of days without rain (0.51\*\*; 0.63\*\*) and number of days with rain less 13 mm (0.55 \*\*; 0.81\*\*). About the principal components analysis, it was possible to extract four components with first detail 44.05% of the variance, the second 16.69%, the third, 12.67% the fourth 9.66%, which they were represent the 83.03% of the variance of the original dataset variability. In nine sub-basins of the state were observed burned areas above 100 thousand hectares in 2015: A2 (> 501,000 ha); T1 (> 406,000 ha); T10 (> 248,000 ha); A1 (> 199,000 ha); A3 (> 176,000 ha); T12 (> 126,000 ha); T9 (> 117,000 ha); T5 (> 113,000 ha); T14 (> 101,000 ha), which they were represent more than 77% of the mapped in the state. The landscape metrics had shown the small relationships with burned area, however, in the system with the second largest occurrence of the burned area was observed relationship with the fragmentation of the landscape. The systems with the highest occurrence of burned areas can be characterized by regular or more complex landscapes, as well as the grouped occurrence of fire.

Keywords: correlation; fire; remote sensing; savanna.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>11</b>
2.1	INCÊNDIOS FLORESTAIS E O FOGO NO BIOMA CERRADO .....	11
2.2	SENSORIAMENTO REMOTO E DELIMITAÇÃO DE ÁREAS QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS .....	13
2.3	CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DAS ÁREAS QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS .....	14
2.4	CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE .....	16
2.4.1	<i>Métricas de paisagem</i> .....	16
2.4.2	<i>Correlação espacial e índice de Moran</i> .....	18
2.5	BACIAS HIDROGRAFICAS NO ESTADO DO TOCANTINS.....	18
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>21</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO .....	21
3.2	QUANTIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DE ÁREA AFETADAS POR QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS .....	22
3.3	OBTENÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS .....	24
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSAO</b> .....	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>36</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. SISTEMA HIDROGRÁFICO DO RIO ARAGUAIA.....	19
TABELA 2. SISTEMA HIDROGRÁFICO DO RIO TOCANTINS.....	19
TABELA 3. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DO ESTADO DO TOCANTINS SEGUNDO THORNTHWAITE.....	21
TABELA 4. ORBITA/PONTO, DATAS DE CAPTURA DAS IMAGENS E LOCALIZAÇÃO DAS CENAS NO ESTADO DO TOCANTINS DO SATÉLITE LANDSAT 8 UTILIZADAS PARA O MAPEAMENTO DE ÁREAS AFETADAS POR QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS NO ESTADO DO TOCANTINS.....	23
TABELA 5. VARIÁVEIS RELACIONADAS CARACTERIZAÇÃO DE ÁREA AFETADA POR QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS E DA PAISAGEM UTILIZADAS NO ESTUDO DOS 30 SISTEMAS HIDROGRÁFICOS DO ESTADO DO TOCANTINS.....	26
TABELA 7: ÁREA AFETADA POR QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS, EM HECTARES, EM CADA SISTEMA HIDROGRAFICO NO ESTADO DO TOCANTINS, NO ANO DE 2015 E SEUS RESPECTIVOS ESCORES EM RELAÇÃO AOS COMPONENTES PRINCIPAIS (CP) EXTRAÍDOS..	28
TABELA 8. COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDOS DA ANÁLISE MULTIVARIADA DOS DADOS DO MAPEAMENTO DA ÁREA AFETADA POR QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS EM CADA SISTEMA HIDROGRÁFICO NO ESTADO DO TOCANTINS, NO ANO DE 2015, E DE MÉTRICAS DE PAISAGEM, NÚMERO DE FOCOS DE CALOR E INDICADORES DE INCÊNDIOS FLORESTAIS E ÁREAS QUEIMADAS. ....	29
TABELA 9. AUTOVETORES, APÓS ROTAÇÃO VARIMAX, DOS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDOS ASSOCIADOS AS VARIÁVEIS ORIGINAIS ORIUNDAS DO MAPEAMENTO DA ÁREA AFETADA POR QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS EM CADA SISTEMA HIDROGRÁFICO NO ESTADO DO TOCANTINS, NO ANO DE 2015, E DE MÉTRICAS DE PAISAGEM, NÚMERO DE FOCOS DE CALOR E INDICADORES DE INCÊNDIOS FLORESTAIS E ÁREAS QUEIMADAS .....	29
TABELA 10. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE A ÁREA AFETADA POR QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS EM CADA SISTEMA HIDROGRÁFICO NO ESTADO DO TOCANTINS NO ANO DE 2015 E VARIÁVEIS RELACIONADAS A MÉTRICAS DE PAISAGEM, NÚMERO DE FOCOS DE CALOR E INDICADORES DE INCÊNDIOS FLORESTAIS E ÁREAS QUEIMADAS.....	32

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. DISTRIBUIÇÃO DAS BACIA DOS RIOS TOCANTINS (T1) E ARAGUAIA (A1) E SUAS SUB BACIAS REPRESENTADAS RESPECTIVAMENTE PELAS LETRAS T E A. (FONTE: SEPLAN, 2012).....	20
FIGURA 2: CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DO ESTADO DO TOCANTINS, SENDO (A) REGIONALIZAÇÃO CLIMÁTICA; (B) PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL E (C) TEMPERATURA MÉDIA ANUAL. (FONTE: SEPLAN, 2012). ....	22
FIGURA 3: ÁREA AFETADA POR QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS IDENTIFICADA PELAS COMPOSIÇÕES DE BANDAS 754 (DIREITA) E 653 (ESQUERDA) DO SATÉLITE LANDSAT 8.....	23
FIGURA 4: DISTRIBUIÇÃO DA ÁREA AFETADA POR QUEIMADA E INCÊNDIOS FLORESTAIS NOS SISTEMAS HIDROGRÁFICOS DENTRO DO ESTADO DO TOCANTINS, NO ANO DE 2015, OBTIDA PELA DIGITALIZAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT8. ....	27

## 1 INTRODUÇÃO

Muñoz (2000) relata que os incêndios florestais representam uma das maiores ameaças para as florestas, causando diminuição e perda de espécies com importância significativa para a humanidade. Segundo Cardozo *et al.* (2011), a ocorrência das queimadas e incêndios florestais tem sido atribuída principalmente a causas antrópicas, vinculadas com a queima da vegetação para a renovação de pastagens, criação de gado e para a expansão da fronteira agrícola.

O processo de antropização da paisagem, que pode levar a degradação, segundo Rudolpho *et al.* (2013) se caracterizou pela falta de planejamento dos recursos naturais principalmente das florestas, no Brasil. De acordo com Moraes *et al.* (2015), como consequência desta dinâmica, há fragmentação dos diferentes biomas florestais nas bacias e sub-bacias e que podem ter relação com uso do fogo na queima da vegetação para limpeza da área e manejo da floresta, em que estas práticas são comuns na região dos Cerrados (RIVERA-LOMBARDI, 2003) que geralmente estão concentradas nos meses do período seco do ano (SOUSA & ALVES, 2017), que varia de maio a outubro, onde as temperaturas são maiores, a umidade mais baixa e há escassez de chuvas (NILMER & BRANDÃO, 1989).

De forma integral é possível avaliar estes impactos causados pela atividade antrópica relacionadas com o uso do solo, por meio de estudos a nível de bacias hidrográficas, por estas constituírem uma unidade geográfica completa permitindo conhecer os processos hidrológicos e sua interação com a vegetação e o uso do solo e observar detalhadamente os diferentes processos que ocorrem nela. (LÓPEZ-DAVALILLO, 2007).

Assim este conceito se converteu em um dos aspectos de estudo mais utilizados na atualidade por considerar as bacias como uma unidade de análise, para gestão e planejamento ambiental, permitindo assim ampliar a visão das bacias hidrográficas como apenas uma unidade territorial passando a ser um espaço em que as relações físicas e humanas podem ser interpretadas, desde diversos enfoques priorizando a necessidade cada vez maior de preservação, recuperação e utilização de forma adequada dos recursos naturais (PEREIRA & D'OUVIDIO, 2010).

Como já se falou anteriormente o uso fogo está vinculado as atividades antrópicas sendo assim indispensável o monitoramento das áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais o qual segundo Giglio et al. (2010) ao longo prazo é necessário para melhorar e possibilitar o diagnóstico e prognóstico das áreas acima mencionadas.

Deste modo de acordo com Batista (2004) para países com grande extensão territorial, como o Brasil, o monitoramento dos incêndios florestais a nível nacional e regional pode ser feito através de imagens de satélites por ser um método eficiente e de baixo custo. Isto se relaciona com a rapidez e eficácia na detecção e monitoramento de queimadas/incêndios florestais, principalmente em locais vulneráveis ou com difícil acesso, permitindo identificar a incidência ou reincidência destes fenômenos. Ainda, tais informações podem favorecer a criação de medidas de prevenção, mitigação e programas de manejo, restauração e regeneração das áreas afetadas.

No entanto, o uso de técnicas de sensoriamento remoto não se limita só a detectar, monitorar ou identificar áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais. Por exemplo, com o uso de técnicas de geoprocessamento e de métricas de paisagem é possível realizar análises que permitem estimar as transformações ocorridas em uma paisagem em diferentes escalas temporais, assim como da estrutura e função dos elementos os quais podem ser estudados (RUDOLPHO *et al.*, 2013).

Para a analisar a relação e influência de diversos fatores com a ocorrência do fogo pode-se fazer uso de análises multivariadas, como por exemplo a análise de componentes principais. Estas são aplicadas a um conjunto de variáveis e possibilita a geração, seleção e a interpretação de novas variáveis, denominadas de componentes (FERREIRA & GURGEL, 2002), e analisar e determinar as variáveis originais de maior influência na formação de cada componente (SCHÄFER *et al.*, 2014).

Considerando todos estes fundamentos, o presente estudo tem como objetivo analisar as áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais no ano 2015, nas bacias e sub-bacias dos sistemas hidrográficos Araguaia-Tocantins no estado do Tocantins, utilizando análise multivariada.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Incêndios Florestais e o fogo no Bioma Cerrado

Segundo a FAO (2010), um incêndio florestal é definido como fogo que se estende sem controle em um terreno florestal, afetando a vegetação de ecossistemas terrestres (como o Cerrado) independentemente da fonte de ignição (natural ou humana) e dos estragos ou benefícios. A diferença significativa dos outros tipos de incêndios se relaciona com sua ampla extensão e velocidade com que pode se expandir desde seu lugar de origem.

Nesse sentido, os incêndios florestais podem representar perdas socioeconômicas, assim como outros efeitos adversos sobre o meio ambiente. Juarez e Rodriguez (2004) mencionam alguns dos danos causados por incêndios florestais, por exemplo: extinção da vegetação que muitas vezes é habitat da fauna silvestre; contaminação do ar o que contribui ao incremento da mudança climática global; perda da vegetação natural do solo que pode favorecer processos erosivos do solo e; perturbação do regime hídrico e mudança da paisagem.

Em alguns biomas, como o Cerrado, o fogo pode ser considerado como um agente evolutivo por estar relacionado a importantes alterações nas comunidades vegetais (MIRANDA *et al.*, 2000), pois nem sempre age de forma negativa para os ecossistemas em função de que as interações bióticas e abióticas são complexas e influenciam nos efeitos pós-fogo atuando como um filtro ambiental nas comunidades vegetais.

No tocante ao Cerrado, dados do IBGE (2004) relatam que este é o segundo maior Bioma da América do Sul, sendo superado em área somente pela Amazônia, e ocupa área superior a 2 milhões de km<sup>2</sup> (23,92% do território nacional). A área contínua deste bioma encontra-se localizada nos estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal, além dos enclaves no Amapá, Roraima e Amazonas.

Com relação a Tocantins aproximadamente 91% da área do estado se encontra inserida neste bioma, caracterizado por formações vegetais de estrutura campestre, tendo o campo limpo (savana gramíneo-lenhosa) e o campo sujo,

formação savânica ou florestal com os subtipos que caracterizam-se por uma camada rasteira predominantemente herbácea e por uma cobertura lenhosa que varia de 5 a 20% em áreas de cerrado ralo (savana parque), situa-se entre 20 e 50% em cerrado típico (savana arborizada), e vai de 50 a 70% em cerrado denso (savana arborizada). O cerrado rupestre (savana arborizada) desenvolve-se sobre afloramento rochoso. Nas planícies inundáveis do estado desenvolve-se o parque de cerrado (savana parque). As veredas são formações savânicas que ocupam as cabeceiras (nascentes) dos corpos hídricos. O cerradão (savana florestada) é considerado uma formação florestal e ocorre em menor proporção em relação às demais fitofisionomias de Cerrado dentro do Tocantins (SEPLAN, 2012).

Cabe destacar que partes destas fitofisionomias do bioma Cerrado são propensas as queimadas anuais, como as áreas de campos rupestres e de formações savânicas (RIBEIRO & FIGUEIRA, 2011) em que o fogo é considerado como evento frequente neste bioma que é caracterizado por ser pirofítico (COUNTINHO, 1980).

O Plano de Ação para a Prevenção e o Controle do Desmatamento (MMA, 2016) descreve o Bioma Cerrado como bioma de savana mais rico em biodiversidade no mundo, já que contém um terço da biodiversidade no território continental, além das nascentes das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Amazônica/Tocantins, São Francisco e Prata, Tocantins), o que resulta em um elevado potencial aquífero e favorece a sua biodiversidade.

Apesar de ser um dos biomas mais ricos do planeta, vem sofrendo acelerado processo de degradação devido a múltiplas causas relacionadas a ação antrópica, em que metade do seu território original já foi transformada em pastagens, culturas anuais, agricultura, pecuária, em que entre as técnicas de manejo recorrentes tem-se o uso do fogo (GOMES & JESUS, 2016). Segundo dados do IBAMA (MIRANDA, 2010), as queimadas no Cerrado ocorrem ao longo do período de seca, a qual pode compreender uma duração de até seis meses, em que nós últimos anos estão sendo observadas temperaturas cada vez maiores e sem previsão de chuvas, fatores que aumentam os riscos de incêndios.

Segundo o Plano de Ação para a Prevenção e o Controle do Desmatamento (MMA, 2016) o Cerrado é o bioma brasileiro com a maior ocorrência de queimadas e incêndios florestais. Alguns estudos mais recentes relatam que o fogo ocorre neste bioma há mais ou menos 25 milhões de anos e é considerado um dos principais agentes evolutivos para as adaptações morfológicas e fisiológicas da vegetação.



Na atualidade a maior parte da ocorrência de queimadas e incêndios florestais se dá com maior frequência em épocas muito secas, causando vários danos ao meio ambiente por tornar a vegetação mais rala, com menos espécies de árvores e ecossistemas mais suscetíveis ao fogo, pois reduzem a resistência e a elasticidade ecológica (Plano de Ação para a Prevenção e o Controle do Desmatamento, MMA, 2016).

Em contraste o plano acima citado relata que também neste bioma existem incêndios de origem natural, presentes há milhões de anos e ocorrem no começo da estação chuvosa, afetam extensões menores e fazem parte da ecologia do bioma.

## **2.2 Sensoriamento Remoto e classificação de áreas queimadas e incêndios florestais**

Eastman (2012) define sensoriamento remoto como um processo que reúne informação básica acerca de um objeto/fenômeno de interesse, sem necessidade de estar em contato com este, permitindo a avaliação das interações entre a superfície terrestre e a energia eletromagnética. Neste sentido, Gonzaga (2014) explica que neste processo de obtenção de informação o sol interage com a superfície terrestre que reflete energia em função do tipo de cobertura na qual seja refletida.

Gilabert *et al.* (1997) relatam que o sensoriamento remoto tem como finalidade identificar e caracterizar materiais na superfície terrestre e os processos que nela ocorrem a partir da radiação eletromagnética. Esta técnica contribui de forma essencial ao estudo do meio ambiente devido a sua capacidade de seguir processos dinâmicos de observação da terra desde uma órbita estável e repetitiva em diferentes episódios (CHUVIECO, 1995)

Segundo Olaya (2011), na análise de risco provocado por um incêndio, os sistemas de informação geográfica têm tido um papel muito importante em quanto a identificação, monitoramento, localização, quantificação e manejo das áreas afetadas, com o principal objetivo de administrar das zonas em questão. Cabe destacar que o enfoque principal deve ser prevenção, combate e recuperação através de ferramentas e aplicação de ações e atividades que derivam da utilização das técnicas de SIG.

O monitoramento da ocorrência de queimadas e incêndios florestais, a partir de dados confiáveis, é necessário para facilitar a compreensão da dinâmica do uso e cobertura da terra, de tal forma que forneça informações para subsidiar programas ambientais, bem como contribuir para os estudos de mudanças climáticas (Cardozo et al., 2011).

Em geral a classificação de áreas queimadas pode ser realizada de duas maneiras uma por interpretação visual e a outra consiste em um processo de classificação digital.

A classificação digital segundo Garofalo (2015) consiste em um processo de reconhecimento de padrões e de objetos homogêneos em um conjunto de pixels, ao qual se aplica o mapeamento das áreas em questão.

Para esta classificação digital existem diferentes metodologias entre outras o cálculo de índices de vegetação e o desenvolvimento de algoritmos que permitem o cálculo destes índices entre outros se conhecem ABAMS o qual é uma metodologia focada para gerar perímetros de áreas queimadas a partir de imagens Landsat e o programa ArcGis (BASTARRIKA, 2009).

Segundo Bastarrika (2009) uma das vantagens do uso deste tipo de ferramentas é que permite realizar comparações de imagens temporais unitemporais e multitemporais de diferentes datas, assim como o processamento dos índices NDVI; NBR entre outros segundo o nível de automatização, e a rapidez com que é possível mapear grandes áreas em vários ecossistemas.

Em contraste a interpretação visual permite extrair feições de interesse do usuário e geralmente é utilizada uma composição colorida de bandas do tipo RGB por permitir a melhor identificação das áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais, esta é realizada manualmente da tela do computador através da interpretação visual (GAROFALO et al., 2015)

### **2.3 Características espectrais das áreas queimadas e incêndios florestais**

O conhecimento das características espectrais das áreas queimadas e incêndios florestais é um ponto crítico para o êxito no mapeamento das mesmas por meio de imagem de satélites. Um fator que influencia estas características é o tempo transcorrido desde o acontecimento do distúrbio (fogo) até a captura da imagem,

devido ao fato de que as coberturas vegetais queimadas regeneram de maneiras diferentes a curto e longo prazo (ROY *et al.*, 2002).

Segundo Chuvieco (1995), existem diversas imagens de satélites que proveem informação útil para o mapeamento de áreas queimadas e incêndios florestais, porém as imagens adquiridas dos satélites da série *Landsat* são a fonte principal de dados por possuir uma melhor resolução espacial.

Baseados nos estudos de Roy *et al.* (2002), Pereira e Setzer (2007) e Bastarrika (2009), algumas características dos alvos com relação as bandas, do visível e do infravermelho, utilizadas no estudo das áreas queimadas e incêndios florestais estão descritas a seguir, por permitir uma melhor identificação e classificação de áreas queimadas dentro deste comprimento de onda e facilitar a diferenciação entre uma área queimada de uma não queimada:

- Banda 3 (0,53 – 0,59  $\mu\text{m}$ , verde): Nesta banda é possível determinar a absorção da clorofila, sendo útil para classificação da cobertura vegetal, agricultura e uso do solo;
- Banda 4 (0,64 - 0,67  $\mu\text{m}$ ; vermelho): dado que a vegetação absorve quase toda a luz vermelha, esta banda resulta útil para a diferenciação entre a vegetação e o solo e para monitoramento da vegetação saudável.
- Banda 5 (0,85 - 0,88  $\mu\text{m}$ ; infravermelho próximo): a água absorve a luz praticamente em todo este comprimento de onda, com os corpos híbridos sendo escuros contrastando com a refletividade brilhante do solo e da vegetação, motivo pelo qual este comprimento de onda é indicado em estudos para definir a superfície de água/terra.
- Banda 6 (1,57 - 1,65  $\mu\text{m}$ ; infravermelho de onda curta): já que este comprimento de onda é sensível a umidade, esta banda é útil no monitoramento do estado da vegetação e umidade do solo, bem como para diferenciar entre nuvens e neve.
- Banda 7 (2,11 - 2,29  $\mu\text{m}$ ; infravermelho de onda curta): esta banda é utilizada para monitorar a umidade da vegetação, assim como para a cartográfica de solos e a geologia.

## **2.4 Clima e sua relação com a ocorrência de incêndios**

O estudo do clima é de grande importância para qualquer localidade, dessa forma segundo Rolim et al. (2007), pode ser entendido como as condições atmosféricas médias em uma certa região e influencia diretamente a maioria das atividades humanas.

Com respeito as queimadas e incêndios florestais intervêm de forma direta a temperatura, umidade relativa do ar, o vento e as precipitações, segundo Pereira (2006) mantendo assim uma relação estreita desde a probabilidade de ocorrências de incêndios, originárias das condições atmosféricas predominante em um dado período de tempo, até a manutenção e propagação do fogo.

Em épocas do ano com baixa umidade do ar, a propensão de incêndios florestais aumenta consideravelmente já que o ar mais seco acaba por forçar uma maior evapotranspiração dos vegetais. A baixa umidade proporciona um déficit na formação de nebulosidade, favorecendo uma maior atuação da radiação solar sobre a superfície e esta por sua vez eleva a temperatura do ar, ajudando também na propensão de ocorrência do fogo (PEREIRA, 2006).

## **2.5 Caracterização do ambiente**

### **2.5.1 Métricas de paisagem**

Segundo Jesus *et al.* (2015) a fragmentação das florestas constitui uma forma de degradação que diminui a biodiversidade e está relacionada com o aumento de remanescentes isolados. Segundo Pereira e Neves (2007) é necessário o desenvolvimento de técnicas e metodologias de caracterização dos ambientes que permitam detectar e quantificar as modificações ocorridas na paisagem que podem resultar na fragmentação da mesma.

Diversos autores consideram importante avaliar aspectos como estrutura, diversidade e composição dos ambientes para obtenção de informações com a finalidade de escolher a melhor opção nas medidas de restauração de áreas degradadas ou alteradas que são produto da fragmentação (PEREIRA & NEVES, 2007; LAURANCE & VASCONCELOS, 2009; MUCHAILH *et al.*, 2010).

A quantificação da estrutura do ambiente pode ser realizada a partir de métricas da paisagem, as quais procuram interpretar um ambiente em busca de padrões da paisagem e funcionam como avaliadores nas dinâmicas de uso do solo, assim como no monitoramento de mudanças na paisagem e padrões de desmatamento (YUAN & PAUDEL, 2013).

Segundo Yuan e Paudel (2012), as métricas são indicadores que possibilitam a análise da configuração da paisagem permitindo diagnosticar condições dos fragmentos, assim como a interpretação dos efeitos sobre os diferentes processos ecológicos a partir de estudos que avaliem a interação entre formas das unidades espaciais e sua funcionalidade.

Assim, as métricas de paisagem são um requisito para a análise de transformações significativas nas coberturas vegetais, permitindo descrever e quantificar elementos que compõem a estrutura da paisagem, avaliar cenários para o futuro planejamento relacionando padrões a funções ecológicas, com o objetivo de fornecer informações relacionadas com o planejamento, a conservação e a preservação de recursos naturais (RUDOLPHO *et al.*, 2013).

As diversas métricas de paisagem podem ser relacionadas com o tamanho, forma, complexidade, índice de borda, da paisagem, como por exemplo as utilizadas por Jesus *et al.* (2015):

- Área total da paisagem;
- Porcentagem de ocupação por classe;
- Número de manchas na paisagem;
- Tamanho médio das manchas;
- Desvio-padrão do tamanho das manchas;
- Coeficiente de variação do tamanho das manchas;
- Índice de forma média;
- Índice de forma média ponderada pela área;
- Distância do vizinho mais próximo;
- Área central (núcleo) e simulação de área de borda;
- Total de área-núcleo na paisagem e;
- Média da área-núcleo na paisagem a partir de área estabelecida.

### **2.5.2 Correlação espacial e índice de Moran**

Segundo Celemín (2009), a análise de correlação espacial permite estudar e avaliar características socioeconômicas e ambientais próprias de um local e que possuem similaridade com outros locais, ou seja, permite verificar a existência de homogeneidade espacial na ocorrência de um fenômeno estudado.

Esta análise está fundamentada no princípio de que dois pontos próximos guardam uma relação direta com pontos da mesma variável em outros pontos mais próximos (CELEMÍN, 2009). Assim, será aceita a existência de auto correlação espacial sempre que existir variação espacial sistemática nos valores de uma variável através de um mapa, isto é, quando existe um padrão de comportamento da variável segundo a localização geográfica (CELEMÍN, 2009). Tal fato possui relação, segundo Olaya (2011), com o princípio de vizinhança dos diferentes elementos geográficos, onde valores de uma variável podem ter valores mais similares entre si que aqueles mais distantes.

Para quantificar e estudar a correlação espacial se pode usar uma série de índices, entre eles o de Moran. Segundo Salame (2008), este índice fornece um valor como medida da associação espacial para todo o conjunto de dados, sendo útil na caracterização da região de estudo. Além disso, funciona como indicador global que quantifica a auto correlação de um conjunto de dados em uma região a ser estudada.

No estudo de um grande número de áreas, é muito provável que ocorram diferentes formas de associação espacial e que apareçam locais em que a dependência espacial é ainda mais pronunciada. Desta maneira, o índice de Moran por ser uma medida geográfico-estatística referente a correlação espacial que indica o grau de correlação entre unidades territoriais, com valores variando entre -1 e +1, sendo que quanto mais próximo a 1, maior será o nível de correlação espacial. Os valores negativos indicam um conglomerado espacial de unidades territoriais com valores de análise distintos, e os valores positivos indicam um conglomerado espacial de unidades territoriais com valores de análise similar sejam estes altos ou baixos. (CEPAL, 2014).

## **2.6 Bacias hidrograficas no estado do Tocantins**

Segundo o Zoneamento Agroecológico (ZAE) do Estado do Tocantins, desenvolvido pela Secretaria de Planejamento e da Modernização da Gestão Pública (SEPLAN, 2012), o estado apresenta um sistema hidrográfico constituído por dois eixos de drenagem representados pelo rio Tocantins, com uma extensão territorial de 172.828,2 km<sup>2</sup> (62,3% da área do Estado), e pelo rio Araguaia com extensão territorial de 104.791,8 km<sup>2</sup> (37,7% da área total do Estado). Estes dois sistemas hidrográficos são divididos em sub-bacias hidrográficas que estão descritas nas Tabela 2 e 3 e ilustradas na Figura 1.

Tabela 1. Sistema Hidrográfico do rio Araguaia.

Sistema	Nome	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%) <sup>1</sup>
A1	Rio Araguaia	16.401,60	5,9
A2	Rio Riozinho	10.923,70	3,9
A3	Rio Javaés	12.329,60	4,5
A4	Rio Formoso	20.654,30	7,5
A5	Rio Pium	5.044,50	1,8
A6	Rio do Côco	6.664,60	2,4
A7	Rio Caiapó	5.382,10	1,9
A8	Rio Piranhas / Rio Lajeado	5.985,10	2,2
A9	Rio Bananal	2.853,90	1,0
A10	Rio Barreiras	1.738,20	0,6
A11	Rio das Cunhãs	2.776,30	1,0
A12	Rio Jenipapo	1.576,50	0,6
A13	Rio Muricizal	3.375,60	1,2
A14	Rio Lontra	3.835,90	1,4
A15	Ribeirão Corda	3.508,60	1,3
A16	Rio Piranhas	1.741,30	0,6

Fonte: SEPLAN (2012). 1 = em relação à área do Estado do Tocantins.

Tabela 2. Sistema Hidrográfico do rio Tocantins.

Sistema	Nome	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%) <sup>1</sup>
T1	Rio Tocantins	57.032,00	20,6
T2	Rio Santa Tereza	5.950,90	2,1
T3	Rio Paranã	8.175,50	2,9
T4	Rio Palma	17.055,20	6,1
T5	Rio Manuel Alves da Natividade	14.917,10	5,4
T6	Rio São Valério	2.189,20	0,8
T7	Rio Santo Antônio	3.057,40	1,1
T8	Rio Crixás	3.407,40	1,2
T9	Rio das Balsas	12.352,50	4,5
T10	Rio Sono	23.977,20	8,6
T11	Ribeirão dos Mangues	2.797,80	1,0
T12	Rio Perdida	9.522,70	3,4
T13	Rio Manuel Alves Pequeno	3.892,40	1,4
T14	Rio Manuel Alves Grande	8.500,70	3,1

Fonte: SEPLAN (2012). 1 = em relação a área do Estado do Tocantins.

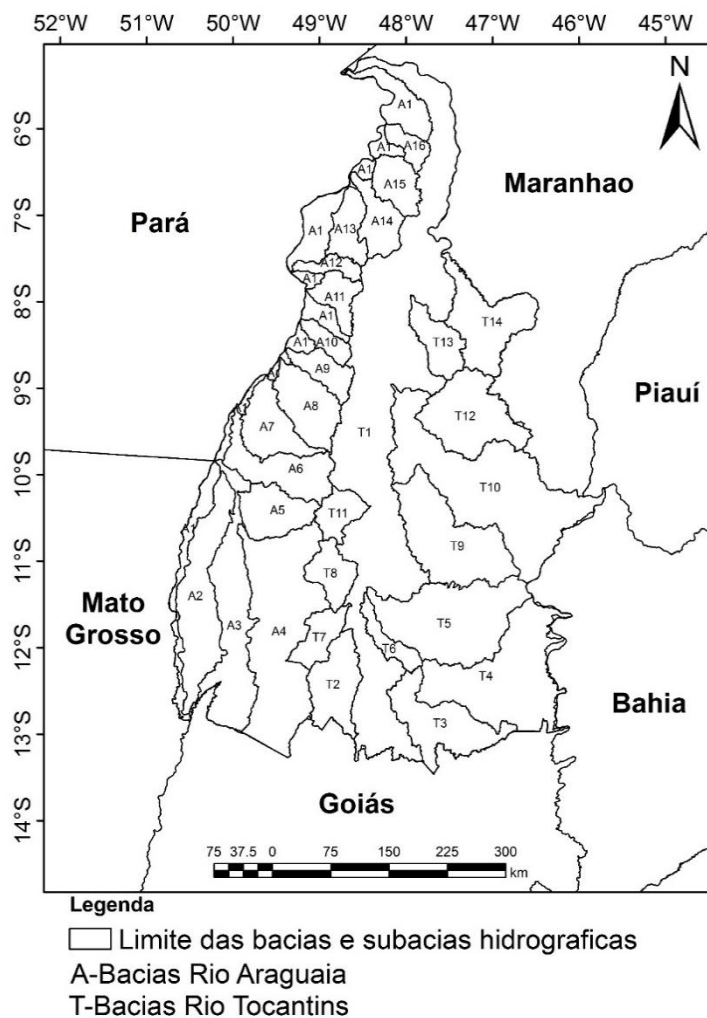


Figura 1. Distribuição das Bacia dos Rios Tocantins (T1) e Araguaia (A1) e suas sub bacias representadas respectivamente pelas letras T e A. (Fonte: SEPLAN, 2012)



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

O estado do Tocantins está situado no sudeste da Amazônia Legal, estando geograficamente localizado entre os paralelos 5° e 13° de latitude sul e os meridianos 46° e 51° de longitude oeste. O estado possui área superior a 277 mil km<sup>2</sup> (IBGE, 2016) e segundo o *Plano para prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas do estado do Tocantins* (TOCANTINS, 2015), se localiza numa região que pode ser caracterizada como de transição entre a Floresta Amazônica e o Cerrado, a maior parte do estado (91%) pertence ao bioma Cerrado, sendo que a superfície inserida na Amazônia Legal equivale a 97,9% da área total do estado.

Ainda de acordo com o Plano supracitado, o restante consiste de fragmentos de Floresta Estacional Decidual (ao norte, centro-oeste e sudeste do estado); de Floresta Estacional Semi-decidual (em áreas de altitude ao sul e sudeste do estado); de Floresta Ombrófila Densa (ao noroeste do estado; e de Floresta Ombrófila Aberta (na região noroeste do estado, zona de transição entre Cerrado e Floresta Ombrófila densa).

Segundo a SEPLAN (2012) as temperaturas médias anuais do ar variam entre 25° C a 27° C com uma precipitação média anual entre os 1300 mm e os 2100mm. Com relação a regionalização climática do estado do Tocantins, a classificação adotada pela SEPLAN (2012) separa o estado em três regiões descritas na Tabela 3 e na Figura 2.

Tabela 3. Caracterização climática do estado do Tocantins segundo SEPLAN (2012)

Classificação Thornthwaite	Deficiência hídrica	Evapotranspiração Potencial <sup>1</sup> (mm)	Evapotranspiração Potencial <sup>2</sup> (mm)
B1wA´a	Moderada	1.400-1.700	390-480
C2wA´a´´	Moderada	1.500	420
C2w2A´a`	Pequena	1.600	410

1 = anual; 2 = durante a estação seca; Fonte: SEPLAN (2012)

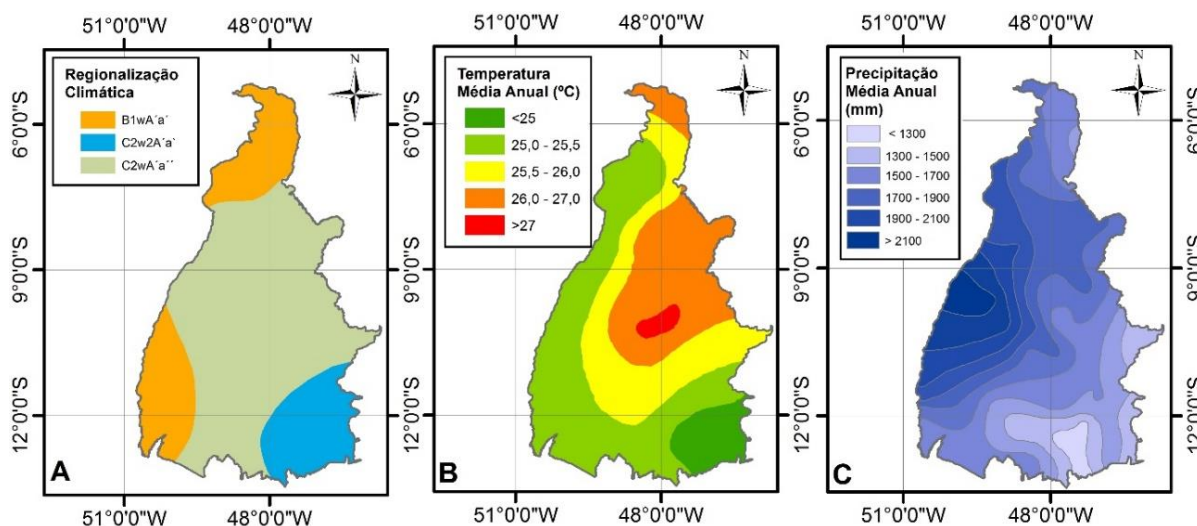


Figura 2: Caracterização climática do estado do Tocantins, sendo (A) Regionalização climática; (B) Precipitação média anual e (C) Temperatura média anual. (Fonte: SEPLAN, 2012).

### 3.2 Quantificação e delimitação de área afetadas por queimadas e incêndios florestais

Para a quantificação e delimitação de áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais foram utilizadas imagens do satélite *Landsat 8* que opera com dois instrumentos imageadores: *Operacional Terra Imager (OLI)* e *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*. Os produtos OLI consistem em oito bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros.

Especificamente, neste estudo, foram utilizadas duas composições RGB a partir das bandas do sensor OLI-Landsat 8, sendo R7G5B4 e R6G5B3, que facilitam a identificação visual de área afetada por queimada ou incêndio florestal, conforme ilustrado na Figura 3.

Ao todo foram utilizadas 19 cenas do satélite *Landsat 8*, que correspondem à cobertura do estado do Tocantins para a avaliação e incidência de áreas queimadas e incêndios florestais do ano de 2015 como pode ser observado na Tabela 4. De acordo com o período analisado, 38 imagens foram digitalizadas (duas datas de passagem para cada cena).

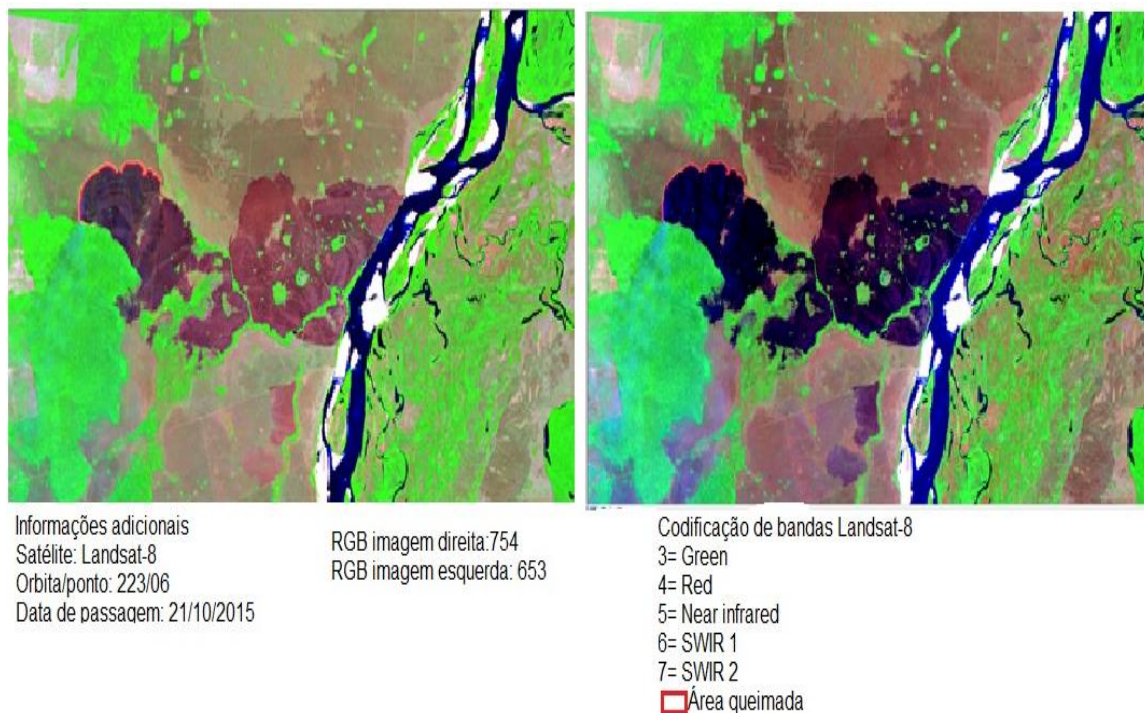


Figura 3: Área afetada por queimadas e incêndios florestais identificada pelas composições de bandas 754 (direita) e 653 (esquerda) do satélite Landsat 8.

Tabela 4. Orbita/Ponto, datas de captura das imagens e localização das cenas no estado do Tocantins do satélite *Landsat 8* utilizadas para o mapeamento de áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais no estado do Tocantins.

Orbita/Ponto	Data de captura da imagem		Localização das cenas no estado do Tocantins
	I	II	
220/67	16/10	03/12	
220/68	16/10	03/12	
220/69	30/09	03/12	
220/70	04/08	05/09	
220/71	05/09	10/12	
221/68	05/09	10/12	
221/69	21/09	07/10	
222/64	14/10	01/12	
222/65	12/09	14/10	
222/66	12/09	14/10	
222/67	14/10	01/12	
222/68	14/10	01/12	
222/69	14/10	01/12	
223/64	21/10	08/12	
223/65	03/09	21/10	
223/66	03/09	21/10	
223/67	03/09	21/10	
223/68	03/09	21/10	
223/69	03/09	21/10	

A correção atmosférica das imagens foi realizada por meio do módulo *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH), segundo a metodologia explicada por (AGUILAR *et al.*, 2014) que é baseada num algoritmo de

transferência de radiação desenvolvido basicamente com fundamentos na equação standard de radiância espectral para cada pixel do sensor (L), o qual logo se aplica na categoria de longitude de onda.

Após a realização da correção atmosférica foi realizada a identificação das áreas queimadas e incêndios florestais por meio de interpretação visual, realizadas na tela do computador tendo como referências as diferentes composições (R7G5B4 e R6G5B3), conforme descrito em RIVERA-LOMBARDI (2003).

### **3.3 Obtenção e análise dos dados**

As áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais no estado do Tocantins, no ano de 2015, foram segmentadas por sistema hidrográfico (30, ao total) de acordo com arquivo vetorial disponibilizado pela SEPLAN-TO.

Além das áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais em cada sistema hidrográfico, foram obtidas informações referentes: ao uso e ocupação do solo referente ao ano de 2007 para o estado do Tocantins (SEPLAN-TO, 2012) e o número de focos de calor captados pelo satélite de referência no ano de 2015 no Estado do Tocantins que foram obtidos pelo site do INPE.

Desta forma, as seguintes informações relacionadas a áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais foram obtidas em cada sistema hidrográfico:

- Área ocupada (AO), em hectares, obtida de forma direta pelo arquivo vetorial disponibilizado pela SEPLAN-TO (2012);
- Área afetada por queimadas e incêndios florestais (AQ30m), em hectares, obtida pela digitalização manual de imagens *Landsat 8* com resolução especial de 30m, como descrito anteriormente;
- Percentual de área afetada por queimadas e incêndios florestais, obtida pela relação entre a AQ30m e AO;
- Percentual da área afetada por queimadas e incêndios florestais dentro de áreas protegidas, obtida pela relação entre AQ30m dentro das áreas protegidas e a AQ30m total;
- Percentual da área afetada por queimadas e incêndios florestais dentro de áreas agrícolas, obtida pela relação entre AQ30m dentro das áreas agrícolas e a AQ30m total e;

- Valor do índice de Moran, obtido segundo metodologia descrita em Salame et al. (2015), bem como sua classificação.

Com relação aos obtidos pelo site do INPE, as seguintes informações foram extraídas para cada sistema hidrográfico no Estado do Tocantins:

- Número de focos de calor no ano, obtido do satélite de referência e disponível no site do INPE;
- Número de focos de calor dentro das áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais, obtido pelo cruzamento número de focos de calor e AQ30m.
- Número máximo de dias sem chuva no ano, obtido por meio do arquivo vetorial de focos de calor disponibilizado pelo site do INPE e interpolado para sistema hidrográfico e;
- Número de dias com chuvas menores que 13 mm, obtido por meio do arquivo vetorial de focos de calor disponibilizado pelo site do INPE e interpolados para sistema hidrográfico.

Com os dados de uso e ocupação do solo referente ao ano de 2007 para o Estado do Tocantins, disponíveis em arquivo vetorial encontrado no site da SEPLAN-TO, foram calculadas as seguintes métricas de paisagem em cada sistema hidrográfico, conforme as fórmulas de Mcgarigal e Marks (1996):

- Índice de forma de paisagem (LSI): obtido pela relação entre o comprimento total de borda dividida pela raiz quadrada da área total da paisagem;
- Índice médio de forma (MSI): que representa a média do índice de forma dos fragmentos presentes na paisagem;
- Índice médio de forma de área ponderado (AWMSI): que representa a média do índice de forma dos fragmentos presentes na paisagem, no entanto, considera a área do fragmento;
- Dimensão fractal da borda (MPFD): que tem valores que variam de 1 e 2, em que valores menores indicam simplicidade dos fragmentos e os maiores, formas mais complexas;
- Dimensão fractal média ponderada por área de fragmento (AWMPFD): que representa a complexidade de forma ajustada (ponderada) pela área do fragmento.

Na Tabela 5 podemos observar de forma resumida as 16 variáveis que foram obtidas no presente trabalho e submetidas a:

- Análise de correlação paramétrica (Pearson) e não paramétrica (Spearman) a 5% de significância e;
- Análise de componentes principais, segundo critérios descritos em Hair Jr. *et al.* (2006) e Figueiredo Filho e Silva Júnior (2010).

Para interpretar os resultados, além da significância dos coeficientes de correlação, é importante considerar a magnitude dos mesmos, o que pode ser feita com uso da escala proposta por Díaz *et al.* (2014): correlação mínima (0,0 e 0,2); baixa (0,2 e 0,4); moderada (0,4 e 0,6); boa (0,6 e 0,8) e; muito boa (0,8 e 1,0).

Tabela 5. Variáveis relacionadas caracterização de área afetada por queimadas e incêndios florestais e da paisagem utilizadas no estudo dos 30 sistemas hidrográficos do Estado do Tocantins

Variável	Descrição	Unidade
AO	Área ocupada	Hectares
AQ30m	Área queimada	Hectares
P_AQ	Percentual de área queimada	%
P_AQ_AP	% da área queimada dentro de áreas protegidas	%
P_AQ_AA	% da área queimada dentro de áreas agrícolas	%
IM_Value	Índice de Moran	Adimensional
IM_Class	Classificação do Índice de Moran	1 a 3*
NSC	Número máximo de dias sem chuva no ano	-
NM13	Número de dias com chuva menor que 13 mm	-
LSI	Índice de forma de paisagem	Adimensional
MSI	Índice de Forma Médio	Adimensional
AWMSI	Índice de área média ponderada	Adimensional
MPFD	Dimensão fractal da mancha media	Adimensional
AWMPFD	Dimensão fractal média ponderada por área	Adimensional
NF	Número de focos de calor no ano	-
NF_AQ	Número de focos de calor dentro das áreas queimadas	-

\* 1 = disperso; 2 = aleatório; 3 = agrupado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSAO

### 4.1 Distribuição da área afetada por queimada e incêndios florestais nos sistemas hidrográficos dentro do estado do Tocantins, no ano de 2015

No estado foram identificados mais de 2,5 milhões de hectares de áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais distribuídas em cada sistema hidrográfico no estado do TO, no ano 2015 (Figura 4).

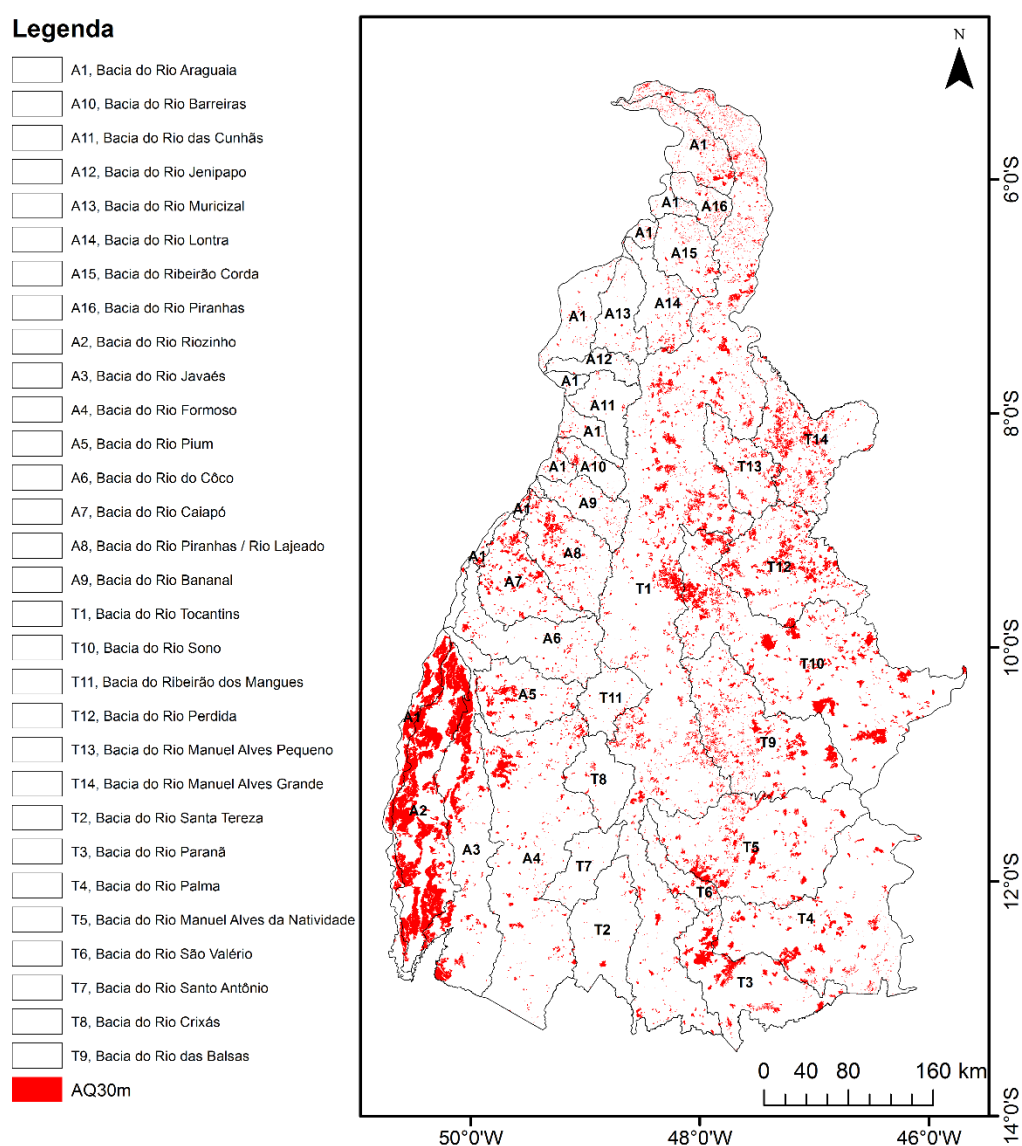


Figura 4: Distribuição das áreas afetadas por queimada e incêndios florestais nos sistemas hidrográficos dentro do estado do Tocantins, no ano de 2015, obtida pela digitalização de imagens Landsat8.

Nove das trinta sub-bacias do sistema hidrográfico do estado apresentaram área afetada por queimadas e incêndios florestais acima de 100 mil hectares no ano de 2015 (Tabela 7), sendo os sistemas: A2 (> 501 mil ha); T1 (> 406 mil ha); T10 (> 248 mil ha); A1 (> 199 mil ha); A3 (> 176 mil ha); T12 (> 126 mil ha); T9 (> 117 mil ha); T5 (> 113 mil ha) e; T14 (> 101 mil ha), o que totaliza mais de 77% do mapeado no estado.

Tabela 6. Área afetada por queimadas e incêndios florestais, em hectares, em cada sistema hidrográfico no estado do Tocantins, no ano de 2015 e seus respectivos escores em relação aos componentes principais (CP) extraídos

SISTEMA	AQ <sub>30m</sub>	CP1	CP2	CP3	CP4
A1	199.123,01	0,370	1,061	0,161	-0,128
A10	7.796,92	-0,555	0,035	2,331	-0,291
A11	2.385,37	-0,507	-1,410	1,802	0,111
A12	1.472,28	-0,674	-1,424	0,467	0,083
A13	4.927,01	-0,494	-0,351	1,483	-0,730
A14	15.877,55	-0,301	0,143	1,061	-1,428
A15	16.242,56	-0,972	0,111	-1,020	-0,106
A16	9.581,23	-0,831	0,216	-0,747	-2,446
A2	501.853,83	-0,162	3,108	1,009	-1,206
A3	176.009,01	0,164	0,896	-0,552	0,519
A4	85.378,33	1,291	-0,862	-0,726	0,697
A5	43.017,43	-0,345	-0,047	-1,524	-1,026
A6	17.931,75	-0,269	-1,012	-1,372	-0,611
A7	60.227,46	-0,514	0,818	-1,012	-0,844
A8	53.257,23	-0,356	0,657	-0,125	-0,195
A9	8.465,84	-0,403	-1,210	1,612	-0,315
T1	406.264,42	4,303	-0,585	0,686	-1,255
T10	248.628,48	1,288	0,475	-0,566	1,041
T11	6.868,75	-0,476	-0,227	-0,658	0,085
T12	126.904,05	0,186	0,610	0,993	2,527
T13	31.617,77	-0,489	0,696	0,884	1,553
T14	101.166,01	-0,136	0,931	-0,549	1,577
T2	7.994,82	-0,404	-0,552	-0,537	1,051
T3	93.210,85	-0,099	0,878	-0,326	-0,013
T4	92.395,08	0,728	0,057	-0,879	0,339
T5	113.524,39	0,930	0,066	-0,203	-0,204
T6	16.908,85	-0,814	0,059	-0,311	0,497
T7	2.158,05	-0,467	-1,641	-0,178	0,243
T8	5.331,59	-0,360	-1,648	-0,833	-0,079
T9	117.883,22	0,368	0,153	-0,368	0,554

AQ<sub>30m</sub> = Área queimada (hectares) em cada sistema obtida por meio de digitalização de cicatrizes baseadas em imagens *Landsat* 8.

## 4.2 Análises de componentes principais

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados da análise de componentes principais em que foi possível extrair quatro componentes os quais apresentaram autovalores acima de 1,0. O primeiro componente principal (CP1) explica 44,05% da



variância, o segundo (CP2) explica 16,69%, o terceiro (CP3), 12,67% e o quarto (CP4) 9,66%, o que totaliza 83,03% da variabilidade do conjunto de dados original.

Tabela 7. Componentes principais extraídos da análise multivariada dos dados do mapeamento da área afetada por queimadas e incêndios florestais em cada sistema hidrográfico no Estado do Tocantins, no ano de 2015, e de métricas de paisagem, número de focos de calor e indicadores de incêndios florestais e áreas queimadas

Componente Principal	Autovalor	% da variância	% variância acumulada
1	6,61	44,05	44,05
2	2,50	16,69	60,74
3	1,90	12,67	73,41
4	1,45	9,66	83,07
KMO		0,60	
Valor p (Teste Bartlett)		0,00	

Segundo Field (2009), no que se refere ao padrão de correlação entre as variáveis, a matriz de correlação pode apresentar valor da estatística *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO) variando entre 0 e 1, sendo considerado como aceitáveis valores superiores a 0,50 para a análise de componentes principais (HAIR JR. *et al.*, 2006).

Na Tabela 9, são apresentados os componentes principais extraídos da análise multivariada dos dados do mapeamento da área afetada por queimadas e incêndios florestais em cada sistema hidrográfico e as métricas de paisagem e sua correlação com os componentes principais extraídos.

Tabela 8. Autovetores, após rotação Varimax, dos componentes principais extraídos associados as variáveis originais oriundas do mapeamento da área afetada por queimadas e incêndios florestais em cada sistema hidrográfico no Estado do Tocantins, no ano de 2015, e de métricas de paisagem, número de focos de calor e indicadores de incêndios florestais e áreas queimadas

Variável	Componente Principal			
	1	2	3	4
Área ocupada	<b>0,98</b>	-	-	-
Número de focos de calor no ano	<b>0,96</b>	0,20	-	-
Índice de forma de paisagem	<b>0,91</b>	-	-0,17	0,18
Número de focos de calor dentro das áreas queimadas	<b>0,80</b>	0,50	-	-
Número de dias com chuva menor que 13 mm	<b>0,63</b>	0,46	-0,33	0,40
Percentual de área queimada	-	<b>0,85</b>	-	-
Índice de Moran	0,29	<b>0,81</b>	-0,13	-
% da área queimada dentro de áreas protegidas	-	<b>0,73</b>	-0,24	-
Classificação do Índice de Moran	0,23	<b>0,71</b>	-0,13	-
% da área queimada dentro de áreas agrícolas	-0,29	<b>-0,70</b>	0,31	-0,44
Índice de área média ponderada	-	-	<b>0,97</b>	-
Dimensão fractal da mancha media	-	-0,22	<b>0,90</b>	0,31
Número máximo de dias sem chuva no ano	0,49	0,33	<b>-0,54</b>	0,22
Índice de Forma Médio	0,13	-	-	<b>0,94</b>
Número de focos de calor dentro das áreas queimadas	-	-	0,26	<b>0,86</b>

" - " = valores menores que 0,10; 1 = siglas descritas na Tabela 5; Valores em negrito indicam maior valor da variável na linha.

A identificação de variáveis com contribuição relevante em cada componente principal extraído, pode ser feita por meio de diversos critérios, com o relatado por Tobar-Tosse et al. (2015), sendo significativos valores maiores ou iguais a  $|0,5|$ .

Assim, ao analisar o primeiro componente principal (CP1) verifica-se que os valores mais significativos foram referentes a área ocupada pelo sistema (0,98), o número de focos de calor (0,96), o índice de forma da paisagem (0,91), o número de focos de calor dentro de áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais (0,80) e o número de dias com chuva menor que 13 mm (0,63). Para o segundo componente, as variáveis de maior contribuição foram o percentual de área queimada em cada sistema (0,85), o valor e a classificação do índice de Moran (0,81; 0,71; respectivamente) e os percentuais de áreas queimadas dentro de áreas protegidas (0,73) e áreas antrópicas (-0,70).

Nos componentes três e quatro (CP3 e CP4), as variáveis que apresentam os maiores valores foram o índice de área média ponderada (0,97), o índice de dimensão fractal média ponderada por área (0,90) e o número de dias sem chuva (-0,54), com relação ao CP3 e, o índice de forma médio (0,94) e a dimensão fractal da mancha média (0,86), no CP4.

Com relação ao sistema A2, denominado de Bacia do Rio Riozinho, o mesmo está localizado a oeste do Estado do Tocantins, na região que compreende a Ilha do Bananal. Pelos dados do presente estudo (Tabela 7), tal sistema pode ser caracterizado por apresentar, em relação aos demais, médias superiores nos componentes principais CP2 (3,108) e CP3 (1,009) que representam a percentual de área queimada a distribuição espacial das mesmas, ou seja, com grande parte da área afetada por queimada e com ocorrência agrupada.

Ainda, nos componentes principais CP1 e CP4, o escore do sistema A2 foi negativo, com destaque a este último (-1,206), ou seja, os valores das métricas de paisagem MSI e MPFD estão abaixo da média geral que indicam a presença de formas mais regulares na paisagem como observado na Tabela 7 onde estão apresentados os valores para área afetada por queimadas e incêndios florestais, em hectares, em cada sistema hidrográfico no estado do Tocantins, no ano de 2015 com seus respectivos escores em relação aos componentes principais (CP) extraídos.

Segundo Gusmão *et al.* (2012), a ilha do bananal é a maior ilha fluvial do mundo (com cerca de dois milhões de hectares), e está localizada numa faixa de transição entre a Floresta Amazônica e o Cerrado, sendo uma zona de várzea

(alagável sazonalmente), em que o período de seca varia entre os meses de agosto e setembro.

MENDES *et al.* (2015) concluíram no estudo de mudanças na vegetação nesta região, que atualmente a mesma é formada por florestas diversificadas. No entanto, Barbosa *et al.* (2011) relatam sobre fragilidade do ecossistema presente e que as alterações promovidas pela ação do fogo podem estar relacionadas a redução da densidade, riqueza e diversidade florística.

Ao não considerar o sistema T1 que engloba a parte da Bacia do Rio Tocantins não subdividida, o sistema T10 (Bacia do Rio do Sono) apresentou maior área afetada por queimadas e incêndios florestais, no sistema do Rio Tocantins, e está localizada a centro-leste do estado e compreende parte da região do Jalapão. Este sistema apresentou valores positivos nos componentes principais CP1 (1,288), CP2 (0,475) e CP4 (1,041) e, negativo no CP3 (-0,566).

A maior ocorrência de áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais neste sistema possui relação positiva com o tamanho do sistema, o número de focos de calor e de dias com chuva menor que 13 mm, a distribuição espacial (agrupamento da ocorrência do fogo), o percentual de área queimada e a complexidade de forma da paisagem segundo o observado na análise de componentes principais de acordo com os autovetores apresentados na Tabela 9.

A Região do Jalapão apresenta grande riqueza de paisagens naturais com ótimo estado de conservação e grandes extensões de Cerrado nativo, com boa parte destas áreas dentro de Unidades de Conservação (BORGES *et al.*, 2016). De forma geral, o Cerrado *sensu stricto* domina quase a metade do total do território (46,74%), em que é observado na região a concentração de áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais, com poucas áreas que não apresentam ao menos uma ocorrência de incêndio (ICMBIO, 2013)

Os sistemas A12 (Bacia do Rio Jenipapo) e T7 (Bacia do Rio Santo Antônio) foram os que apresentaram as menores áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais (< 2 mil hectares), que além de relação com o tamanho de cada sistema, podem ser caracterizados por terem valores abaixo da média quanto ao percentual de área queimada e índice global de Moran (escore negativos CP2), bem como do número de focos de calor e de dias com chuva menor que 13 mm e do índice de forma de paisagem.

### 4.3 Análise de correlação entre a área afetada por queimadas e incêndios florestais em cada sistema hidrográfico no estado do Tocantins no ano de 2015

Na Tabela 10 estão apresentados os coeficientes de correlação paramétrica (Pearson) e não paramétrica (Spearman) entre área afetada por queimadas e incêndios florestais e as demais variáveis analisadas em cada sistema hidrográfico.

Tabela 9. Análise de correlação entre a área afetada por queimadas e incêndios florestais em cada sistema hidrográfico no estado do Tocantins no ano de 2015 e variáveis relacionadas a métricas de paisagem, número de focos de calor e indicadores de incêndios florestais e áreas queimadas

Variáveis	Pearson	Spearman
Área ocupada	0,72**	0,87**
Percentual de área queimada	0,78**	0,86**
P_AQ_AP% da área queimada dentro de áreas protegidas	0,46*	0,69**
% da área queimada dentro de áreas agrícolas	-0,55**	-0,80**
Índice de Moran	0,51**	0,70**
Classificação do Índice de Moran	0,34	0,57**
Número máximo de dias sem chuva no ano	0,51**	0,63**
Número de dias com chuva menor que 13 mm	0,55**	0,81**
Índice de forma de paisagem	0,53**	0,66**
Índice de Forma Médio	0,05	0,14
Índice de área média ponderada	-0,06	-0,12
MPFD Dimensão fractal da mancha media	0,03	0,04
AWMPFD Dimensão fractal média ponderada por área	-0,18	-0,36*
Número de focos de calor no ano	0,75**	0,90**
Número de focos de calor dentro das áreas queimadas	0,95**	0,97**

\* e \*\* = coeficientes significativos a 5% e 1% pelo teste t.

Para interpretar os resultados, além da significância dos coeficientes, é importante considerar a magnitude dos mesmos, o que pode ser feita com uso da escala proposta por Díaz *et al.* (2014): correlação mínima (0,0 e 0,2); baixa (0,2 e 0,4); moderada (0,4 e 0,6); boa (0,6 e 0,8) e; muito boa (0,8 e 1,0). Com base na escala, os coeficientes significativos apresentaram na sua maioria valores acima de |0,5|, com alguns próximos a unidade e que demonstram existência de moderada a muito boa correlação entre as variáveis de estudo com a área afetada por queimadas e incêndios florestais.

A área afetada por queimadas e incêndios florestais apresentou correlação positiva com as seguintes variáveis: Área Ocupada pelo sistema (AO), com valor de 0,72\*\* (Pearson) e 0,87\*\* (Spearman); Percentual de Área Queimada (P\_AQ), com valores de 0,78\*\* (Pearson) e 0,86\*\* (Spearman). Por outro lado, foram observados

valores negativos com o percentual da área queimada dentro de áreas agrícolas (-0,55\*\*; -0,80\*\*) o que demonstra relação inversamente proporcional com a área afetada por queimadas e incêndios florestais.

Segundo o Plano de Ação para a Prevenção e o Controle do Desmatamento (MMA, 2016) à ocorrência de focos de calor nas diferentes categorias de uso da terra, observa-se uma concentração em áreas fora de unidades de conservação de proteção integral, terras indígenas e assentamentos, explicitando que a maior parte do problema está em áreas privadas ou em terras públicas federais ou estaduais.

No entanto, o fogo na agricultura é utilizado prática comum na agricultura para controle de plantas daninhas, remover biomassa morta e limpeza (RIVERA-LOMBARDI, 2003), muito em virtude de ser um método barato (FANIN & VAN der WERF, 2015).

A análise de correlação, ainda, revelou correlação da área afetada por queimadas e incêndios florestais com o número de focos de calor (0,75\*\*; 0,90\*\*) e números de focos de calor dentro de áreas queimadas (0,95\*\*; 0,97\*\*). Com menores magnitudes, também, foram observadas correlações significativas com o número de dias sem chuva (0,51\*\*; 0,63\*\*) e número de dias com chuva menor que 13 mm (0,55\*\*; 0,81\*\*).

Tais relações podem ser explicadas pelo fato de que o aumento de queimadas e focos de calor na estação seca está relacionada a baixa umidade relativa do ar, causada pela ausência de chuvas, condição mais propícia para a ocorrência de incêndios (LIBONATI *et al.*, 2015), e que demonstram que as probabilidades de ocorrência de incêndios são maiores em determinadas condições climáticas (TORRES, 2006).

Com relação as variáveis relacionadas a caracterização da paisagem (métricas de paisagem) as mesmas não apresentaram relação significativa com área afetada por queimadas e incêndios florestais, exceto o índice de forma da paisagem (0,53\*\*; 0,66\*\*) em que a correlação pode ser classificada como moderada. Neste caso, locais com maiores índices de forma da paisagem, que indicam maior fragmentação da paisagem (PIROVANI *et al.*, 2014), estavam associados a maiores áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais.

Neste sentido, a relação entre os grandes incêndios florestais e a fragmentação dos ecossistemas pode levar a diminuição da riqueza da biodiversidade, ao surgimento de áreas pouco conservadas e a limitação das

dinâmicas florestais em função da alteração da composição de espécies pela ação do fogo (PIVORANI *et al.*, 2014).

O valor do índice global de Moran (IM\_Value) apresentou correlação positiva e significativa com a área afetada por queimadas e incêndios florestais (0,51\*\*; 0,70\*\*), ou seja, o aumento do valor do índice esteve associado ao aumento da área afetada pelos fenômenos estudados. Segundo Salame *et al.* (2015), valores altos do índice global de Moran indicam similaridade entre as áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais e que geograficamente estão localizadas a locais com as mesmas ocorrências. Esta relação pode ser justificada com o relato de Goodchild (2008), que demonstra que tudo está relacionado entre si e que os espaços mais próximos ainda mais.

## 5 CONCLUSÕES

Através das análises de correlação e multivariada foi possível conhecer o grau de associação entre as variáveis estudadas com as áreas afetadas por queimadas e incêndios florestais, em que as métricas de paisagem apresentaram as menores relações. No entanto, no sistema de segunda maior ocorrência da área queimada houve relação com maior fragmentação da paisagem.

Ainda a análise multivariada permitiu a caracterização dos sistemas, em que os que apresentaram maior ocorrência de áreas queimadas podem ser caracterizados tanto por paisagens regulares quanto por formas mais complexas da paisagem, além da ocorrência agrupada do fogo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, H.; MORA, R.; VARGAS, C. Metodología para la corrección atmosférica de imágenes Aster, Rapideye, Spot 2 y Landsat 8 con el módulo flaash del software ENVI. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, n. 53, p. 39-59, 2014.

BARBOSA, D. C. F. et al. Estrutura da vegetação lenhosa em dois fragmentos naturais de florestas inundáveis (impucas) no Parque Estadual do Araguaia, Mato Grosso. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 457-471, 2011.

BASTARRIKA, A. **Cartografía automática de área quemada a nivel local-regional mediante algoritmos de contexto espacial**. 2009. 293f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidad de Alcalá de Henares, Madrid, España.

BATISTA, A. C. Detecção de incêndios florestais por satélite. **Revista Floresta**, v. 34, n. 2, p.237-241, 2004.

BORGES, S. L. et al. Fire management in veredas (palm swamps): new perspectives on traditional farming systems in Jalapão, Brazil. **Ambiente & Sociedade**, n. 3, p.269-294, 2016.

CARDOZO, F. S. et al. Avaliação de áreas queimadas a partir dos índices espectrais NDVI e NDBR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 7950-7957.

CELEMÍN, J. P. Auto correlación espacial e indicadores locales de asociación espacial: Importancia, estructura y aplicación. **Revista Universitaria de Geografía**, v. 18, n. 1, p. 11-31, 2009.

CEPAL. Comisión Económica para América y el Caribe, Organización de Naciones Unidas. **Guía para estimar pobreza infantil, información para avanzar en el ejercicio de los derechos de los niños, niñas y adolescentes**. 2014. Disponível em: <<http://dds.cepal.org/infancia/guia-para-estimar-la-pobreza-infantil/guiacontenido-442.php>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

CHUVIECO, E. S. **Fundamentos de Teledetección Espacial**. Madrid: Rialp, 1990. 454p.

COUNTINHO, L. M. As queimadas e seu papel ecológico. **Brasil Florestal**, v. 44, p. 7-23, 1980.



DÍAZ, I. et al. **Guía de Asociación entre variables Pearson y Spearman en SPSS**. Santiago: Universidad de Chile, 2014. 19 p.

EASTMAN, J. R. **Guide for GIS and image processing**. Worcester: Clark University, 2012. 321 p.

FANIN, T.; Van der WERF, G. R. Relationships between burned area, forest cover loss, and land cover change in the Brazilian Amazon based on satellite data. **Journal Biogeosciences**, v. 12, p. 6033-6043, 2015.

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. **Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010 términos y definiciones**. 2010. Disponível em <<http://www.fao.org/docrep/014/am665s/am665s00.pdf>>. Acesso em: 29 out 2015.

FERREIRA, N. J.; GURGEL, H. C. Variabilidade dos ciclos anual e interanual da radiação de ondas longas emergentes sobre a América do Sul e vizinhanças. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 440-444, 2002.

FIELD, A. **Discovering Statistics Using SPSS**. Londres: Sage, 2009. 857p.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. da. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. **Opinião pública**, v. 16, n. 1, p. 160-185, 2010.

GARCIA, M. L.; BRONDO, J. A. E.; PEREZ, M. A. **Satélites de teledetección para la gestión del territorio**. Canarias: Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas, 2012. 66p.

GAROFALO, T. D. F. et al. Análise comparativa de classificadores digitais em imagens do Landsat 8 aplicados ao mapeamento temático. **Revista Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n 7, p 593-604, jul. 2015

GILBERT, M. A.; GONZALEZ, P. J; GARCÍA, H. J. Acerca de los índices de vegetación. **Revista de Teledetección**, v. 8, n.8, p. 1-10, 1997.

GIGLIO, L.; RANDERSON, J.T.; VAN DER WERF, G.R.; KASIBHATLA, P.S.; COLLATZ, G.J.; MORTON, D.C.; DEFRIES, R.S. Assessing variability and long-term

trends in burned area by merging multiple satellite fire products. **Biogeosciences**, n. 7, p. 1171–1186, 2010.

GOMES, H; JESUS G. A. Queimadas e saúde pública no estado do Tocantins. Araguaína. **Revista Científica do ITPAC**, v.9, n.2, p. 74-80, 2016.

GONZAGA, C. **Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia De Loja, Ecuador**. 2014.108f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidad de La Plata, Ecuador.

GUSMÃO, A. C. V. L. et al. Determinação do saldo radiativo na Ilha do Bananal, TO, com imagens orbitais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, p. 1107–1114, 2012.

HAIR JR, J. F. et al. **Multivariate Data Analysis**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2006. 816 p.

HUDAK, A.T.; BROCKETT, B.H. Mapping fire scars in a southern African savannah using Landsat imagery. **International Journal of Remote Sensing**, n. 25, p. 3231–3243, 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estadística. **Mapa de cobertura vegetal dos biomas brasileiros**. 2004. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf\\_ch\\_m\\_rbbio/arquivos/mapas\\_cobertura\\_vegetal.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_ch_m_rbbio/arquivos/mapas_cobertura_vegetal.pdf)>. Acesso em 24 mar. 2015.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Atlas do Corredor Ecológico Atlas da Região do Jalapão**. 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/dODxqw>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

JESUS, E. N. et al. Estrutura dos fragmentos florestais da bacia hidrográfica do rio Poxim-se, como subsídio à restauração ecológica. **Revista Árvore**, v. 39, n. 3, p. 467-474, 2015.

JUAREZ, A., RODRÍGUEZ, T. D. A. Efecto de los incendios forestales en la regeneración de Pinus oocarpa var. Ochoterena. **Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente**, v. 9, n. 2, p. 125-130, 2004.

KEMP, K. K. **Encyclopedia of geographic information science**. Thousand Oaks: Sage, 2008. 584

LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. **Revista Ecologia Brasiliensis**, v. 13, n. 3, p. 434-451, 2009.

LIBONATI, R. et al. An algorithm for burned area detection in the Brazilian Cerrado using 4  $\mu$ m MODIS imagery. **Journal Remote Sensing**, n. 7, p. 15782-15803, 2015.

LÓPEZ-DAVALILLO, A. J. **Plan de manejo y gestión de la subcuenca del río waswalí, matagalpa-jinotega, Nicaragua**. 2007. 157 f. Tese (Ingenieria ambiental). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Corvallis: Oregon State University, 1995. 59p.

MENDES, L. A. S. et al. Mudanças na vegetação durante o último milênio inferidas através do registro palinológico da Ilha do Bananal, Tocantins, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 45, n. 2, p. 215-230, 2015.

MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA, A. C. The fire factor. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (eds.). **The cerrados of Brazil**. New York: Columbia University Press, 2000. p.51-68.

MIRANDA, H. S. **Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Resultados do Projeto Fogo**. Brasília-DF: IBAMA, 2010. 16p.

MMA. Ministério de Meio Ambiente. **Plano de Ação para a Prevenção e o Controle do Desmatamento. Versão Preliminar. Brasil: 2016**. Disponível em: <<https://goo.gl/6UEKmk>>. Acesso em 20 jan 2017.

MORAES, M. G. B. et al. Análise Métrica de Paisagem na Micro Bacia do Rio Água Preta do Mocambo, Uruçuca, Sul da Bahia. **REDE-Revista eletrônica do PRODEMA**, v. 9, n. 1, p. 62-72, 2015.

MUCHAILH, M. C. et al. Metodologia de planejamento de paisagens fragmentadas visando a formação de corredores ecológicos. **Revista Floresta**, v. 40, n. 1, p. 147-162, 2010.

MUÑOZ, R. V. **La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias**. 2. ed. Madrid: McGraw Hill, 2000. 866P.

NASI, R. et al. Los incendios forestales y la diversidad biológica. **Revista Unasylla**, v. 53, n. 209, p. 36-40, 2002

NILMER, E.; BRANDÃO, A. M. P. M. **Balanço hídrico e clima da região dos Cerrados**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

OLAYA, V. **Sistemas de Información Geográfica Versión 1.0**. 2011. Disponível em: <<http://volaya.github.io/libro-sig/index.html>>. Acesso: em 16 abr.. 2015.

PEREIRA, M. A. S.; NEVES, N. A. G. S. Considerações sobre a fragmentação territorial e as redes de corredores ecológicos. **Revista Geografia**, v. 16, n. 2, p. 5-24, 2007.

PEREIRA, M. C.; SETZER A. W. Spectral characteristics of deforestation fires in NOAA-AVHRR imagen. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, n. 3, p. 583-597, 2007.

PEREIRA, A. D. C. J.; D'OUVIDIO, S. P. D. A bacia hidrográfica como unidade de gestão de estudo planejamento e gestão. In: Encontro nacional dos geógrafos, crises, práxis e autonomia: espaços de resistência e de esperança, espaços de diálogo e pratica-16., 2010, Porto Alegre, **Anais...**, Porto Alegre-RS: Associação dos geógrafos.

PIROVANI, D. B. et al. Análise espacial de fragmentos florestais na Bacia do Rio Itapemerim, ES. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 271-281, 2014.

RIBEIRO, M. C.; FIGUEIRA, J. E. C. Uma abordagem história do fogo no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais – Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, v. 1, n. 2, p. 364-372, 2011.

RIVERA-LOMBARDI, R. J. **Estudo da recorrência de queimadas e permanência de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do cerrado brasileiro, utilizando imagens TM/Landsat**. 2003. 172 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

ROY, D., LEWIS. P., E., JUSTICE C. O. Burned area mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data bi-directional reflectance model-based expectation approach. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 263-286, 2002.

RUDOLPHO, L. et al. Aplicação de técnicas de geoprocessamento e métricas da paisagem na análise temporal da cobertura florestal da Bacia do Ribeirão Fortaleza

em Blumenau/SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – 16., 2013, Foz do Iguaçu, **Anais...**, Florianópolis - SC: INPE, 2013.

SALAME, C. W. **Análise espaço-temporal da ocorrência de queimadas e desmatamento no estado do Pará no período de 1996 a 2004**. 2008. 67f. Dissertação (Mestrado em Estatística) - Universidade Federal do Pará, Pará.

SALAME, C. W. et al. Use of spatial regression models in the analysis of burnings and deforestation occurrences in forest region, Amazon, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 2, p. 273-295, 2015.

SCHÄFER, A. E. et al. Morphological characterization of eighteen lakes of the north and middle coast of Rio Grande do Sul, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 26, n. 2, p. 199-214, 2014.

SEPLAN. Secretária de Planejamento. **Atlas do Tocantins: Subsídios ao Planejamento da Gestão Territorial. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico**. 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/cCBJ3d>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

SOUSA, I. M. P.; ALVES, M. V. G. Quantificação de área queimada no Estado do Tocantins no período de 2003 a 2011 utilizando imagens do satélite TM/Landsat-5. **Revista Desafios**, v. 3, Suplemento, p.126-130, 2017.

TOBAR-TOSSE, D. E. et al. Caracterização de genótipos de soja-hortaliça por análise de componentes principais. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1214-1219, 2015.

TOCANTINS. Governo do Estado. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e queimadas do estado do Tocantins**. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/Nh9oS6>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

TORRES, F.T.P. Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 18, p. 162-171, 2006.

YAUN, F. PAUDEL, S. Assessing landscape changes and dynamic using patch analysis and GIS modelling. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 16, n. 1, p. 66-76, 2012.