

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DO PONTAL**

**TIAGO MOREIRA DE OLIVEIRA**

**MONITORAMENTO DOS FOCOS DE CALOR E DO RISCO DE INCÊNDIOS  
FLORESTAIS NO MUNICÍPIO DE ITUIUTABA-MG**

**Ituiutaba**

2019

**TIAGO MOREIRA DE OLIVEIRA**

**MONITORAMENTO DOS FOCOS DE CALOR E DO RISCO DE INCÊNDIOS  
FLORESTAIS NO MUNICÍPIO DE ITUIUTABA-MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia do Pontal – Área de Concentração: Produção do espaço e dinâmicas ambientais, do Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Uberlândia, como exigência parcial para obtenção do Título de Mestre em Geografia.

Linha de Pesquisa: Dinâmicas Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Roberto Rosa

**Ituiutaba**

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

O48m      Oliveira, Tiago Moreira de, 1990-  
2019      Monitoramento dos focos de calor e do risco de incêndios florestais  
no município de Ituiutaba-MG [recurso eletrônico] / Tiago Moreira de  
Oliveira. - 2019.

Orientador: Roberto Rosa.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-graduação em Geografia do Pontal.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.652>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Geografia. 2. Incêndios florestais - Ituiutaba (MG). 3. Incêndios  
florestais - Prevenção e controle. 4. Ituiutaba (MG) - Condições  
ambientais. I. Rosa, Roberto, 1960- (Orient.) II. Universidade Federal de  
Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Geografia do Pontal. III.  
Título.

---

CDU: 910.1

Gerlaine Araújo Silva - CRB-6/1408

**TIAGO MOREIRA DE OLIVEIRA**

**MONITORAMENTO DOS FOCOS DE CALOR E DO RISCO DE INCÊNDIOS  
FLORESTAIS NO MUNICÍPIO DE ITUIUTABA-MG**

Dissertação aprovada para obtenção do título de Mestre em Geografia no Programa de Pós-Graduação em Geografia do Pontal – Área de Concentração: Produção do espaço e dinâmicas ambientais – Linha de Pesquisa: Dinâmicas Ambientais, da Faculdade de Ciências Integradas do Pontal, Universidade Federal de Uberlândia, pela banca examinadora formada por:

---

Prof. Dr. Roberto Rosa (Orientador)-UFU/MG

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> . Roberto Barboza Castanho (Membro interno) - UFU/MG

---

Prof. Dr.<sup>a</sup> . Rejane Tavares Botrel (Membro externo) -UFERSA/RN

Ituiutaba, 21 de fevereiro de 2019

## AGRADECIMENTOS

---

Este espaço é dedicado a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a conclusão deste trabalho.

Em primeiro lugar eu agradeço a Deus pelo dom da vida, pelas forças que me foram concedidas em momentos difíceis e pela sabedoria em redigir esta dissertação.

Aos meus pais Railene Moreira do Nascimento e Nilo Godinho de Oliveira pelo amor, cuidado, pelas palavras de ânimo, por todo carinho e pelas orações, pois essa conquista não é minha apenas, mas também de vocês.

Aos meus tios Carlosmar, Elves e Hermes e minhas tias Ângela, Elizenice, Lusilene, e Raiane pelo apoio, por confiarem em meu potencial, por me incentivarem até o fim.

À minha vizinha Aurecy pela sua bondade, amor e principalmente, pela sua vida.

Ao meu avô Bolívar pelo apoio e incentivo, pela sua sabedoria e pela sua experiência de vida.

À minha tia Nely pelo apoio financeiro concedido a mim para que eu pudesse concluir os meus estudos desde o Ensino Fundamental até o Ensino Médio, pelos seus conselhos, pelas palavras de incentivo e por sempre acreditar em mim.

Aos meus tios Bolívar, Telmo e Eunice que são inspirações para mim, pois me mostraram que a educação transforma vidas.

Aos meus primos Alex, Amanda, Ângelo, Caio, Eblys, Joseane, Werllys por vocês existirem em minha vida.

Ao meu avô Hermes Jesus do Nascimento, *in memoriam*, que foi um grande educador e conseguiu tirar muitas pessoas do analfabetismo e enquanto esteve presente, sempre acreditou em meu potencial.

Aos meus colegas de graduação, especialmente Genilda, Karla e Kaíse, pela amizade e apoio de cada uma de vocês e por sempre acreditarem em meu potencial, são amizades que quero levar para a vida inteira.

Aos meus professores de graduação que me incentivaram a dar continuidade a área acadêmica.

Aos meus colegas de trabalho, entre eles: José Maria de Castro Jr. que me incentivou, foi compreensivo e foi flexível a fim de que eu pudesse conciliar o meu trabalho com a vida acadêmica e a Celi Aparecida da Silva machado que muitas vezes me orientou, incentivou, me acalmou, sempre acreditou em mim, me aconselhou nos momentos difíceis, sendo como uma mãe para mim.

Ao meu pastor Wellington Nunes e Ramona Couto pelo incentivo, pelas orações, pelos conselhos e por todos os momentos que vivemos juntos.

Aos meus irmãos da Igreja Adventista do Sétimo Dia, pelo apoio, incentivo, orações e saibam que vocês representam a minha segunda família.

À Dayane dos Santos pelo carinho, incentivo, pois muitas vezes nos momentos em que pensei que não seria capaz de continuar, encontrei em suas palavras incentivo para continuar seguindo em frente.

Ao meu professor orientador, Roberto Rosa, pela sua sabedoria, paciência, flexibilidade, disponibilidade em me atender, pois apesar da distância sempre se mostrou disponível em sanar as minhas dúvidas, direcionar a minha pesquisa através dos e-mails e das redes sociais e me tranquilizar nos momentos de tensão.

À professora Jussara dos Santos Rosendo e ao professor Roberto Castanho pelas grandes contribuições tanto na fase de apresentação do projeto quanto na qualificação, pois suas contribuições auxiliaram na conclusão deste trabalho.

À professora Rejane Tavares Botrel que aceitou prontamente o convite de fazer parte da defesa, pois a escolha do tema da minha pesquisa foi inspirada na disciplina de Incêndios Florestais, onde tive a grande oportunidade de ser seu aluno.

Aos professores Victor, Rildo, Maria Angélica, Leda e Gerusa.

A todos os meus colegas de graduação Alesca, Arnaldo, Alessandra, Ana Cláudia, Betânia, Bruna, Húrbio, Lucas, Jéssica, Maria Elizabeth, Marina, Noeme, Sandra, Thalita e Van Cássio, foi muito bom conhecer a cada um de vocês e obrigado pelo acolhimento que vocês tiveram comigo.

E, por último, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Pontal.

## RESUMO

---

O monitoramento de focos de calor e dos riscos de incêndios florestais são muito importantes para a identificação dos períodos, as condições meteorológicas e áreas mais suscetíveis a ocorrência de incêndios florestais, os quais causam prejuízos ambientais, sociais e econômicos. Nesse sentido, o trabalho teve como objetivo monitorar os focos de calor e o risco de incêndios florestais no município de Ituiutaba-MG. Para alcançar o objetivo proposto foram realizadas as seguintes etapas: 1- Quantificação dos focos de calor entre os anos de 2008 a 2017, os quais foram obtidos através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); 2-Correlação dos focos de calor com as condições meteorológicas (Temperatura °C, Precipitação (mm), Umidade Relativa do ar (%) e Velocidade do Vento (m/s) e com os Índices de Perigo de incêndios Florestais (Índice de Angstrom, Nesterov, Telicyn, Fórmula de Monte Alegre e Fórmula de Monte Alegre Alterada) entre os meses de maio a outubro de 2017. Esses dados foram obtidos através da Estação Meteorológica Automática de Ituiutaba-MG; 3- Obtenção do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada, utilizando-se as bandas 4 e 8 do satélite Sentinel-2 entre os meses de maio a outubro de 2017; 4- Cálculo do risco estrutural que corresponde aos fatores que não variam ao longo do tempo. Foram considerados os seguintes fatores: distância de estradas e área urbana, uso da terra e cobertura vegetal, hipsometria, declividade e orientação das encostas; 5- cálculo do risco dinâmico que tem relação com o potencial de ignição do material combustível, sendo formado por três fatores: Precipitação, Déficit hídrico e NDVI no período de maio a outubro de 2017; 6- cálculo do risco integrado que associa o risco estrutural e dinâmico. Verificou-se que os meses de julho, agosto e setembro apresentaram as maiores quantidades de focos de calor acumulados, 320, 406 e 563, respectivamente. As condições meteorológicas que tiveram as maiores correlações significativas com os focos de calor foram a umidade relativa do ar e a velocidade do vento. Porém, não houve correlação significativa com os índices de perigo de incêndio florestal. Com relação ao NDVI os meses de agosto (0,25) e outubro (0,24) apresentaram os menores valores. E, por último, na análise do risco integrado verificou-se que os maiores riscos de ocorrência de incêndios florestais foram apresentados nos meses de maio, agosto, setembro e outubro.

**Palavra-chave:** Correlação. Focos de calor. Risco Integrado

## ABSTRACT

---

The monitoring of heat foci and the risks of forest fires are very important for the identification of the periods, the weather conditions and areas most susceptible to the occurrence of forest fires, which cause environmental damage, Social and economic. In This sense, the objective of this work was to monitor the heat foci and the risk of forest fires in the municipality of Ituiutaba-MG. To achieve the proposed objective, the following steps were performed: 1-Quantification of heat foci between the years 2008 to 2017, which were obtained through the National Institute of Spatial Research (INPE); 2-Correlation of heat foci with weather conditions (Temperature °c, Precipitation (mm), Relative Humidity (%) and Wind Velocity (m/s) and with the Forest Fire Hazard Indexes (Angstron Index, Nesterov, Telicyn, Monte Alegre Formula and Modified Monte Alegre Formula) between May and October 2017. These data were obtained through the Automatic Meteorological Station of Ituiutaba-MG; 3-Obtaining The Normalized Difference Vegetation Index, using bands 4 and 8 of the Sentinel-2 satellite between May and October 2017; 4-Calculation of the structural risk that corresponds to factors that do not vary over time. The following factors Were considered: distance of roads and urban area, land use and vegetation cover, hipsometria, slope and orientation of the slopes; 5-Calculation of the dynamic risk that is related to the ignition potential of the combustible material, consisting of three factors: Precipitation, water Deficit and NDVI in the period from May to October of 2017; 6-Calculation of the integrated risk that associates the structural and dynamic risk. It was Found that the months of July, August and September showed the highest amounts of accumulated heat foci, 320, 406 and 563, respectively. The meteorological conditions that had the highest significant correlations with the heat foci were the relative humidity of the air and the wind velocity. However, there was no significant correlation with the forest fire hazard indexes. Regarding NDVI, the months of August (0.25) and October (0.24) presented the lowest values. Finally, in the analysis of the integrated risk it was verified that the greatest risks of occurrence of forest fires were presented in the months of May, August, September and October.

**Keywords:** Correlation. Heat foci. Integrated risk



## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1. Mapa de Localização do Município de Ituiutaba-MG.....	20
Figura 2. Triângulo do Fogo .....	21
Figura 3. Tipos de Incêndio Florestais .....	24
Figura 4. Partes que compõem um incêndio florestal .....	26
Figura 5. Distribuição do bioma Cerrado no Brasil .....	34
Figura 6. Fisionomias do Cerrado.....	35
Figura 7. Processamento Digital das Imagens Sentinel-2 através do plugin SCP com a aplicação da correção atmosférica .....	68
Figura 8. Representação do cálculo do NDVI no Qgis 2.18.24 .....	69
Figura 9. Etapas para extração do NDVI para o município de Ituiutaba-MG.....	69
Figura 10. Valores de NDVI entre os meses de maio a outubro de 2017 .....	70
Figura 11. Rodovias federais, estaduais e estradas municipais e vicinais no município de Ituiutaba-MG .....	73
Figura 12. Classes de uso da terra e cobertura vegetal.....	74
Figura 13. Fluxograma com todas as etapas para elaboração do Mapa de Risco Estrutural.....	77
Figura 14. Mapa de Estradas e Áreas urbanas do município de Ituiutaba-MG.....	79
Figura 15. Mapa do uso e Ocupação da Terra do Município de Ituiutaba-MG .....	81
Figura 16. Mapa Hipsométrico do município de Ituiutaba-MG .....	83
Figura 17. Mapa de Declividade do município de Ituiutaba-MG .....	85
Figura 18. Mapa de orientação das encostas do Município de Ituiutaba-MG .....	87
Figura 19. Mapa de Suscetibilidade ao fogo dos riscos estruturais para o município de Ituiutaba-MG .....	89
Figura 20. Mapa de Risco Estrutural para o município de Ituiutaba-MG .....	91
Figura 21. Etapas realizadas para elaboração do mapa de risco dinâmico.....	97
Figura 22. Mapa de Riscos dinâmicos do município de Ituiutaba-MG entre os meses de maio a outubro de 2017 .....	103
Figura 23. Fluxograma das etapas para elaboração dos mapas de risco integrado .....	107
Figura 24. Mapa de Risco Integrado para o município de Ituiutaba-MG entre maio a outubro de 2017 .....	108

## LISTA DE GRÁFICOS

---

Gráfico 1.Quantificação anual dos focos de calor .....	47
Gráfico 2. Distribuição mensal total dos focos de calor no município de Ituiutaba-MG no período de 2008 a 2017. A linha em vermelho representa os dados de focos de calor por mês. A linha tracejada representa a função polinomial ajustada. ....	49
Gráfico 3.Climograma da Estação Meteorológica de Ituiutaba (2008-2017) .....	53
Gráfico 4.Umidade Relativa do Ar para o município de Ituiutaba-MG (2008-2017).....	53
Gráfico 5.Velocidade do vento para o município de Ituiutaba-MG (2008-2017) .....	54
Gráfico 6.Extrato do Balanço Hídrico para o município de Ituiutaba-MG (2008-2017) .....	55
Gráfico 7.Precipitações médias e focos de calor registrados entre os anos de 2008 a 2017 ....	57
Gráfico 8.Focos de calor registrados entre os meses de maio a outubro de 2017.....	64
Gráfico 9.Área ocupada pelo uso da terra e cobertura vegetal nativa .....	80
Gráfico 10.Área ocupada pelas classes de hipsometria.....	82
Gráfico 11.Área ocupada pelas classes de declividade .....	84
Gráfico 12.Área ocupada pelas classes de orientação das encostas .....	86
Gráfico 13.Área ocupada pelas classes de risco estrutural .....	90
Gráfico 14.Precipitações mensais acumuladas no ano de 2017 no município de Ituiutaba-MG .....	98
Gráfico 15.Distribuição espacial da precipitação no município de Ituiutaba-MG entre maio a outubro de 2017 .....	99
Gráfico 16.Déficit hídrico do município de Ituiutaba no ano de 2017.....	99
Gráfico 17.Distribuição espacial do déficit hídrico no município de Ituiutaba-MG entre maio a outubro de 2017 .....	100
Gráfico 18.Área ocupada por classes de NDVI.....	101
Gráfico 19. Áreas ocupadas pelas classes de risco dinâmico .....	104
Gráfico 20.Área ocupada pelas classes de risco integrado para o município de Ituiutaba-MG entre maio a outubro de 2017. ....	109

## LISTA DE QUADROS

---

Quadro 1.Fases da Combustão .....	22
Quadro 2.Índices espectrais e suas respectivas equações.....	44

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1.Características dos satélites empregados no monitoramento de incêndios florestais	46
Tabela 2.Focos de calor detectados entre 2007 e 2016 no PNCD e entorno pelos satélites NOAA e AQUA/TERRA MODIS.....	47
Tabela 3. Variáveis do balanço hídrico da Estação Automática de Ituiutaba-MG, médias mensais do período de 2008 a 2017.....	54
Tabela 4.Duração da estação seca e chuvosa (2008-2017) .....	56
Tabela 5.Coefficientes de Correlação de Pearson entre os focos de calor e a Temperatura (°C), Precipitação (mm), Umidade Relativa do ar (%) e Velocidade do Vento (m/s) .....	56
Tabela 6.Escala de Interpretação do Índice de Telicyn .....	59
Tabela 7.Restrições para o cálculo do Índice de Nesterov .....	60
Tabela 8.Interpretação para o cálculo do Índice de Nesterov.....	60
Tabela 9.Influência da precipitação no cálculo da FMA .....	61
Tabela 10.Interpretação dos resultados da FMA .....	61
Tabela 11.Influência da precipitação diária no cálculo da FMA+ .....	62
Tabela 12.Interpretação dos resultados da FMA <sup>+</sup> .....	62
Tabela 13.Índice de Angstron (B) registrado para os meses de maio a outubro de 2017 .....	62
Tabela 14.Índice Logarítmico de Telicyn (I) registrado para os meses de maio a outubro de 2017 .....	63
Tabela 15.Índice de Nesterov (G) registrado para os meses de maio a outubro de 2017 .....	63
Tabela 16.Fórmula de Monte Alegre (FMA) registrada para os meses de maio a outubro de 2017 .....	63
Tabela 17.Fórmula de Monte Alegre (FMA <sup>+</sup> ) registrada para os meses de maio a outubro de 2017 .....	64
Tabela 18.Coefficientes de correlação entre os índices de Perigo de Incêndio Florestal com os focos de calor no período de maio a outubro de 2017.....	65
Tabela 19.Descrições das bandas multiespectrais do sensor MSI/Sentinel-2 .....	67
Tabela 20.Pontos/órbita das imagens do Sentinel-2 obtidas entre maio a agosto de 2017 .....	68
Tabela 21.NDVI mensais registrados entre os meses de maio a outubro de 2017.....	70
Tabela 22.Risco de incêndio florestal associado à proximidade das rodovias no município de Ituiutaba-MG .....	72

Tabela 23.Risco de incêndio florestal associado uso da terra e cobertura vegetal no município de Ituiutaba-MG .....	74
Tabela 24.Risco de incêndio florestal associado a orientação das vertentes.....	75
Tabela 25.Risco de incêndio florestal associado a hipsometria .....	75
Tabela 26.Risco de incêndio florestal associado a orientação das vertentes.....	76
Tabela 27.Área ocupada pelas classes de distância das estradas e áreas urbanas Distância das Estradas e Áreas Urbanas para o município de Ituiutaba-MG .....	78
Tabela 28.Área ocupada pelo uso da terra e cobertura vegetal nativa .....	80
Tabela 29.Área ocupada pelas classes de hipsometria .....	82
Tabela 30.Área ocupada pelas classes de declividade.....	84
Tabela 31.Área ocupada pelas classes de orientação das encostas.....	86
Tabela 32.Área ocupada pelas classes de risco estrutural .....	90
Tabela 33.Classes, níveis de susceptibilidade e coeficientes de precipitação .....	95
Tabela 34.Classes, níveis de susceptibilidade e coeficientes de déficit hídrico .....	95
Tabela 35.Classes, níveis de susceptibilidade e coeficientes de NDVI.....	96
Tabela 36.Distribuição espacial da precipitação no município de Ituiutaba-MG entre maio a outubro de 2017.....	98
Tabela 37.Distribuição espacial do déficit hídrico no município de Ituiutaba-MG entre maio a outubro de 2017 .....	100
Tabela 38.Área ocupada por classes de NDVI.....	101
Tabela 39.Áreas ocupadas pelas classes de risco dinâmico .....	104
Tabela 40.Área ocupada pelas classes de risco integrado para o município de Ituiutaba-MG entre maio a outubro de 2017. ....	109

## LISTA DE SIGLAS

---

AGRITEMPO	Sistema de Monitoramento Agrometeorológico
ASTER	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i>
AVHRR	Radiômetro Avançado de Alta Resolução
B	Índice de Angstron
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DOS	<i>Dark Object Subtraction</i>
EUMETSAT	<i>Europe's Meteorological Satellite Organization</i>
FBDS	Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável
FMA	Fórmula de Monte Alegre
FMA+	Fórmula de Monte Alegre Alterada
G	Índice de Nesterov
GPM	Global Precipitation Measurement
I	Índice de Telicyn
IAF	Índice de Área Foliar
IDE	Infraestrutura de Dados Espaciais
IEF	Instituto Estadual de Florestas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JAXA	Agência Japonesa de Exploração Espacial
MDE	Modelo Digital de Elevação
MSI	<i>Multispectral Instrument</i>
METEOSAT	<i>Meteorological Satellite</i>
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
NDBR	Índice de Queima Normalizada
NDVI	Índice de Vegetação de Diferença Normalizada
NDWI	Índice de Água da Diferença Normalizada
NESDIS	<i>National Environmental Satellite and Information Service</i>
NOAA	<i>National Oceanic Atmospheric Administration</i>
RD	Risco Dinâmico

RE	Risco Estrutural
RI	Risco Integrado
SAVI	Índice de Vegetação Ajustado para o Solo
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SISEMA	Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
TOVS	Sondador Vertical Operacional Tiros
TRMM	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>

## SUMÁRIO

---

1. INTRODUÇÃO .....	16
1.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	21
2.1. Conceitos básicos relacionados ao fogo e tipos de incêndios florestais.....	21
2.2. Fatores que influenciam na origem e propagação de um incêndio florestal .....	26
2.3. O Cerrado e os incêndios florestais.....	31
2.4. Sensoriamento remoto e detecção de incêndios florestais .....	35
2.5. Avaliação do risco de incêndios florestais .....	40
2.5.1. Mapeamento de Risco de Incêndios Florestais .....	40
2.5.2. Índices de Perigo de Incêndio .....	42
2.5.3. Índices de vegetação.....	43
3. QUANTIFICAÇÃO DOS FOCOS DE CALOR .....	45
3.1. Procedimentos metodológicos.....	46
3.2. Resultados e Discussão .....	46
4. CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E FOCOS DE CALOR .....	50
4.1. Procedimentos metodológicos.....	50
4.2. Resultados e Discussão .....	52
5. ÍNDICES DE PERIGO DE INCÊNDIO FLORESTAL .....	58
5.1. Procedimentos metodológicos.....	58
5.2. Resultados e Discussão .....	62
6. ÍNDICE DE DIFERENÇA DE VEGETAÇÃO NORMALIZADA (NDVI).....	66
6.1. Procedimentos metodológicos.....	67
6.2. Resultados e Discussão .....	70
7. RISCO ESTRUTURAL DE INCÊNDIO FLORESTAL .....	72
7.1. Procedimentos Metodológicos .....	72
7.2. Resultados e Discussão .....	78
8. RISCOS DINÂMICOS DE INCÊNDIO FLORESTAL .....	93
8.1. Procedimentos metodológicos.....	94
8.2. Resultados e Discussão .....	98
9. RISCO INTEGRADO DE INCÊNDIO FLORESTAL.....	106
9.1. Procedimentos metodológicos.....	106
9.2. Resultados e Discussão .....	107
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	111
REFERÊNCIAS .....	113



## 1. INTRODUÇÃO

---

O fogo foi a primeira fonte de energia natural dominada pelo homem, o qual era utilizado para fins religiosos, guerras, comunicação, caça, no preparo de terreno para plantações e na preparação de alimentos (PARIZOTTO, 2006). Quando o fogo é bem conduzido, mediante planejamento, sua utilização gera benefícios ao homem e ao meio ambiente. Contudo, a má utilização do fogo tem ocasionado efeitos deletérios ao meio ambiente.

Gobbo et al. (2016) afirmam que os incêndios florestais são uma realidade no mundo todo e que são complexos e difíceis de serem combatidos, devido as peculiaridades de cada área. A atividade antrópica é responsável pela maior parte dos incêndios florestais. Além disso é importante ressaltar que as condições meteorológicas influenciam diretamente na ocorrência de incêndios florestais, tais como: a temperatura do ar e do solo, a umidade relativa do ar, a precipitação, a radiação solar, a pressão atmosférica, a velocidade do vento (WHITE et al., 2014)

De acordo com Herawati e Santoso (2011), os incêndios florestais geram problemas em escalas local, regional e global. Do ponto de vista local, causam a degradação da cobertura vegetal, da biodiversidade, prejuízos financeiros, além de provocar perda de vidas; do ponto de vista regional, a fumaça proveniente dos incêndios ocasiona problemas de saúde e prejudica os meios de transporte; e por último, em escala global aumenta a emissão de carbono na atmosfera, trazendo alterações no clima planetário.

Portanto, o conhecimento a respeito do poder de destruição dos incêndios florestais gera a necessidade de se estabelecer ações de prevenção e combate (WHITE et al., 2016). O Estado é responsável pela gestão do controle de queimadas. Porém, essa gestão deve ser fundamentada com informações e dados estatísticos que possibilitem a eficiência nas ações de prevenção e controle de queimadas (PEREIRA, 2009). Entre as informações que podem ser utilizadas na prevenção de incêndios florestais, pode-se destacar os índices de perigo de incêndio florestal, assim como o mapeamento de áreas de maior risco (VETTORAZZI; FERRAZ, 1998).

No que tange aos índices de perigo florestal), baseiam-se nas condições climatológicas (umidade relativa, temperatura do ar, precipitação) a fim de determinar as condições da vegetação, pois a determinação direta da umidade da vegetação é mais complexa e as amostragens espaciais possuem um custo elevado (NARCISO et al., 2009).

Quanto ao mapeamento, Eugenio et al. (2011) afirmam que a utilização de geotecnologias facilita a confecção de mapas das áreas a serem protegidas, bem como na otimização do período hábil de fiscalização do cumprimento da legislação. Diante disso, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) constitui uma ferramenta capaz de fazer a simulação

de diferentes processos ambientais em diversas maneiras de modo simplificado e eficiente, permitindo economia de tempo e recursos, pois as simulações permitem a agregação de dados de diferentes fontes (imagens de satélite, mapas topográficos, mapas de uso e ocupação da terra, dentre outros) (GOBBO et al., 2016). O resultado disso é a geração de mapas temáticos com as informações desejadas.

No município de Ituiutaba-MG é frequente a ocorrência de incêndios florestais causando prejuízos ambientais à flora, fauna e a população. Ademais o município de Ituiutaba abrange parte do Refúgio Estadual de Vida Silvestre dos Rios Tijuco e da Prata, uma Unidade de Conservação de Proteção Integral.

Diante disso, surge a necessidade de gerar conhecimento para as áreas com maior probabilidade de ocorrência de incêndios florestais, através da criação de métodos que permitam a identificação das áreas que apresentem maior risco, em função das características climáticas, ocupação do solo, dentre outros, bem como gerar índices de perigo de incêndios florestais, facilitando o monitoramento dos mesmos.

Essas informações auxiliam no sentido da criação de um banco de dados que sirva de subsídio para definição das estratégias de combate, controle e prevenção, economizando tempo e utilização de recursos. Diante disso, a pesquisa tem como objetivo geral: Monitorar os focos de calor e o risco de incêndios florestais no município de Ituiutaba-MG. Quanto aos objetivos específicos têm-se:

- a) Quantificar a distribuição mensal de focos de calor durante o período de 2008 a 2017.
- b) Correlacionar os focos de calor com as variáveis climáticas;
- c) Correlacionar os focos de calor com os índices de perigo de incêndio florestal.
- d) Determinar o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) entre os meses de maio a outubro de 2017;
- e) Monitoramento do risco integrado de incêndios florestais entre os meses de maio a outubro de 2017;

A dissertação está estruturada de modo que o capítulo 1 apresenta a Introdução, juntamente com a justificativa e os objetivos gerais e específicos e a localização da área de estudo.

O segundo capítulo traz o embasamento teórico da pesquisa, onde foi abordado sobre os conceitos básicos relacionados ao fogo e tipos de incêndios florestais; fatores que influenciam na origem e propagação dos incêndios florestais; cerrado e os incêndios florestais; sensoriamento remoto e detecção de incêndios florestais e avaliação do risco de incêndios florestais.

O terceiro capítulo trata a respeito da quantificação dos focos de calor, o quarto sobre a correlação entre as variáveis climáticas e focos de calor, o quinto sobre os índices de perigo de incêndio florestal, o sexto sobre o Índice de Diferença Normalizada, o sétimo sobre o Risco Estrutural, o oitavo sobre os riscos dinâmicos e o nono sobre os riscos integrados de incêndios florestais. Sendo que para cada um dos capítulos foram abordados os procedimentos metodológicos e os resultados obtidos. O décimo capítulo traz as considerações finais com a síntese dos resultados obtidos e as referências com a relação das fontes consultadas e citadas na pesquisa.

## 1.1.LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

---

O município de Ituiutaba está localizado no Estado de Minas Gerais (Figura 6), na Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e na Microrregião de Ituiutaba, a qual compreende os municípios de Cachoeira Dourada, Gurinhatã, Capinópolis, Ipiaçu, Santa Vitória e Ituiutaba, sendo o último, sede da Microrregião (SILVA; CASTANHO, 2011). A extensão territorial do município pesquisado é de 2.587 km<sup>2</sup> e possui 97.111 habitantes. (IBGE, 2010).

A área de Ituiutaba é composta por duas grandes bacias hidrográficas que abrangem cerca de 95,18% do seu território: Bacia Hidrográfica do Rio Tijuco e da Prata (MARTINS e COSTA, 2014).

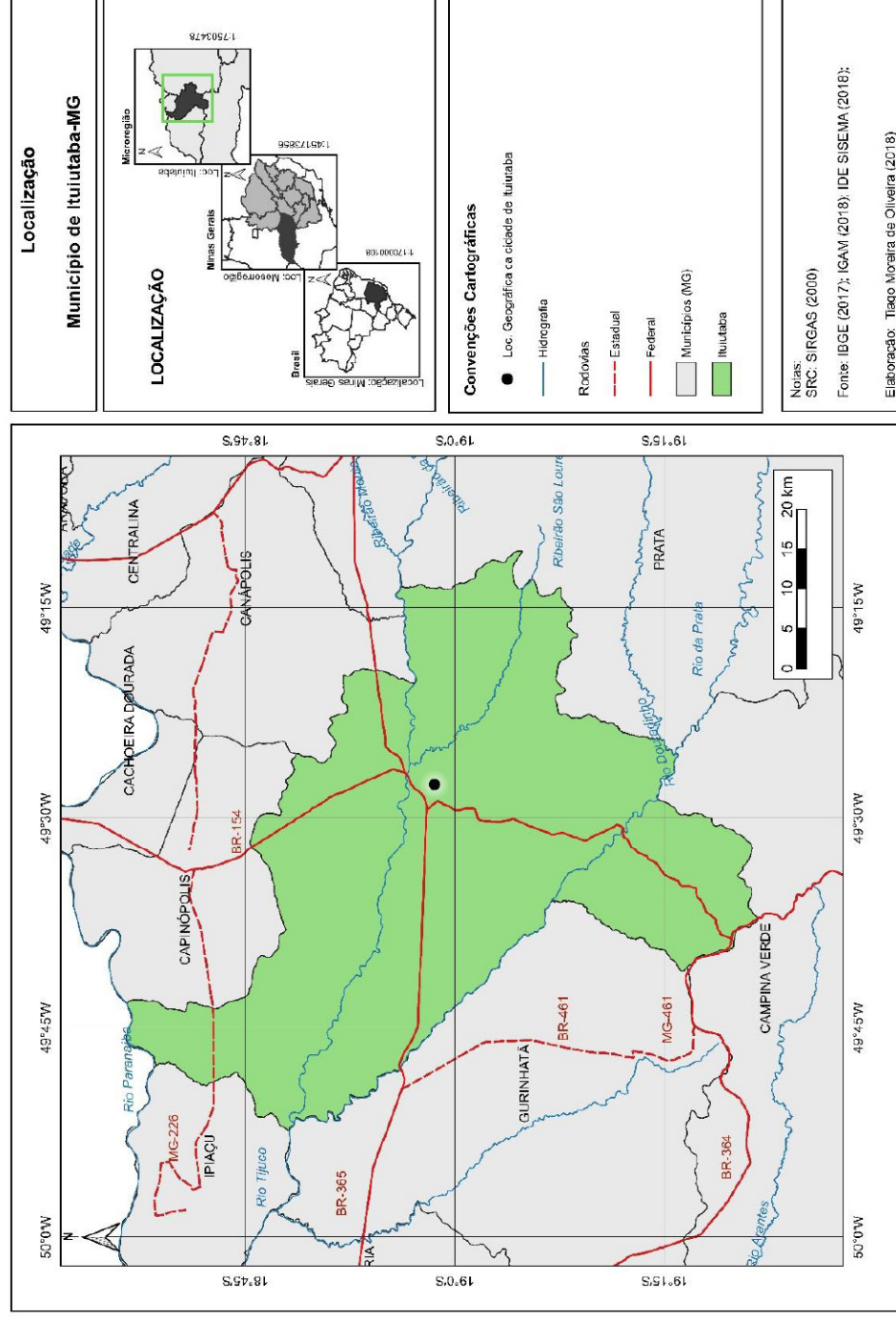
Ituiutaba, do ponto de vista morfológico, está localizada na morfoestrutura da Bacia Sedimentar do Paraná, mais precisamente próximo a borda, e em relação a morfoescultura se insere no Planalto Setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná. O tipo de relevo é típico de Bacia Sedimentar. Devido a isso tem uma gênese e evolução particular, sendo denominado de Tabuliforme (SILVA e MIYAZAKI, 2016).

Para Casseti (2005) esse tipo predominante de relevo no município tem como características camadas sedimentares horizontais, ou sub-horizontais, as quais correspondem a chapadas, chapadões e tabuleiros que lembram a presença de mesa, uma extensão de mesa ou tabuleiros mantidos por camadas basálticas ou sedimentos mais resistentes. Os tipos de solo presentes são: o gleissolo melânico, neossolo litólico, argissolo vermelho-amarelo, nitossolo vermelho e o latossolo vermelho, sendo o último o mais predominante (MARTINS e COSTA, 2014).

Quanto ao clima, Köppen o classificou como Aw, megatérmico: tropical com verão chuvoso (Outubro a Abril) e inverno seco (Maio a Setembro). As temperaturas oscilam entre 14°C, comum no mês de Junho, a 31°C em Dezembro. Ituiutaba possui um dos maiores acúmulos pluviométricos da região, tendo variado de 10.800 a 10.000 mm o índice de chuvas acumuladas para sete anos, no recorte temporal de 2002 a 2008 (PRADO; SOUSA, 2010).

O município de Ituiutaba está localizado entre dois Biomas: Cerrado e Mata Atlântica (IBGE, 2016). Em relação à vegetação o município possui, em quase toda a sua totalidade, o Cerrado *strictu sensu*. Porém, é comum encontrar, nas áreas mais baixas, as veredas, caracterizadas por solos mal drenados e o acúmulo de água, formando as nascentes das áreas de Cerrado e nas partes mais altas, em solos mais desenvolvidos encontra-se o Cerradão. Além disso, há resquícios de Mata Atlântica. (COSTA, 2011 e PEREIRA et al., 2009).

Figura 1. Mapa de Localização do Município de Itiutaba-MG



## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Conceitos básicos relacionados ao fogo e tipos de incêndios florestais

A compreensão dos conceitos básicos relacionados ao fogo, como o tipo de reação envolvida, as fases e os elementos constituintes dessa reação são imprescindíveis para a definição de técnicas de combate e prevenção dos incêndios florestais (REFERÊNCIA).

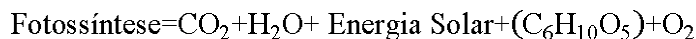
Dias Filho (2016) conceitua o fogo como uma reação físico-química denominada combustão, havendo liberação de luz e calor, sendo que a ocorrência dessa reação está condicionada a três elementos: combustível, calor e oxigênio, os quais constituem o triângulo do fogo (Figura 1). Vale lembrar que essa reação é considerada exotérmica por haver a liberação de calor, além disso, o fogo ou processo de combustão é causado por uma energia de ativação, e por ser uma reação de oxidação muito rápida, pode ser considerado um agente veloz de decomposição (CODEVASF, 2010).

Figura 2. Triângulo do Fogo



Fonte: Corpo de Bombeiros/PR (UOV, 2004) *apud* CODEVASF (2010)

A combustão é considerada uma reação inversa da fotossíntese:



Quando uma substância combustível é submetida a ação do calor, suas moléculas se movimentam de modo mais rápido. À medida que o calor aumenta, há a possibilidade de liberação de gases, os quais ao se inflamarem, formarão as chamas, dando início à combustão. Uma vez iniciada a combustão, os gases nela envolvidos reagem em conjunto, abastecendo a combustão, além da transmissão de calor entre as partículas no combustível. Porém, se a reação for interrompida, não poderá continuar o fogo (CODEVASF, 2010).

É importante destacar que a combustão da madeira é formada por três etapas: pré-aquecimento; combustão dos gases e combustão do material lenhoso. A fase de pré-aquecimento, corresponde a fase em que o combustível é aquecido, através de uma fonte de ignição e à medida que a temperatura da superfície do combustível alcança a temperatura de ebulição da água (100 °C) provoca o desprendimento de gases, entre eles o vapor d'água. Acima de 100°C o processo de dessecação alcança o interior da madeira e ao se aproximar dos 300°C ocorre alteração na cor do combustível e o início da pirólise (decomposição térmica) (IBAMA, 2010).

A fase de combustão de gases se inicia após a ignição. Uma chama difusora cobre rapidamente toda a superfície sob a ação da pirólise e evita o contato dessa superfície com o oxigênio. No entanto, a chama aquece a superfície do galho e aumenta a velocidade da pirólise. Todavia, se a fonte de calor for retirada, a combustão somente terá continuidade se o diâmetro do galho for em média inferior a 2 cm (IBAMA, 2010).

A última etapa, combustão do material lenhoso, ocorre após o término da fase anterior, tendo em vista que a parte carbonizada serve de isolante térmico, retardando a pirólise, lembrando que isso ocorre em função da espessura do material lenhoso. Terminada a combustão de gases, ocorre o contato do oxigênio com a parte carbonizada, dando continuidade à combustão (IBAMA,2010). A seguir estão descritas resumidamente no quadro 1 as etapas da combustão.

Quadro 1.Fases da Combustão

Fase	Temperatura °C	Processo
Pré-aquecimento	< 100	Dessecação do material lenhoso, desprendimento de vapor de água até a desidratação completa.
	100 a 270	Destilação do material lenhoso, desprendimento de gases combustíveis, emissão de CO <sub>2</sub> .
Combustão de gases	270 a 350	Presença de CO <sub>2</sub> , início de formação de carvão vegetal, desprendimento de energia >300 Kcal/Kg.
	350 a 500	Continua a combustão.
Combustão do material lenhoso	500 a 800	Esgotamento da emissão de gases, combustão lenta do carvão vegetal.
	800 a 1.200	Combustão completa.

Fonte: IBAMA (2010)

Org.: OLIVEIRA, T.M.O.,2018

Além das reações envolvidas na combustão, o conhecimento dos elementos constituintes da combustão contribui para o manejo do fogo, combate e prevenção do incêndio, tendo em vista que a ausência de um dos elementos impossibilita o surgimento do fogo e dentre esses elementos, destacam-se o combustível, o calor e o oxigênio.

O combustível é definido como toda a substância com capacidade de queima e de alimentar a combustão, isto é, o elemento pelo qual o fogo se propaga. Quanto ao calor é definido como a forma de energia, resultante de um processo químico ou físico, que aumenta a temperatura gerada da transformação de outras energias; o oxigênio é o elemento que reage com o combustível e participa da reação química da combustão ao possibilitar o surgimento das chamas e dar intensidade à combustão. A sucessão de reações provocadas por um elemento ou um conjunto de elementos, que podem ou não ser diferentes, corresponde a reação em cadeia (ARAÚJO, 2007).

Além dos elementos constituintes do fogo, é importante compreender que existe uma distinção entre queima controlada e os incêndios florestais. A queima controlada é conceituada como o fogo decorrente de uma prática agropastoril ou florestal, onde é utilizado de modo controlado, atuando como fator de produção. De acordo com o art. 1º, §2º, I, II e III da Resolução Conjunta SEMAD/IEF nº2.075 do estado de Minas Gerais:

Admite-se o uso do fogo, mediante autorização emitida pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável-Semad, através das Superintendências Regionais de Regularização Ambiental-Suprams e seus respectivos Núcleos Regionais de Regularização Ambiental –NRRA, por ato autorizativo denominado: Autorização de Queima Controlada, que estabelecerá os critérios de uso, monitoramento e controle, nos seguintes casos:

I - em área cuja peculiaridade justifique o emprego do fogo em prática agropastoril ou fitossanitária, para cada imóvel rural ou de forma regionalizada;

II - em Unidades de Conservação de Uso Sustentável, na queima controlada, em conformidade com o respectivo plano de manejo e mediante prévia aprovação do órgão gestor da Unidade de Conservação, visando ao manejo conservacionista da vegetação nativa, cujas características ecológicas estejam associadas evolutivamente à ocorrência do fogo;

III- em atividades vinculadas a pesquisa científica devidamente aprovada pelos órgãos ambientais competentes e realizada por instituição de pesquisa reconhecida;

IV - em práticas de prevenção e combate aos incêndios florestais (MINAS GERAIS, 2014)

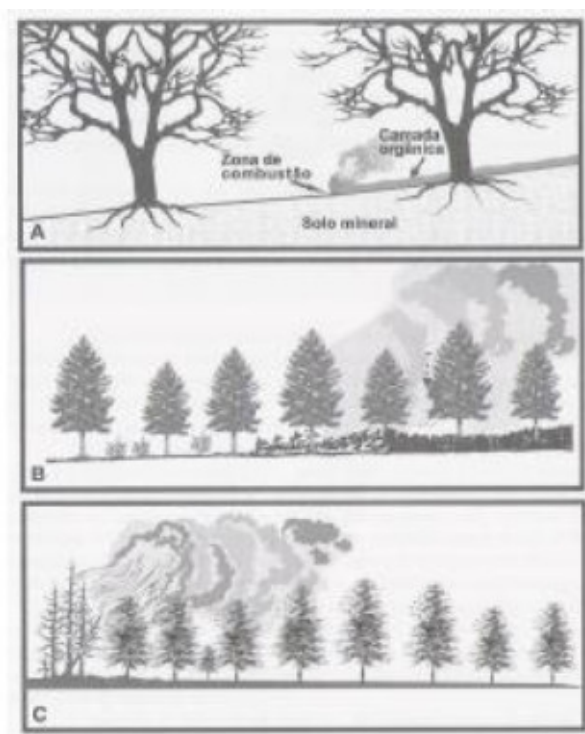
Isto é, para a queimada controlada existe previsão legal para os seguintes casos: fator de produção de produção em atividades agropastoris, controle fitossanitário; em Unidades de Conservação de Uso Sustentável, de acordo com o seu respectivo Plano de Manejo; para as



atividades de pesquisa científica e nas práticas de combate a incêndios florestais (REFERÊNCIA).

O incêndio florestal, por sua vez, é definido como fogo incontrolável que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo ser provocado pelo homem ou por fonte natural (CODEVASF, 2010). Segundo Silva (1998), há três tipos de incêndios florestais: superficial, de copa e subterrâneo (Figura 2), sendo que nos incêndios florestais a temperatura pode variar de 50°C a >1.500°C, assim como a liberação de calor que pode variar de 2.110 J.Kg<sup>-1</sup> até > 2 milhões de J.Kg<sup>-1</sup> (kW. m<sup>-1</sup> = taxa de liberação de calor por metro linear na frente do fogo), ao passo que a taxa de propagação varia de 0,5 m. semana<sup>-1</sup> no incêndio subterrâneo até mais de 7 km.h<sup>-1</sup> nos grandes incêndios de copa (BOND e VAN WILGEN, 1996; MICHALETZ e JOHNSON, 2007 *apud* LIENSEFELD et al., 2016).

Figura 3. Tipos de Incêndio Florestais



A: Incêndio subterrâneo; B: incêndio superficial e C: incêndio de copa  
Fonte: Soares e Batista (2007)

Os incêndios superficiais, conhecidos também como fogo de superfície, são aqueles que atingem a camada superficial, o piso florestal, que contém a serapilheira, isto é, conjunto de folhas, galhos, restos vegetais não decompostos que estão na superfície do solo até 1,80 metros de altura. Esses materiais são geralmente inflamáveis, principalmente durante a estação seca,

por isso o incêndio florestal possui uma propagação rápida com produção de chamas, porém é mais fácil de ser combatido (CODEVASF, 2010).

Pausas e Ribeiro (2013) afirmam que os incêndios superficiais podem ser o tipo de incêndio mais comum e, do ponto de vista mundial, é considerado extremamente seletivo em virtude de sua intensidade baixa ou moderada, não implicando em um impacto total às plantas, havendo a possibilidade de exercer uma maior pressão do ponto de vista evolutivo comparando-se aos outros tipos de incêndio.

Ao longo do sub-bosque da floresta o fogo avança devagar, aumentando a sua intensidade em regiões campestres, consequentemente, as taxas de permanência associada às plantas são mais prolongadas, afetando a base dos troncos, as folhas das copas mais baixas, plântulas e indivíduos jovens (PERES, 1999; BARLOW et al., 2003; COCHRANE, 2003; MICHALETZ et al., 2012; BALCH et al., 2013). Ademais, Michaletz e Johnson (2007) e Massman et al. (2010) afirmam que parte da temperatura do incêndio superficial pode ser transferida para o subsolo, intervindo no banco de sementes e as raízes.

Quanto aos incêndios de copa ou de substituição é considerado o fogo de maior intensidade, seu impacto em florestas coníferas pode atingir 50.000 kW.m<sup>-1</sup> e a sua propagação pode atingir áreas superiores a 100.000 ha (GILL e ALLAN, 2008). Segundo Liesenfield e Miranda (2016) esse tipo de incêndio causa uma destruição da biomassa aérea da floresta, mesmo de árvores de alturas superiores a 30m. Isso decorre pelo acúmulo de material combustível na parte aérea, os quais passam a ser mais propensos quando há incêndios de grande intensidade. Mota (2008) considera incêndios de copa, aqueles cujas alturas são superiores a 1,80 m, os quais se propagam mais rapidamente e com maior intensidade devido a intensa circulação dos ventos.

E, por último, os incêndios subterrâneos são aqueles que ocorrem abaixo da superfície do solo, devido ao acúmulo de matéria orgânica, húmus ou turfa em tipos específicos de floresta. Os tipos de solo onde são produzidos esses incêndios caracterizam-se pelo alto teor de umidade, os quais se secam e se aquece mais facilmente possibilitando a ocorrência de grandes incêndios (CBPM- SP, 2006).

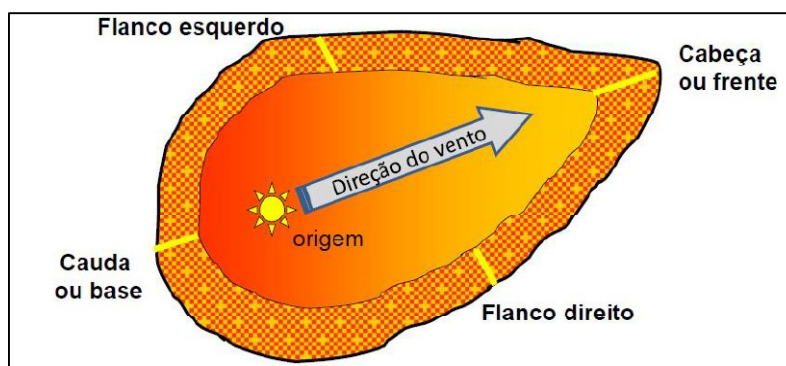
Liesenfield e Miranda (2016) afirmam que durante o incêndio subterrâneo há combustão de camadas subterrâneas de matéria orgânica, por meio da combustão sem chama ou fogo latente (*smouldering*: tipo de fogo em que não há emissão visível de chama pelo fato do combustível queimar internamente como brasa). A taxa de propagação é lenta podendo se manter por meses ou anos. Sua temperatura é inferior ao incêndio superficial, sendo que varia de 500°C a 700°C para os picos de temperatura e 200°C para as médias. De acordo com Rein

et al. (2008) a ocorrência pode levar a ignição do fogo de superfície ao longo de sua área de propagação. Cochrane (2003) afirma que as emissões de carbono deste tipo de incêndio são bastante intensas e superam os 300 Mg. C. ha<sup>-1</sup>. Além das classificações mencionadas, existe o incêndio total, o qual é definido como aquele que ocorre simultaneamente entre as três classificações citadas anteriormente, vale ressaltar que os quatro tipos de incêndios podem ocorrer de maneira isolada ou combinados entre si.

## 2.2. Fatores que influenciam na origem e propagação de um incêndio florestal

Torres (2006) afirma que um incêndio florestal se inicia com um pequeno foco, e no primeiro estágio tem a tendência de se propagar para todos os lados, de modo aproximadamente circular, no segundo estágio sua forma é alterada em função do vento e da topografia. Finalmente, o incêndio toma uma forma definida, sendo formado, de acordo com Soares (1988) por três partes: cabeça ou frente, flancos e cauda ou base (Figura 3). A cabeça ou frente avança mais rapidamente e se dirige em direção ao vento; a cauda ou base se propaga contrária ao vento e os flancos se propagam perpendicularmente em relação à cabeça do incêndio, que liga à base ou cauda.

Figura 4. Partes que compõem um incêndio florestal



Fonte: Natureza Amanhã, 2013.

A ocorrência de incêndios florestais está sujeita a fatores relacionados com a combustão e propagação do fogo, os quais favorecem a ignição e propagação das chamas (NOGUEIRA et al., 2002). Torres et al. (2011) classificam dois tipos de fatores determinantes para o grau de perigo de incêndios: fatores constantes e variáveis.

Os fatores constantes se referem ao material combustível que por sua vez está relacionado aos diferentes tipos de vegetação e relevo (principalmente a declividade e exposição das vertentes), enquanto que os fatores variáveis estão representados pelas condições atmosféricas (TORRES et al., 2011).

Quanto ao material combustível, a umidade do vegetal pode variar entre 5% a 300%, conforme Raven (2001). O teor de umidade do material combustível florestal corresponde a quantidade de água presente, a qual é representada em percentagem com relação ao peso do material seco, na biomassa vegetal passível a entrar através do processo de ignição, sendo que quanto maior a umidade presente no material combustível, maior será a dificuldade desse material se queimar e iniciar um incêndio, tendo em vista que é necessário um elevado gasto energético a fim de evaporar a água, inicialmente, e a partir de então iniciar o processo de combustão (WHITE, 2018).

Segundo a classificação padronizada por Rothermel (1972) e Brown, Oberheu e Johnston (1982), conforme citado por White (2018), mundialmente utilizada em trabalhos relacionados ao estudo do fogo na vegetação, o material combustível presente em uma floresta ou vegetação qualquer pode ser classificado em:

Material combustível vivo:

- Material vivo herbáceo: Plantas que possuem a consistência e porte de erva. Ex: gramíneas e samambaias.
- Material verde lenhoso: Incluem a folhagem e os pequenos ramos dos arbustos vivos. São materiais cujo diâmetro é menor ou igual a 0,7 cm.

B. Material combustível morto (seco):

- 1-h de *timelag*: Material seco com diâmetro menor ou igual a 0,7 cm.
- 10-h de *timelag*: Material seco com diâmetro entre 0,71 e 2,5 cm.
- 100-h de *timelag*: Material seco com diâmetro entre 2,51 e 7,6 cm.
- 1000-h de *timelag*: Material seco com diâmetro superior a 7,6 cm.

No que concerne ao material combustível seco, leva-se em consideração o tempo necessário para que o combustível perca ou ganhe 63% do seu teor de umidade para a umidade de equilíbrio, denominado *timelag*, sendo que o tempo está diretamente relacionado ao diâmetro da partícula (BYRAM, 1963). Para White (2018), o tamanho do material, as condições atmosféricas locais e a precipitação pluviométrica são os fatores que influenciam no teor de umidade do material combustível (UMC). Na ausência de precipitação, seu valor irá depender das transferências de umidade, por meio da troca de vapor, entre o material e o ambiente (adsorção ou dessorção), Matthews (2014) afirma que a UMC tende a entrar em equilíbrio com a umidade atmosférica. Materiais mortos e finos (1-h de *timelag*) entram em equilíbrio rapidamente, ao passo que materiais com maior diâmetro (10-h e 100-h de *timelag*) demoram mais tempo (SCHROEDER; BUCK, 1970; MATTHEWS, 2014).

O teor de umidade do material combustível morto e fino, ou seja, de 1-h de *timelag*, é particularmente reconhecido como um parâmetro-chave que influencia basicamente todos os processos envolvidos nos incêndios florestais: perigo, ignição e comportamento (ROTHERMEL, 1972; PYNE; ANDREWS; LAVEN, 1996; TROLLOPE; TROLLOPE; HARTNETT, 2002; SOARES; BATISTA, 2007; WHITE et al., 2014). A sua determinação é essencial para descrever como o fogo irá comportar-se: velocidade de propagação; comprimento das chamas; intensidade da linha do fogo; dentre demais características, uma vez que os incêndios florestais, normalmente, se iniciam e se propagam nos materiais mortos e finos que compõem a liteira florestal (ROTHERMEL, 1972; SCOTT, 2012).

Vale destacar que a quantidade e as características do combustível são muito importantes no comportamento do incêndio. Do ponto de vista químico, o combustível florestal é muito homogêneo, já que há predominância de celulose em sua constituição, existem algumas variáveis químicas importantes que são as quantidades relativas dos seus extratos (essências sobretudo de éter) e resíduos de sílica (livre) (CODEVASF, 2010<sup>1</sup>). As essências são libertadas na forma gasosa precocemente no processo da pirólise (decomposição térmica) e são queimadas na zona em que se vê a chama (CODEVASF, 2010). Dentre os componentes minerais, a sílica é um constituinte mineral inerte não influenciando no fenômeno da pirólise. Todavia, outros minerais, como o sódio, o potássio ou o fósforo, interferem ativamente nos fenômenos de pirólise e combustão (CODEVASF, 2010). Além dos componentes químicos e minerais, alguns combustíveis contêm certos materiais voláteis como, por exemplo, óleo, cera e resina, que fazem com que a espécie esteja mais disponível para arder, tal como várias espécies de pinheiro, de eucalipto e alguns arbustos (CODEVASF, 2010).

Do ponto de vista físico, as diferenças estruturais de idade e de composição específica da floresta produzem diferenças físicas, bem como a distribuição espacial da vegetação (combustíveis) viva e morta que modifica a combustibilidade tanto na evolução energética quanto na propagação do incêndio (CODEVASF, 2010).

Além dos materiais combustíveis, Freire et al. (2002) afirmam que as formas de apresentação do relevo influenciam na circulação do vento, temperatura e na umidade relativa do ar e, por conseguinte na propagação dos incêndios florestais. Dentre essas formas de apresentação podemos citar a face de exposição das vertentes à radiação solar e a declividade.

Quanto às vertentes, apresentam alto risco de incêndio florestal aquelas com grande exposição solar, pois o risco de incêndio está diretamente relacionado a energia solar disponível

---

<sup>1</sup> CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba) importante fonte no que diz respeito às informações referentes a incêndios florestais.

para redução da umidade em materiais combustíveis (PEZZOPANE et al., 2001). Segundo Torres et al. (2010) quanto maior a exposição das vertentes ao Sol maior a quantidade de ocorrências, visto que a intensidade da insolação está intimamente relacionada à umidade do ar, pois quanto mais seco, menor a quantidade de nuvens formadas, representando um aumento na incidência dos raios solares e, conseqüentemente, à radiação do Sol, sendo que quanto maior o tempo exposto à luz solar, maior o tempo de exposição à sua radiação, levando, conforme Coutinho (1980) a evaporação do material combustível e acelerando sua secagem.

No Hemisfério Sul, nas faces voltadas ao norte há uma maior incidência de raios solares, e por conseguinte, transmitem mais calor para essa exposição do que outra face. Em segundo lugar é a face oeste, seguida pela face leste e por último a face sul (SOARES; BATISTA, 2007).

No que diz respeito à declividade, altos valores de declividade estão associados a altos riscos de incêndio (PEZZOPANE et al., 2001). Isso porque o fogo seca e aquece o material combustível localizado na parte superior dos aclives, não apenas em função da inclinação em aproximar a chama do material, mas também pela exposição maior da superfície às ondas de calor, devido a radiação e convecção. Ademais, a corrente de ar quente oriunda do fogo direciona-se para a parte superior da montanha e, conseqüentemente, o ar seco é aspirado para parte inferior renovando o estoque de oxigênio para zona de combustão. Por último, com o recebimento de uma maior quantidade de calor e a celeridade na secagem dos combustíveis na parte superior, ocorre uma combustão mais violenta. (SOARES; BATISTA, 2007).

Em se tratando dos fatores constantes, devem ser considerados a proximidade a estradas, centros urbanos e a vegetação e uso da terra, quanto às estradas. Áreas próximas a rodovias tem alto risco de incêndio, tendo em vista que estão sujeitas ao tráfego de veículos, cargas e por aqueles que passam por essas áreas. Fragmentos próximos a centros urbanos são ameaçados constantemente quanto à redução de área ou eliminação pelo mau uso e ainda pela proximidade da rede viária. Por último, os diferentes usos da terra influenciam no risco de incêndios florestais (FERRAZ; VETTORAZZI 1998; SILVA et al., 2004; GUTZWILLER; BARROW, 2003; CHEN et al., 2001).

No que tange ao clima, Sampaio (1991) afirma que os elementos climáticos mais relevantes para o comportamento do fogo são a umidade relativa do ar, temperatura ambiente, e o regime eólico (ventos e sua intensidade e direção).

Scholes (1997) afirma que o caráter fortemente sazonal da disponibilidade hídrica leva ao acúmulo de material inflamável com potencial de queima durante o ano todo. Portanto, a propensão a queimadas é maior em períodos de baixa umidade relativa do ar, uma vez que o ar mais seco aumenta a evapotranspiração dos vegetais, devido ao aumento do déficit de pressão

do vapor atmosférico e, como a reposição desta umidade é insuficiente, têm-se vegetais mais secos formando maior quantidade de material combustível (DEPPE et al., 2004; LARCHER, 2000; NOBRE et al., 2007).

TORRES (2006) destaca que baixa umidade leva a um déficit na formação de nebulosidade e isso aumenta a atuação da radiação solar sobre a superfície, que por sua vez provoca a elevação da temperatura do ar, ajudando na propensão da ocorrência do fogo.

Quanto à temperatura, Soares e Batista (2007) afirmam que a temperatura do ar influencia direta e indiretamente na propagação de incêndios. Segundo os autores supracitados, a temperatura do ar ao redor do combustível influencia diretamente na quantidade de calor necessária para elevá-lo à temperatura de ignição. Já o efeito indireto da temperatura do ar se dá por conta da sua influência sobre outros fatores que atuam na propagação do fogo, tais como: o vento, a umidade do combustível e a estabilidade atmosférica.

O vento é considerado um dos principais fatores na facilidade das queimadas, pois afeta a taxa de vaporização e a reposição de oxigênio durante a queima do combustível, dessa forma o grau de secagem do combustível é acelerado através do transporte da alta concentração de vapor de água na camada próxima às superfícies materiais para fora das superfícies evaporativas (PRUDENTE, 2016). Simultaneamente, o oxigênio consumido pelo fogo é renovado pelo vento turbulento, causando aumento da chama do fogo (PRUDENTE, 2016). O vento influencia na condução do calor da chama às partículas contíguas de combustível, aumentando a velocidade de propagação para os povoamentos de árvores além disso, ventos fortes podem tornar um incêndio perigoso e de difícil controle em virtude do transporte de fagulhas e pedaços de madeira em chamas a maiores distâncias (LIU, 2007).

Outro elemento climático que deve ser levado em consideração é a precipitação, tendo em vista que contribuem para a manutenção da umidade do material combustível que, por sua vez, pode dificultar ou impossibilitar o início e a propagação do incêndio. Prudente (2010) afirma que existe uma forte correlação entre os incêndios e os períodos prolongados de seca, já que nesses períodos o material combustível cede umidade ao ambiente, favorecendo as condições de ocorrência de incêndio. Porém, a avaliação da precipitação não deve se restringir a quantidade de chuvas, mas também deve abranger a sua distribuição estacional, pois segundo Soares (1985) o conhecimento da distribuição da precipitação é fundamental para a determinação do início, término e duração da estação de perigo do fogo.

Em suma, podemos concluir que as características dos incêndios são influenciadas pelas interações complexas que há entre vegetação, clima, topografia e atividades antrópicas ao longo do tempo. O clima em escala regional determina a umidade do combustível e a quantidade de

biomassa, sendo o principal controlador das características dominantes dos incêndios, assim como o tipo de vegetação encontrado, ao passo que o uso do solo e a topografia afetam a frequência, propagação e o tamanho da área. Além disso, as atividades antrópicas interferem de forma drástica sobre as características dos incêndios, modificando a frequência, área queimada e padrão de distribuição de ocorrências (TORRES et al., 2017).

### **2.3.O Cerrado e os incêndios florestais**

O Cerrado brasileiro ocupa 25% do território do Brasil (Figura 4) com uma área original de aproximadamente 203 milhões de ha, a sua extensão territorial abrange áreas contínuas dos estados do Goiás, Tocantins e Distrito Federal, parte dos estados da Bahia, Ceará, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Piauí, Rondônia e São Paulo, além de ocorrer em áreas descontínuas ao norte nos estados do Amapá, Amazonas, Pará e Roraima e pequenas ilhas no Paraná (RIBEIRO e WALTER, 2008; SANO e ALMEIDA, 1998). Dessa área resta somente 47%, equivalente a 103 milhões de km<sup>2</sup> (BRASIL, 2014).

A distribuição e a composição de vários ecossistemas mundiais têm como fator chave o fogo (Bond et al., 2005; Pivello, 2011). Como bem nos assegura Christensen (1985), o fogo possui mecanismos de selecionar ambientes para recorrência de queimadas e dessa forma se mantém.

O fogo afeta a dinâmica e a estrutura das populações das plantas, atua na remoção da serapilheira e controla as espécies dominantes, as quais na maioria das vezes exercem um efeito alelopático, impedindo ou dificultando o aparecimento de outras espécies (WHELAN, 1995; BOND e VAN WILGEN, 1996; HOFFMANN, 1996). Consequentemente, conforme Tyler (1995); Laterra e Solbrig (2001); Marcos et al. (2004), ocorre uma modificação na hierarquia de competição entre as espécies, surgindo novas condições pós-fogo para o recrutamento de espécies, através de plântulas ou rebrotamento. Ademais esse fenômeno é influenciado pelo aumento da incidência de luz, disponibilidade de nutrientes e de espaço no substrato, e por último, pelas alterações na temperatura no solo (PIVELLO e COUTINHO, 1992; RICE, 1993; WROBLESKI e KAUFFMAN, 2003; BOND E VAN WILGEN, 1996; TYLER, 1995; HOFFMANN, 1996; AULD e DENHAM, 2006; KNOX e CLARKE, 2006).

Em ambientes sob a influência de fogo, as plantas possuem estruturas adaptativas a fim de garantir a sua sobrevivência ou possibilitar uma rápida regeneração. Entre essas adaptações que as plantas podem apresentar estão a presença de uma espessa cortiça nos troncos de árvores e proteção das gemas; presença de órgãos subterrâneos desenvolvidos; indução da floração; deiscência de frutos pós-fogo; quebra de dormência por conseguinte, o estímulo à germinação



(COUTINHO, 1980; GIGNOUX et al., 1997; LINDMAN, 1906; RIZZINI E HERINGER, 1962; MUNHOZ e FELFILI, 2007; STOKES, 2004; COUTINHO, 1990, AULD e O'CONNELL, 1991).

No Cerrado, existem vários atributos que relacionam a vegetação à frequente presença do fogo. Podemos citar como exemplo a forma tortuosa das árvores e arbustos, os quais apresentam casca grossa com a finalidade de proteger os tecidos internos de altas temperaturas quando ocorrem os incêndios florestais. Além disso, algumas espécies de gramíneas e herbáceas apresentam uma estrutura de folhas, que são dispostas sucessivamente a fim de conferir proteção às gemas (COUTINHO, 1980, 1982; GOTTSBERGER e SILBERBAUER-GOTTSBERGER, 2006). Vale ressaltar que mesmo após a passagem do fogo, algumas espécies apresentam órgãos subterrâneos, tais como xilopódios e rizomas, ambos com capacidade de formar ramos aéreos vegetativos e reprodutivos (COUTINHO, 1980, 1982, 1990).

Rizzini (1965) verificou que existem mais de 500 espécies que apresentam xilopódio. Sua função não se restringe ao armazenamento de água e uma das funções mais importantes dessas estruturas é a produção de gemas (APEZZATO-DA-GLÓRIA et al., 2008). Outra estratégia das plantas em ambientes sujeitos a incêndios frequentes é o maior acúmulo de biomassa podendo ser de 2-3 vezes superior à biomassa seca (CASTRO e KAUFFMAN, 1998; DELITTI et al., 2001). Com isso, as espécies herbáceas e arbustivas alocam nutrientes para as camadas subterrâneas, as quais estarão protegidas tanto pela passagem do fogo quanto pelos longos períodos de seca, garantindo a permanência e a sobrevivência da espécie (FIDELLIS e PIVELLO, 2011).

Do ponto de vista reprodutivo, as plantas do Cerrado afetadas pelo fogo tem como estratégia o aumento na produção de frutos e sementes, induzido pela rápida floração pós-incêndio. Isso representa um aumento na taxa de reprodução sexuada, sendo importante para a vegetação do Cerrado, uma vez que o rebrotamento constitui uma das mais importantes estratégias para a regeneração (MUNHOZ e FELFILI, 2007; FIDELLIS e PIVELLO, 2011). Além disso, a abertura de frutos e a dispersão de sementes em muitas espécies lenhosas ocorrem somente após a passagem do fogo (GOTTSBERGER e SILBERBAUER-GOTTSBERGER, 2006). Cirne e Miranda (2008) ao verificarem o efeito da temperatura na germinação das sementes de *Kielmeyera coriacea* (Spr) Mart., constataram um estímulo à germinação de suas sementes quando foram submetidas a uma temperatura de 720°C.

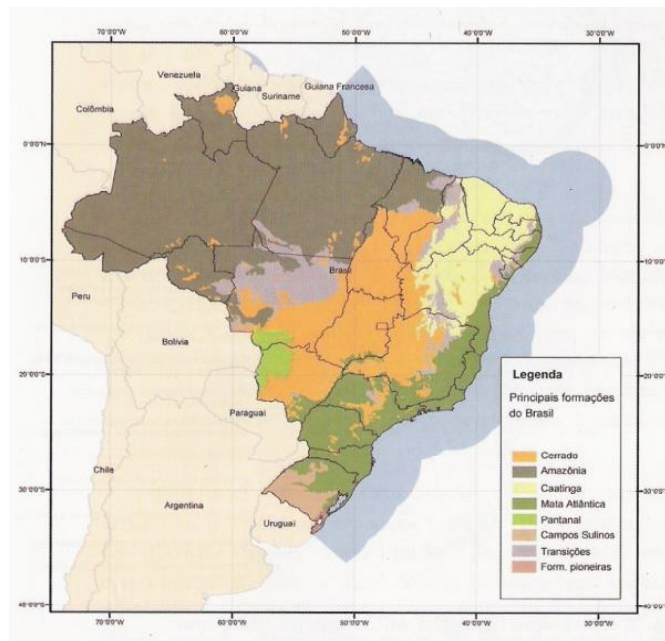
Com relação aos processos ecológicos, os incêndios frequentes podem influenciar no rebrotamento, ciclagem de nutrientes e na frutificação e estabelecimento de plântulas de diversas espécies (Coutinho 1982, 1990; Pivello e Coutinho, 1982). A fisionomia também pode

ser afetada, tendo em vista que sucessivos incêndios podem fazer com que as áreas se tornem mais abertas, havendo maior dominância do estrato gramíneo e o favorecimento do estrato herbáceo por meio do depósito de cinzas e nutrientes na superfície do solo, em detrimento do estrato lenhoso, diante disso pode-se inferir que a ausência de incêndios favorece o aumento do estrato arbóreo (MOREIRA 2000, MIRANDA et al., 2002, 2009) . Lopes (2009) afirma que três fatores podem explicar a modificação das comunidades de plantas após a passagem do fogo: o número de indivíduos presentes na área, o arranjo desses indivíduos na área e o crescimento específico de cada espécie.

Outro efeito que deve ser mencionado diz respeito ao efeito dos incêndios sobre os solos do Cerrado, todavia Soares e Batista (2007) ressaltam a dificuldade de determinar os efeitos definitivos dos incêndios para o solo, tendo em vista que a produtividade do solo é afetada por diversos fatores. Aguiar e Camargo (2004) afirmam que o pH do solo é a propriedade química do solo que sofre modificação mais rápida. Para chegarem a essa conclusão os autores avaliaram os efeitos das queimadas em uma área de campo sujo e cerrado *stricto sensu* e verificaram que na área de campo sujo o pH variou de 5,1 a 9,1 em áreas de cerrado cerrado *stricto sensu* e 5,0 a 7,8 em áreas de campo sujo pós-queima. Segundo Prudente (2016) um dos efeitos que os incêndios podem provocar no solo é o escoamento superficial e, por conseguinte uma rápida erosão, em virtude da exposição do solo decorrente da destruição da cobertura vegetal. É importante destacar ainda que a erosão eólica contribui para o transporte de cinzas ou material orgânico mineralizado, de forma mais rápida, consequentemente, o solo fica desprotegido havendo maior possibilidade de lixiviação e percolação dos nutrientes (CASSOL et al., 2004; REDIN et al., 2011).

Ramos Neto e Pivello (2000) afirmam que durante a estação seca a vegetação composta principalmente por gramíneas se torna inflamável, em virtude do baixo teor de umidade. Associado a isso, o teor de umidade do combustível, a presença de espécies invasoras, relevo e tipo de vegetação são fatores que favorecem a propagação de incêndios no Cerrado (FREIRE et al., 2002; TORRES, 2006). Diante disso, faz-se necessário descrever o regime de fogo e precipitação a fim de entender a dinâmica e a distribuição espacial do Cerrado, em virtude, principalmente, da sazonalidade climática bem definida do clima (DALDEGAN et al., 2014).

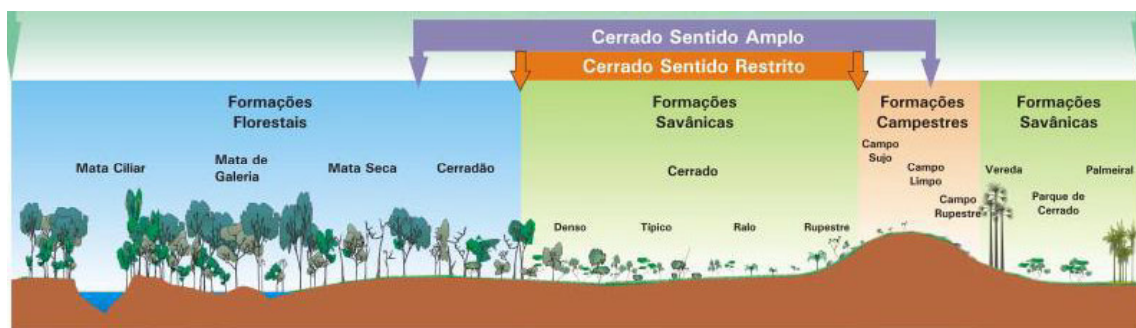
Figura 5. Distribuição do bioma Cerrado no Brasil



Fonte: IBGE (1993) apud Aguiar e Camargo (2004)

Prudente (2016) afirma que o cerrado dispõe de diferentes fisionomias que abrangem formações florestais, savânicas e campestres (Figura 5). Para Ribeiro e Walter (1998) a fisionomia “floresta” é caracterizada pela alta presença de espécies arbóreas, independentemente do tipo de formação de dossel, podendo ser contínuo ou descontínuo, ao passo que a fisionomia savana se caracteriza tanto pela presença de árvores quanto de arbustos em um estrato graminóide, porém, não chegam a formar um dossel contínuo. Por último, a fisionomia campo é marcada pela predominância de espécies herbáceas e pela presença de alguns arbustos. Além dessa classificação, existe uma classificação proposta por Ribeiro e Walter (1998) que classificam as fisionomias do cerrado em três classes: florestal, savânica e campestre. Dentre as fisionomias florestais destacam-se: Mata ciliar, Mata de galeria, Mata seca e Cerradão, enquanto as formações savânicas abrangem as seguintes fisionomias: Cerrado *sensu stricto*, Parque Cerradão, Palmeiral e Veredas. As formações campestres abrangem os campos sujos, limpos e rupestres.

Figura 6. Fisionomias do Cerrado



Fonte: Ribeiro e Walter (2008)

Coutinho (1990) classifica a vegetação do Cerrado em cinco grupos: Cerradão (formações florestais com dossel mais ou menos fechado); Cerrado *sensu stricto* (fitofisionomia densa de árvores e arbustos que chegam a atingir 12 metros de altura, em que predomina o estrato herbáceo-graminoso); Campo Cerrado (vegetação- arbórea-arbustiva com a presença de indivíduos arbóreos que podem alcançar de 2 a 3 metros de altura); Campo Sujo (formado por vegetação herbáceo-arbustiva) e Campo Limpo (caracteriza-se pela predominância de espécies herbáceas com a presença reduzida de arbustos).

## 2.4. Sensoriamento remoto e detecção de incêndios florestais

De maneira geral, o sensoriamento remoto pode ser conceituado como procedimento de coleta de informações de um objeto sem que haja contato físico com o mesmo. Vale ressaltar que essas informações são produzidas através da radiação eletromagnéticas de fontes naturais (Sol e a Terra) ou artificiais como por exemplo o radar (ROSA, 2009).

O sensoriamento remoto possui aplicações em diversas áreas do conhecimento, seja na Geografia, Engenharia Agrônômica, Engenharia Florestal, Engenharia de Agrimensura, dentre outras áreas. Entre as aplicações podem ser citadas: a caracterização e evolução do uso e ocupação da terra, previsões meteorológicas, monitoramento do desmatamento e dos incêndios florestais.

No que tange aos incêndios florestais, existem algumas definições da ecologia do fogo importantes para a compreensão dos mesmos, as quais têm relação com o sensoriamento remoto, conforme apresenta Silva (2017, p. 17):

Alguns termos usados na ecologia do fogo, importantes para o entendimento do processo, são apresentados por Lombardi (2003):

1. Queimada: processo de combustão de fitomassa e/ou subprodutos desta combustão;

2. Área queimada: extensão da superfície afetada por queimadas identificáveis por sensores remotos;
3. Cicatrizes do fogo: Comportamento espectral das áreas queimadas após o fogo ter consumido, total ou parcialmente, o material combustível;
4. Focos ativos: é um termo utilizado para designar o fogo ardendo no momento da passagem do satélite; e,
5. Focos de calor: refere-se às áreas com temperaturas que sensibilizam o sensor termal a bordo do satélite no momento de sua passagem, pode ou não corresponder a uma queimada ou incêndio florestal.

O fogo provoca alterações na superfície terrestre por modificar a vegetação e acumular cinzas por onde passa. Essas modificações, através do sensoriamento remoto podem ser facilmente visualizadas como queimadas ou cicatrizes na superfície, uma vez que apresentam uma distinção na emissão da radiação eletromagnética (BRAGA, 2013; BATISTA, 2017).

Pereira (1987) comprovou que existem três fontes de radiação envolvidas na detecção de incêndios: a primeira proveniente da emissão pelo incêndio em si, isto é, pelas substâncias em combustão; a segunda diz respeito à emissão e reflexão da área em que ocorre o incêndio, considerando-se os resíduos de combustão; e por último a emissão e reflexão oriundas de outras fontes, tais como o solo exposto, intervindo neste processo. Dessa maneira, sensores remotos que operam na região óptica do espectro eletromagnético possuem grande utilidade na detecção e avaliação das queimadas.

Pereira (2009) afirma que a detecção e quantificação de áreas queimadas obtidas de dados orbitais são abordadas sob duas perspectivas. A primeira delas é a detecção de focos de calor relacionada a fogos ativos e a segunda na cartografia de áreas queimadas, onde o foco é a quantificação e espacialização das áreas queimadas.

No que diz respeito à detecção de focos de calor, Brasil (2013) destaca os seguintes fatores que podem prejudicar a detecção de queimadas:

- Frentes de fogos inferiores a 30 metros;
- Quando a ocorrência do fogo se restringe ao chão de uma floresta densa sem afetar as copas;
- Cobertura de nuvens, exceto as nuvens de fumaça;
- Queimadas de pequena duração, ocorrendo em duas imagens disponíveis;
- Quando ocorre o fogo em uma encosta da montanha e o satélite observou somente o outro lado.

Vale lembrar que o foco de calor é tudo o que está na superfície terrestre e possui uma temperatura superior a 47°C (ALBUQUERQUE, 2017). Ademais não existe uma relação direta entre o foco de calor e as queimadas, uma vez que um foco indica a existência de fogo em um

pixel, cuja resolução pode variar de 1 km x 1km até 5km x 4km (BRASIL, 2013). A partir disso, conclui-se que em um pixel pode conter várias pequenas queimadas ou vários pixels podem conter uma única queimada (MATO GROSSO, 2010).

O Brasil, através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), dispõe de um banco de dados com informações sobre os focos de calor, essas informações são utilizadas por diferentes usuários, tais como instituições governamentais, pesquisadores, mídia etc. Em Minas Gerais as informações referentes aos focos de calor obtidas pelo INPE são monitoradas pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF) a fim de servir de base ao combate de incêndios florestais no entorno e no interior das Unidades de Conservação.

As imagens empregadas para o monitoramento e detecção de focos de calor são obtidas por satélites polares, os quais operam com altitudes com menos de 1000 km. Neste caso, a órbita é circular, em virtude de o satélite ficar orbitando a uma atitude quase fixa em relação à Terra, permitindo uma escala de imageamento constante para todas as imagens (EPHIFANIO, 2005), como por exemplo, os satélites NOAA, EOS (TERRA e AQUA).

A família de satélites *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA) é administrada pelo *National Environmental Satellite and Information Service* (NESDIS), tendo sido iniciada no ano de 1960 com os satélites da série TIROS. Nessa época ocorreu o lançamento de uma série de satélites e instrumentos operacionais, tais como sondas e imageadores. Esses satélites geram informações quantitativas diárias sobre a meteorologia e condições ambientais, sendo que apresentam três sistemas sensores: Um Radiômetro Avançado de Alta Resolução (AVHRR), um sondador vertical operacional Tiros (TOVS) e, por último um monitor espacial, o qual apresenta uma resolução espacial em torno de 900 metros (ROSA, 2009).

Albuquerque (2017) ao realizar a quantificação dos focos de calor na Bacia Hidrográfica do Rio Poti, localizada entre os estados do Ceará e do Piauí, nos anos de 2010, 2013 e 2016, optou pelo satélite NOAA-18, o qual é equipado pelo sensor AVHRR, isto é, um radiômetro avançado de Resolução Muito Alta que possui resolução espacial de 1 x 1 km e banda do infravermelho sensível em relação à temperatura. O autor destacou ainda a precisão do satélite no que diz respeito à coleta de dados de focos de calor, em virtude de sua órbita que compreendeu o recorte espacial a partir das 18:00 h, abrangendo o período noturno.

Florenzano (2007) afirma que as imagens de satélite NOAA, por meio do sensor AVHRR, são muito utilizadas na detecção de focos de incêndio, por permitir a identificação e localização em tempo real dos focos de calor ativo no território brasileiro, considerando as

configurações de captura do sensoriamento remoto, uma vez que é considerado um satélite polar e de baixa altura.

O lançamento dos satélites TERRA (conhecido também como EOS-AM) e AQUA, em 1999 e 2002, respectivamente, representou uma nova era no que diz respeito ao monitoramento de informações da atmosfera e superfície terrestre. Tanto os satélites TERRA quanto os AQUA operam em uma órbita polar e síncrona com o Sol, com inclinação de aproximadamente  $98,2^\circ$ , período orbital de 98,88 minutos e altitude média de 705 km. Porém, diferenciam-se no que tange ao horário de cruzamento da descendente, já que nos satélites TERRA ocorre às 10h30, enquanto os satélites AQUA às 13h30 (ROSA, 2009).

Dentre os sensores a bordo dos satélites TERRA e AQUA, destacam-se os sensores MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), em virtude de suas aplicações no estudo da superfície terrestre. O sensor MODIS possui uma resolução radiométrica de 12 bits, operando em 36 canais espectrais em comprimentos de onda que variam de  $0,4 \mu\text{m}$  a  $14,4 \mu\text{m}$ . Sua resolução espacial pode variar de 250m a 10.000 metros dependendo do tipo de produto e a resolução temporal varia de 1 a 2 dias (MATAVELI et al., 2017).

Justice et al. (2002) afirmam que o sensor MODIS foi configurado para fornecer dados sobre a dinâmica da biosfera terrestre a fim de compreender os processos que ocorrem na atmosfera, superfície terrestre, nos oceanos e na atmosfera inferior causados pela natureza ou por atividades antrópicas.

O sensor ASTER corresponde a um dos instrumentos a bordo do satélite EOS AM-1, obtendo imagens de alta resolução (15 a 90 m) da Terra nas seguintes regiões espectrais: Visível, Infravermelho Próximo, Médio e Térmico. Quanto ao tempo de operação, opera por um tempo limitado em partes do dia e noite ao longo da órbita, sendo que a coleta de dados se dá em uma média de 8 minutos/órbita. Dentre os satélites, EOS-AM-1 é considerado o que apresenta a maior resolução espacial e é o único que não adquire dados continuamente (ROSA, 2009).

Segundo Rosa (2009) os produtos do ASTER incluem:

- Radiações e reflectâncias espectrais da superfície terrestre;
- Temperatura da superfície e emissividade;
- Mapas Digitais de elevação de imagens estéreo;
- Mapas de vegetação e da composição da superfície;

- Consequências das nuvens, gelo do mar e gelo polar;
- Observação de desastres naturais.

Além dos satélites polares, existem os satélites geoestacionários que estão a uma distância de 36.000 km. São denominados geoestacionários pelo fato de sua órbita acompanhar o movimento de rotação da Terra, estão dispostos ao longo do Equador terrestre e, por causa da grande altitude, pode ter uma visão sinóptica completa, isto é, de todo disco terrestre compreendido pelo seu campo de visada. Os satélites estão imóveis em relação a Terra e apresentam utilidades para o estudo de fenômenos meteorológicos (EPIPHANIO, 2005). Entre os satélites geoestacionários, empregados na detecção e monitoramento do fogo, destacam-se os satélites GOES e METEOSAT.

O satélite GOES (Satélites Geoestacionários de Meio Ambiente) é considerado o primeiro satélite meteorológico síncrono (SMS) lançado no ano de 1974, em caráter experimental. Estão situados a 75° W e 135° W, respectivamente, os GOES/Este e GOES/Oeste, associado ao satélite METEOSAT (*Meteorological Satellite*) sendo considerados de fundamental importância para a meteorologia mundial (ROSA, 2009).

De acordo com Rosa (2009) a série de satélites METEOSAT teve início em 1977, sendo mantido atualmente pelo EUMETSAT (*Europe's Meteorological Satellite Organization*), organização intergovernamental que reúne cerca de dezoito países europeus.

Os satélites GOES e METEOSAT possuem uma resolução espacial de 8 km e apresentam dois sensores: Um Monitor de Ambiente Espacial (SEN) e um sondador atmosférico no espectro Visível e Infravermelho (VAS: *VISSR Atmospheric Sounder*), segundo Rosa (2009) os sensores mencionados anteriormente são destinados na realização de medidas do campo magnético terrestre, fluxo de partículas energéticas, do conteúdo do vapor d'água na atmosfera, cálculo do perfil de temperatura e detecção de queimadas. Os produtos obtidos a partir desses sensores são as imagens adquiridas a cada 15 minutos e disponibilizadas diariamente na internet pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (ROSA, 2009).

Aliado a detecção via satélite dos focos de calor, a ciência geográfica tem o papel de orientar a evolução espacial dos efeitos dos incêndios florestais, provocando, segundo Chuvieco et al. (1998), a necessidade de se quantificar e mapear áreas queimadas a fim de analisar os seus impactos e efeitos ecológicos no decorrer do tempo.

Pereira (2009) afirma que na realização do mapeamento de áreas queimadas não é feita a diferenciação entre área queimada e área de incêndio, todavia, pode-se inferir que grandes áreas queimadas que apresentem perímetro irregular são incêndios florestais. Tendo em vista



que a cartografia de áreas queimadas respalda análises espaciais e temporais de ocorrência, estas podem estabelecer uma relevante base de dados relacionadas a estimação de áreas sujeitas aos impactos ambientais, estudos ecológicos, atmosféricos e de mudanças climáticas (PEREIRA, 2009; ZHAN et al., 2002).

Em virtude das dificuldades de se quantificar as áreas queimadas *in loco*, o sensoriamento remoto representa uma ferramenta eficaz quanto a quantificação e delimitação das mesmas devido a utilização de imagens orbitais (PEREIRA, 1999). As ferramentas de sensoriamento remoto associadas as de sistema de informações geográficas (SIGs) têm sido usadas tanto para o planejamento de atividades quanto para esclarecimento de questões ecológicas (SANTOS et al., 2006). De acordo com Pereira (2009) essas ferramentas contribuem, no âmbito de áreas queimadas, em atividades relacionadas ao mapeamento, caracterização e monitoramento.

## **2.5.Avaliação do risco de incêndios florestais**

A avaliação do risco de incêndio florestal é muito importante por se basear no comportamento do fogo, dos fatores envolvidos na sua ocorrência, na identificação e espacialização das áreas de risco. Dentre as diversas formas para avaliação do risco de incêndio florestal, destacam-se: o mapeamento de risco, o emprego dos Índices de Perigo de Incêndio Florestal e de Índices espectrais.

### **2.5.1. Mapeamento de Risco de Incêndios Florestais**

Os incêndios florestais são afetados por complexas interações que envolvem a vegetação, clima, topografia e atividades antrópicas no decorrer do tempo (TORRES et al., 2017). Essa complexidade das interações de fatores envolvidos na ocorrência de incêndios, seja de escala espacial e temporal, vai influenciar no comportamento do fogo dificultando, consequentemente, a modelagem de incêndios (LINN et al., 2012).

Para Barlow et al. (2012) a previsão de incêndios pode ser dificultada pela dependência que existe entre fatores antrópicos e ambientais. Todavia, Borges et al. (2011) afirmam que para que haja tanto o planejamento quanto a designação de recursos ao combate de incêndios florestais é necessário o conhecimento do risco que a área oferece.

Nesse sentido, Fernandes et al. (2011), Bridgewater (1993), Coelho Netto et al. (2007) e Fernandes (2009) apontam como alternativa para a compreensão da estrutura, função e

dinâmica dos elementos da paisagem a utilização de ferramentas de geoprocessamento para definição da espacialização de fenômenos, tais como, os incêndios florestais.

Soares e Batista (2007) afirmam que a análise detalhada e criteriosa de cada variável associada ao risco de incêndio, permite o estabelecimento de níveis de risco, conforme a influência que cada variável exerce tanto na ignição quanto na propagação do fogo para cada local analisado. Tetto (2012) destaca que a determinação de áreas de ocorrência de incêndios mais frequentes, tendo como produto a geração de mapas de risco, possibilita a visualização das áreas de maior risco e, ao mesmo tempo, auxilia na escolha de medidas de prevenção para essas áreas. Corroborando, para Torres (2017) a análise espacial de ocorrências pode auxiliar no fornecimento de informações orientando esforços para o planejamento e diminuição dos riscos.

Além disso, a utilização de técnicas de geoprocessamento, tais como o Sistema de Informações Geográficas (SIG) contribui para o zoneamento de risco. Segundo Oliveira (2002), o zoneamento de risco trabalha com o agrupamento de mapas de risco gerados, por meio de métodos que permitem associar os fatores ambientais com incêndios, possibilitando mapear o risco potencial de incêndios em função da correlação dos fatores analisados em relação ao fogo.

Prudente (2016) ao avaliar o risco de incêndios florestais em áreas do Cerrado, levou em consideração dois tipos de risco: Riscos Estruturais e Riscos Dinâmicos. Segundo a autora os riscos estruturais são aqueles que se baseiam na combinação de fatores que não variam em um curto espaço de tempo, entre esses fatores destacam-se: distância de estradas e áreas urbanas, uso da terra, cobertura vegetal nativa, hipsometria, declividade e orientação das encostas. Os riscos dinâmicos são aqueles cujos parâmetros variam de modo quase contínuo, como o estado da vegetação e as condições meteorológicas, além disso os riscos dinâmicos tem como objetivo detectar as alterações na inflamabilidade dos combustíveis florestais, dentre os fatores que compõem os riscos dinâmicos podem ser mencionados: a precipitação, a deficiência hídrica e o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada NDVI (PRUDENTE, 2016).

Vale ressaltar que, para a integração dos fatores responsáveis pela ocorrência dos incêndios florestais a fim de determinar as áreas mais susceptíveis, se faz necessário a utilização de análises, entre elas destaca-se a análise de multicritério, pois de acordo com Prudente (2016) a mesma permite a combinação e transformação dos dados espaciais em mapas finais para a tomada de decisões.

A correlação Linear Combinada é considerada um dos métodos mais empregados na análise de multicritério, sendo que essa correlação consiste na padronização de fatores de incêndio em escala comum, os quais recebem pesos e uma média ponderada (VOOGD, 1983).

Tudo isso resulta em um mapa de prioridades, o qual pode ser limitado espacialmente por uma ou mais restrições booleanas. Diversos autores utilizaram esse método para determinação das áreas de risco de incêndio, tais como Chen, Blong e Jacobson (2001), Prudente (2016), Silveira, Vettorazzi e Velente (2008).

### **2.5.2. Índices de Perigo de Incêndio**

O conhecimento dos riscos de incêndio florestais representa uma forma eficiente para o correto planejamento e destinação de recursos para o combate. Nesse sentido, a utilização de um índice confiável, além de importante para o planejamento, é primordial para o mapeamento e estabelecimento de zonas de perigo, bem como para definição do número e localização de torres de advertência pública do grau de risco, o qual é considerado importante nos programas de educação ambiental (BORGES, 2011).

O índice de risco de incêndio ou perigo de incêndio representa uma tentativa de quantificar a probabilidade de ocorrência e propagação do fogo quando há uma fonte de ignição, tendo como base as condições atmosféricas de um dia ou de uma série temporal. Vale lembrar que o índice é representado por um único número e deve ser avaliado diariamente utilizando-se dados observados ou medidos (CARAPÁ, 2006; SOARES e BATISTA, 2007; TORRES e RIBEIRO, 2008).

A partir da década de 1930 foi iniciada a utilização de índices de perigo de incêndio florestais no Canadá (WRIGHT, 1933) e nos Estados Unidos (LOVERIDGE, 1935). Pereira et al. (2002) dividem os índices de incêndio em métodos cumulativos e não cumulativos e, estes, se baseiam somente nas condições do tempo vigentes no dia, como por exemplo o índice de Angström. Os índices cumulativos levam em consideração conjunto de condições climáticas de sucessão de dias como, por exemplo, a Fórmula de Monte Alegre, a qual foi criada por Soares (1972) para a região de Telêmaco Borba, Paraná (ALVARES et al., 2014). Essa fórmula tem sido expandida para outras regiões do Brasil (SILVA et al., 2001; PEZZOPANE et al., 2001; RIBEIRO et al., 2011).

A fórmula de Monte Alegre se baseia na umidade relativa do ar, medida às 13:00 horas (SOARES, 1972). Após estudos realizados por Nunes et al. (2005) houve alterações na fórmula considerando, além da umidade relativa do ar, a velocidade do vento medida às 13:00 horas.

Além desse índice, há outros índices como o Índice de Angstrom, que se baseia na temperatura e umidade relativa do ar medidos às 13 horas, porém não é cumulativo; o Índice logarítmico de Telicyn é cumulativo e as variáveis que compõem a sua fórmula são a

temperatura do ar e o ponto de orvalho, ambos medidos às 13 horas; e, por último, o índice de Nesterov, que também é cumulativo e possui como variáveis a temperatura e o déficit de saturação do ar (UFPR, 2016).

Os índices de incêndio florestal, respondem em até 80% dos casos (CHENEY, 1968), servindo de respaldo para o planejamento eficiente no controle de incêndios florestais, através da análise das condições de risco, contribuindo para escolha de medidas preventivas, eficazes e econômicas.

### **2.5.3. Índices de vegetação**

Na maioria dos casos, a quantificação dos danos provocados pelos incêndios florestais, juntamente com o combate de incêndios apresentam um alto custo pelo difícil acesso as áreas atingidas. Diante disso, a utilização de imagens de satélite a fim de monitorar as áreas queimadas, representa uma ferramenta muito importante em virtude do baixo custo e da eficiência (BATISTA, 2013).

Embora há muitos trabalhos de sensoriamento remoto voltados para o mapeamento de áreas queimadas possuem várias limitações a serem resolvidas, sendo que uma dessas limitações são as fitofisionomias presentes na área que possuem particularidades estruturais que afetam de maneira direta nas características espectrais e, por conseguinte, nos algoritmos de mapeamento de área queimada (STROPPIANA et al., 2012; PEREIRA et al., 2016).

Nesse contexto, torna-se necessário a utilização de índices espectrais de vegetação, pois analisam a resposta diferenciada da vegetação em relação aos demais alvos (FERNANDES et al., 2016). Todavia, Pereira et al. (2016) ressaltam que esses índices são sensíveis às mudanças espectrais decorrentes das fitofisionomias, uma vez que são provenientes de expressões matemáticas que envolvem valores de reflectância.

Desses índices pode-se destacar o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI); Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI), Índice de Área Foliar (IAF), Índice de Água da Diferença Normalizada (NDWI) e o Índice de Queima Normalizada (NDBR) (FERNANDES, et al., 2016).

O NDVI foi proposto por Rouse et al. (1973) apud Ponzoni; Shimabukuro (2009) e seus valores variam de -1 a 1, onde, de acordo com Rosendo (2005) os valores próximos a 1 indicam vegetação mais densa ao passo que valores mais próximos a 0 indicam superfície não vegetada. Vale lembrar que o NDVI é obtido através dos valores de reflectância das bandas do vermelho e infravermelho próximo.

O SAVI considera a influência do solo no índice de vegetação por meio de um fator L associado à equação do NDVI. Contudo, esse fator varia conforme a área de estudo, pois para áreas de vegetação muito baixa recomenda-se usar o fator L= 1,0; para vegetação intermediária L= 0,5) e para altas densidades L= 0,25 ( HUETE,1988 *apud* ROSENDO, 2005).

O IAF é definido como a relação entre a área foliar e o terreno ocupado pela cultura, sendo que esse índice é considerado um dos principais parâmetros da vegetação, sendo utilizado em modelos de crescimento vegetal e evapotranspiração e também está relacionado à biomassa (PONZONI, 2002).

O NDWI (Índice de Água da Diferença Normalizada) mensura o teor de umidade da vegetação e o seu cálculo se baseia na refletância das bandas do infravermelho próximo e médio. E, por último o NDBR, desenvolvido por Koutsias e Karteris (1998) *apud* Cardozo et al. (2011), utiliza as bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio, correspondendo às bandas 5 e 7 do sensor OLI, do Landsat 8. O NDBR (Índice de Queima Normalizada) sendo considerado o índice que apresenta um melhor contraste entre a área queimada e de vegetação saudável.

Seguem as equações dos índices descritos, apresentadas no quadro a seguir:

Quadro 2. Índices espectrais e suas respectivas equações

Índice	Equação	Significado	Referência
Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI)	$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V}$	IVP= Infravermelho Próximo V= Região do Visível (vermelho)	ROUSE et al.,1973
Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI)	$SAVI = \frac{(1 + L) * (IVP - V)}{(L + IVP + V)}$		HUETE et al., 1988
Índice de Área Foliar (IAF)	$IAF = -\frac{(\ln(0,69 - SAVI))/0,59}{0,91}$	SAVI= Índice de Vegetação Ajustado para o Solo	PONZONI, 2002
Índice de Água da Diferença Normalizada (NDWI)	$NDWI = \frac{IVP - IVM}{IVP + IVM}$	IVP= Infravermelho Próximo IVM= Infravermelho Médio Obs: No satélite Landsat 8, a banda do IVM, utilizada para o cálculo desse índice corresponde a banda 6	Fernandes et al.,2016
Índice de Queima Normalizada (NDBR)	$NDBR = \frac{IVP - IVM}{IVP + IVM}$	Obs: No satélite Landsat 8, a banda do IVM, utilizada para o cálculo desse índice corresponde a banda 7	Koutsias e Karteris (1998) <i>apud</i> Cardozo et al.,2011

Fonte: Rouse et al.,1973; Huete et al., 1988; Ponzoni, 2002; Fernandes et al.,2016; Koutsias e Karteris (1998) *apud* Cardozo et al.,2011

Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

### 3. QUANTIFICAÇÃO DOS FOCOS DE CALOR

---

A quantificação de focos de calor é muito importante a fim de verificar o período de maior ocorrência dos mesmos, pois essa verificação facilita o planejamento de ações que visem o combate e a prevenção dos incêndios florestais.

Para Santos et al. (2017) estudos que objetivam a compreensão das dinâmicas que envolvem incêndios e os ambientes possuem uma relevância cada vez maior, considerando que dentre os principais fatores que causam impactos no clima e biodiversidade destaca-se a queima de biomassa dos ecossistemas.

Nesse sentido, a utilização das geotecnologias, tais como o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto são ferramentas que contribuem para o monitoramento e quantificação de maneira sistemática dos incêndios na vegetação, além de fornecer informações necessárias tanto para o processo de mapeamento quanto para interpretação de dados oriundos de focos de calor e possíveis incêndios (SANTOS et al., 2017).

Setzer (1993) e Souza et al. (2004) afirmam que no Brasil o monitoramento dos focos de calor é realizado desde a década de 1980 pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Essas informações formam um banco de dados que se encontra disponibilizado na internet.

Vale lembrar que focos de calor são definidos pelo CPTEC e INPE como o registro de calor captado na superfície do solo através de um sensor do satélite de referência, sendo que esse sensor capta e registra qualquer temperatura superior a 47°C, interpretando a como foco de calor. Entretanto, não podem ser considerados, necessariamente, como foco de fogo ou incêndio (ANTUNES, 2000; RODRIGUES et al., 2011; SANTOS et al., 2017).

Nesse capítulo serão quantificados os focos de calor no período de 2008 a 2017 no município de Ituiutaba-MG com a finalidade de observar os meses e os anos em que houve as maiores ocorrências de focos de calor. Além disso, esses dados foram utilizados para realização dos testes de correlação com as variáveis climáticas, os Índices de Perigo de Incêndio Florestal e os Mapas de Risco Integrado de Incêndios.

### 3.1.Procedimentos metodológicos

Os dados de focos de calor utilizados nesta pesquisa foram provenientes de sensores a bordo dos satélites da série NOAA/AVHRR e dos satélites AQUA e TERRA/ MODIS, cujas especificações estão descritas na Tabela 1, entre os anos de 2008 a 2017. Os dados e informações adicionais estão disponibilizados aos usuários através do Banco de Dados de Queimadas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), podendo ser encontrados no endereço eletrônico <http://www.cptec.inpe.br/queimadas>.

Tabela 1.Características dos satélites empregados no monitoramento de incêndios florestais

Satélite	Órbita	Resolução espacial*(km)	Frequência temporal	Canal termal
AQUA/TERRA	Polar	1 x 1	2 x2/dia	20 (3,66-3,84µm)
NOAAs	Polar	1 x 1	2x2/dia	3 (3,55-3,93 µm)
GOES	Geoestacionária	4 x 4	96 x/dia	2 (3,8-4 µm)
METEOSAT	Geoestacionária	3x3	96 x/dia	4 (3,84-4,36 µm)

\*resolução espacial no canal termal

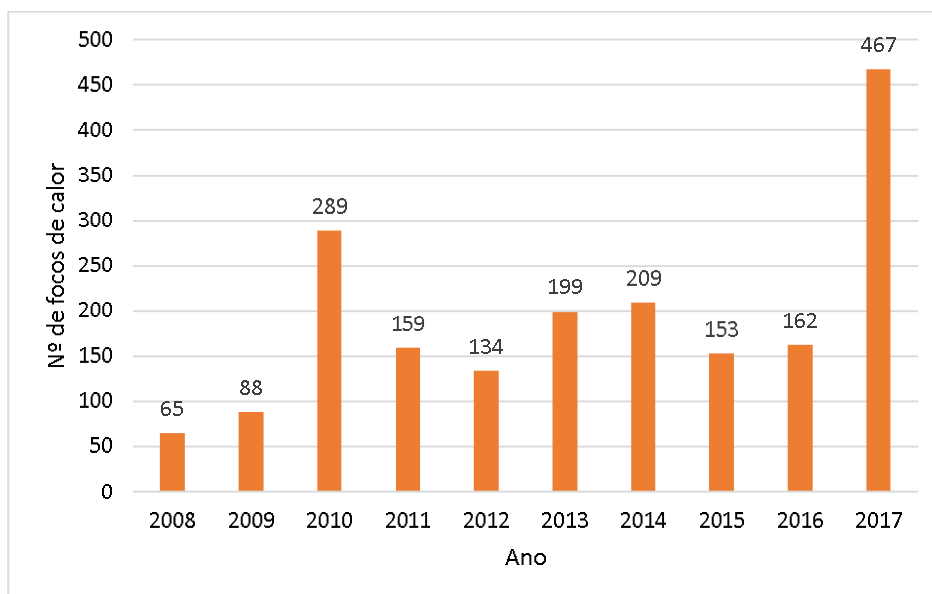
Fonte: Adaptado de Pereira (2009)

Foram coletados dados mensais dos focos de calor no período de 2008 a 2017 e os mesmos foram organizados e tabulados em Planilha Eletrônica do Excel. Além disso, foram gerados gráficos anuais e mensais a fim de representar a quantificação dos focos de calor no período analisado.

### 3.2.Resultados e Discussão

No período entre 2008 a 2017 foram registrados 1925 focos de calor, sendo que nos anos de 2017, 2014, e 2010, foram registradas as maiores quantidades: 467, 209 e 289, respectivamente (Gráfico 1). Do ponto de vista mensal, os meses de julho, agosto, setembro apresentaram as maiores quantidades de focos de calor registrados: 320, 406, e 563, respectivamente (Tabela 2).

Gráfico 1. Quantificação anual dos focos de calor 2008 e 2017 no município de Ituiutaba-MG pelos satélites NOAA e AQUA/TERRA MODIS



Fonte: CPTEC, INPE (2018)  
Org.: OLIVEIRA, T.M. (2018)

Tabela 2. Focos de calor detectados entre 2008 e 2017 no município de Ituiutaba-MG pelos satélites NOAA e AQUA/TERRA MODIS

Mês/Ano	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total Mensal
<b>Janeiro</b>	1	1	1	2	0	1	1	4	2	6	<b>19</b>
<b>Fevereiro</b>	0	2	2	0	5	1	5	6	3	0	<b>24</b>
<b>Março</b>	1	0	0	2	3	5	2	5	0	8	<b>26</b>
<b>Abril</b>	1	1	9	1	0	26	0	4	3	10	<b>55</b>
<b>Maio</b>	1	6	5	17	1	15	0	0	2	0	<b>47</b>
<b>Junho</b>	0	2	8	20	7	10	24	3	8	12	<b>94</b>
<b>Julho</b>	8	10	46	17	24	9	53	15	5	133	<b>320</b>
<b>Agosto</b>	17	32	35	32	23	31	58	43	79	56	<b>406</b>
<b>Setembro</b>	12	10	176	57	19	54	20	34	32	149	<b>563</b>
<b>Outubro</b>	3	20	2	10	40	35	45	13	12	66	<b>246</b>
<b>Novembro</b>	15	4	2	1	6	6	1	19	9	21	<b>84</b>
<b>Dezembro</b>	6	0	3	0	6	6	0	7	7	6	<b>41</b>
<b>Total Anual</b>	<b>65</b>	<b>88</b>	<b>289</b>	<b>159</b>	<b>134</b>	<b>199</b>	<b>209</b>	<b>153</b>	<b>162</b>	<b>467</b>	<b>1925</b>

Fonte: CPTEC, INPE (2018)  
Org.: OLIVEIRA, T.M. (2018)



O ano de 2010 foi marcado pela ocorrência do *El Niño*, um fenômeno atmosférico-oceânico que se caracteriza por um aumento anormal da temperatura das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical podendo afetar o clima regional e global, alterando os padrões de vento a nível mundial e afetando, conseqüentemente, os regimes pluviométricos em regiões tropicais e de latitudes médias (CPTEC,2018).

Entretanto, Silva e Reboita (2013) ao realizar a caracterização da precipitação no estado de Minas Gerais, utilizando dados pluviométricos diários de 335 pontos pluviométricos entre os anos de 1990 a 2009 verificou que a fase positiva do *El Niño* não exerceu influência significativa na precipitação em Minas Gerais.

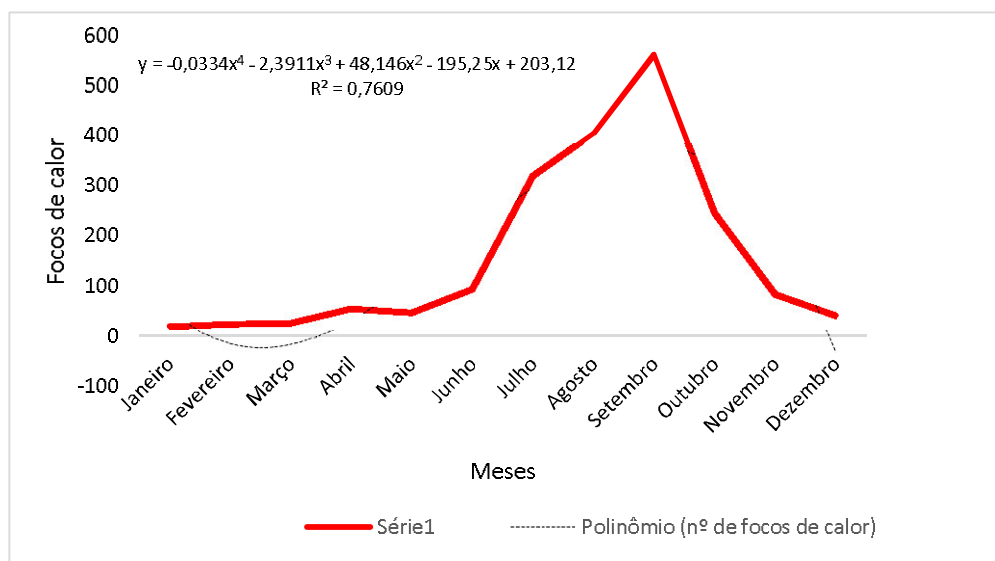
Mesquita et al. (2011) ao analisarem o histórico de incêndios na vegetação do Parque Nacional da Chapada Diamantina entre os anos de 1973 e 2010 verificaram que os principais eventos de ocorrências de incêndios coincidiram com os anos em que ocorreram o fenômeno *El Niño*.

Embora esse fenômeno não tenha se manifestado nos anos de 2014 e 2017, considerando o período de 2008 a 2017, verificou-se que em 2014 foi registrada a menor precipitação acumulada (1030,2 mm), de acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Isso influencia diretamente no aumento do déficit hídrico, redução no teor de umidade da cobertura vegetal e, conseqüentemente, no aumento dos registros de focos de calor. Embora o ano de 2017 tenha apresentado uma precipitação acumulada de 1341, 2 mm, superior ao ano de 2014, foi contabilizado a maior quantidade de focos de calor.

Por outro lado, o ano de 2017 apresentou a maior velocidade média do vento (1,75 m/s), segundo o INMET. Sendo que essa variável climática associada ao período de estiagem favorece a propagação dos incêndios florestais.

O Gráfico 2 compreende toda a série histórica do período de estudo, onde podem ser observados os quantitativos acumulados dos focos mensais de 2008 a 2017. A análise da distribuição dos dados mostra um padrão de distribuição ao longo dos meses nos quais pode ser observado uma tendência de crescimento de junho a setembro, meses compreendidos na estação seca, e um decréscimo a partir de outubro, tendo em vista que a estação chuvosa de Minas Gerais ocorre entre os meses de outubro a março. Entretanto, as primeiras chuvas ocorrem, normalmente, na segunda quinzena de setembro INMET (2017).

Gráfico 2. Distribuição mensal total dos focos de calor no município de Ituiutaba-MG no período de 2008 a 2017. A linha em vermelho representa os dados de focos de calor por mês. A linha tracejada representa a função polinomial ajustada.



Fonte: CPTEC, INPE (2018)  
Org.: OLIVEIRA, T. M. (2018)

#### **4. CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E FOCOS DE CALOR**

A Caracterização das condições climáticas é imprescindível para compreensão dos incêndios florestais, tendo em vista que essas condições vão influenciar na origem e propagação dos mesmos.

Neste capítulo serão consideradas cinco variáveis climáticas: Precipitação (mm), Temperatura (°C), Umidade Relativa do Ar (%), Velocidade do Vento (m/s) e número de dias de estação seca. Esses dados serão importantes para definição de parâmetro dos riscos dinâmicos e além disso para realizar um teste de correlação com os focos de calor registrados nesse período a fim de avaliar qual variável terá a maior correlação e verificar se a mesma será significativa.

##### **4.1.Procedimentos metodológicos**

Inicialmente foram obtidos dados climatológicos de Ituiutaba a partir da Estação Meteorológica Automática de Ituiutaba-MG do período de 2008 a 2017, ou seja, durante o período de 10 anos, a fim de realizar a análise climatológica do município, principalmente para o cálculo do balanço hídrico.

Os dados meteorológicos foram obtidos a partir da Estação Meteorológica Automática de Ituiutaba-MG, localizada na coordenada 18°57'(S)/49°51'(O), com altitude de 540 m. Essa estação fica a 4 km da sede do município. Esses dados foram utilizados para o cálculo do balanço hídrico que de acordo com Francisco et al. (2015) o balanço hídrico permite o conhecimento da necessidade e disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo.

Ademais, Prudente (2016) ressalta que o balanço hídrico pode ser um instrumento importante para prevenção de incêndios florestais, pois as ocorrências dos mesmos estão associadas aos períodos de déficit hídrico.

Entre os dados climatológicos diários obtidos no período citado anteriormente, destacam-se a Temperatura (°C), Umidade Relativa do ar (%), Velocidade do vento (m/s), Precipitação (mm). Esses dados foram tabulados em planilha eletrônica do *Microsoft Office Excel*, extraindo-se as médias anuais e mensais.

O cálculo do balanço hídrico foi realizado baseado na metodologia de Thornthwaite e Mather (1955), adotando-se a capacidade de água disponível como valor padrão de 100 mm.

Consequentemente, foram gerados os valores dos excedentes e déficits hídricos para cada ano. Para alcançar esses resultados foi utilizada a planilha eletrônica de Rollin e Sentelhas (1999).

A determinação da duração da estação seca e chuvosa, foi adotada a partir da distribuição diária das precipitações, tendo como base a metodologia de Assunção (2013), que estabeleceu critérios para facilitar a discriminação dos períodos úmidos e secos. Conforme essa metodologia, o dia chuvoso é aquele em que o volume da precipitação é superior ao da Evapotranspiração (ETP), enquanto nos períodos de estiagem são marcados por longos períodos de dias secos ou com precipitações muito baixas, geralmente inferiores aos da ETP diária.

A seguir, apresenta-se os parâmetros descritos utilizados por Assunção (2013) a fim de determinar o período das estações secas e chuvosas:

- a) Período chuvoso significa fim do aumento do déficit hídrico e quando o nível de água atinge a capacidade de campo;
- b) Os meses de dezembro, janeiro, fevereiro são todos considerados do período chuvoso;
- c) Os meses de junho, julho e agosto são todos considerados do período seco;
- d) O início do período chuvoso se dá quando se verifica a ocorrência de uma chuva mais intensa (superior a 20 mm) ou acumulado de 40 mm em um curto período de dias (até 4 dias);
- e) Caso as chuvas sejam bem distribuídas no mês de setembro, não significa que este mês seja chuvoso, pois é preciso verificar as precipitações do mês de outubro (se houve uma interrupção ou um período superior a 12 dias sem chuvas) foram suficientes para repor a ETP do mês ou se houve déficit hídrico;
- f) Quando o mês de outubro se apresentar úmido, ou seja, chuva igual ou superior a ETP mensal e em novembro ocorrer uma diminuição nas precipitações acumuladas, todavia superior a 60% da ETP mensal), conclui-se que a estação chuvosa se iniciou em outubro. Vale lembrar que se no mês de novembro, nos primeiros dias, ocorrer uma interrupção das chuvas em um período superior a 12 dias, o período chuvoso terá reinício após a interrupção;
- g) O início da estação seca é caracterizado por uma sequência de 8 dias sem precipitações ou quando as mesmas são tão baixas que não atingem a metade da ETP diária;
- h) Se no mês de março ocorrer totais pluviométricos inferiores a ETP mensal e no mês de abril os percentuais acumulados de precipitação ficarem acima de 80% da ETP

mensal e chuvas bem distribuídas ao longo do mês, o que se observa no mês de março é que as baixas precipitações foram ocasionadas pelo fenômeno veranico;

- i) O mês de maio será considerado chuvoso se em abril as chuvas forem abundantes para repor a ETP mensal

Para o presente trabalho, o início da estação seca, foi considerado no dia imediatamente após a última chuva antes de uma sequência de 8 dias sem chuva ou com precipitações insignificantes, cujos acumulados ficam abaixo da metade da ETP, conforme a metodologia aplicada por Assunção (2013).

Posteriormente foi realizado a correlação entre as médias mensais das variáveis climáticas: precipitação (mm), temperatura (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (m/s) e o somatório dos focos de calor mensais do período analisado. Para avaliar a significância de cada correlação foi utilizado o teste de tukey (teste t) a 5% de probabilidade.

A realização do teste de correlação foi feita através do software livre denominado R, o qual está disponível como Software Livre sob os termos da "Licença Pública Geral do GNU" da Fundação do Software Livre (*Free Software Foundation's GNU General Public License*) na forma de código fonte (SILVA et al., 2009).

Segundo Campos e Souza (2009) o R é uma linguagem e ambiente de computação estatística e construção de gráficos; é considerada uma variante da linguagem S (laboratórios Bell, desenvolvida por John Chambers e seus colegas). Foi criado a partir da origem da *R Foundation for Statistical Computing*, visando criar uma ferramenta gratuita e de uso livre, tanto para análise de dados quanto para construção de gráficos.

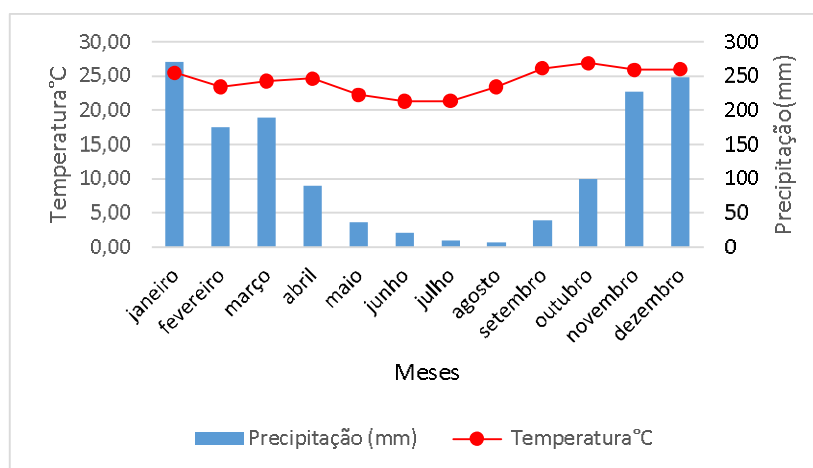
## 4.2. Resultados e Discussão

Verificou-se que os meses de janeiro e dezembro apresentaram as maiores precipitações acumuladas, sendo que foram registrados nesses meses 269,92mm e 248,56 mm, respectivamente, ao passo que as menores precipitações acumuladas foram registradas nos meses de julho (9,77 mm) e agosto (6,86 mm). No que diz respeito à temperatura, as maiores temperaturas foram registradas nos meses de setembro e outubro, 26,12°C e 26,85°C, respectivamente, enquanto que nos meses de junho (21,30°C) e julho (21,33°C) as temperaturas foram menores (Gráfico 3).

No que diz respeito à umidade relativa do ar, os meses em que foram registrados os maiores valores foram janeiro (76,86 %) e dezembro (76,72%), enquanto que nos meses de agosto (48,88%) e setembro (46,68%) foram registrados os menores valores (Gráfico 4)

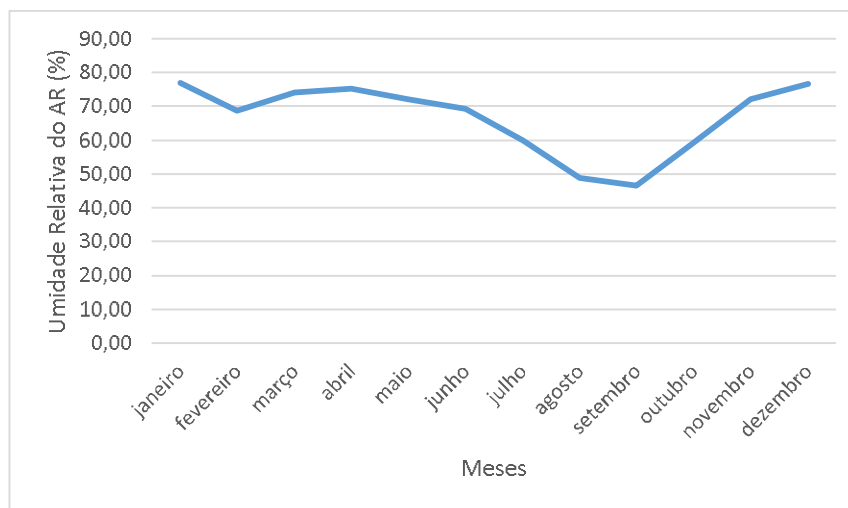
Para a velocidade do vento observou-se que os meses de setembro (1,87 m/s) e outubro (1,64 m/s) apresentaram os maiores valores, já nos meses de fevereiro (0,91 m/s) e março (0,92 m/s) foram verificados os menores valores (Gráfico 5).

Gráfico 3. Climograma da Estação Meteorológica de Ituiutaba (2008-2017)



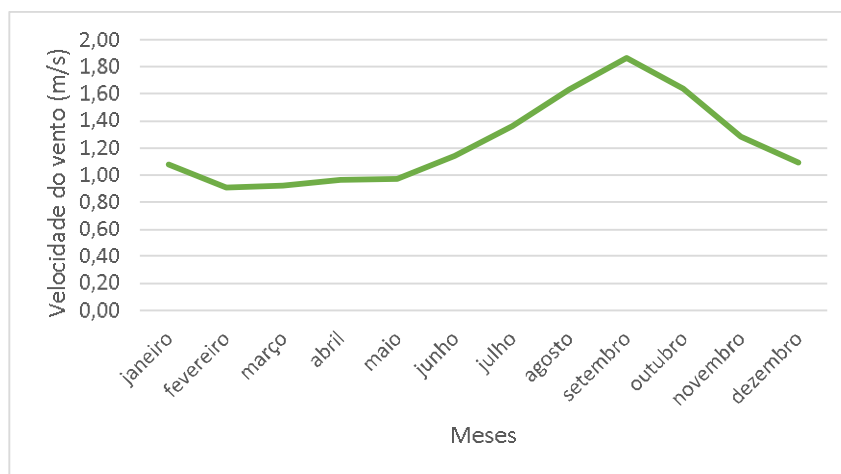
Fonte: INMET (2018)  
Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

Gráfico 4. Umidade Relativa do Ar para o município de Ituiutaba-MG (2008-2017)



Fonte: INMET (2018)  
Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

Gráfico 5.Velocidade do vento para o município de Ituiutaba-MG (2008-2017)



Fonte: INMET (2018)  
Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

A tabela 3 apresenta os resultados do balanço hídrico a partir dos dados obtidos pela Estação Meteorológica Automática de Ituiutaba-MG. Verifica-se que nos meses de menores ETP foram registrados baixas temperaturas e precipitações, por outro lado verifica-se um aumento da deficiência hídrica. Nesse período a vegetação reduz o metabolismo levando ao acúmulo de material combustível no piso florestal em virtude da perda de folhas de espécies decíduas.

Tabela 3. Variáveis do balanço hídrico da Estação Automática de Ituiutaba-MG, médias mensais do período de 2008 a 2017

Meses	T (°C)	P(mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
janeiro	27,06	235,20	159,31	0,00	75,89
fevereiro	27,83	116,20	160,00	8,33	0,00
março	27,17	166,40	157,80	0,00	0,00
abril	24,62	83,40	104,71	7,27	0,00
maio	22,23	3,90	73,40	39,90	0,00
junho	21,05	22,00	57,19	26,44	0,00
julho	22,88	3,30	77,71	63,52	0,00
agosto	23,10	0,00	82,18	76,65	0,00
setembro	27,47	27,80	148,48	117,65	0,00
outubro	26,56	200,30	143,56	0,00	0,00
novembro	26,37	213,00	141,45	0,00	29,59
dezembro	27,32	220,20	169,25	0,00	50,95

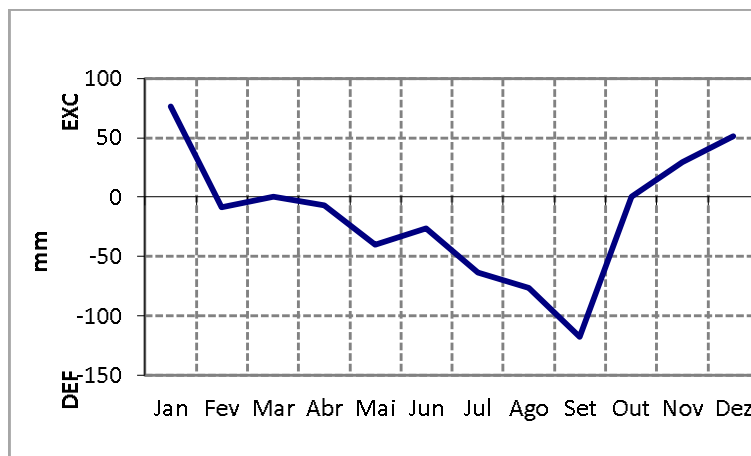
T = Temperatura do ar; P = Precipitação; ETP = Evapotranspiração Potencial; DEF = Deficiência Hídrica e EXC = Excedente Hídrico.

Fonte: INMET (2018).  
Org.: OLIVEIRA, T. M.O.,2018.

Os meses de maio a setembro foram os meses que apresentaram as maiores deficiências hídricas, significando que esses meses são os mais propensos a ocorrência de incêndios florestais, pois segundo Moreira e Silva (2004), a maior deposição de serapilheira ocorre em picos de seca, em virtude do estresse hídrico. E associada a baixa umidade relativa do ar, altas temperaturas e velocidade do vento, serve de material combustível. Por outro lado, nos meses de novembro a janeiro foram registrados os maiores excedentes hídricos.

O gráfico 6 apresenta o déficit e excedente hídrico para a Estação Meteorológica de Ituiutaba no período de 10 anos (2008-2017).

Gráfico 6.Extrato do Balanço Hídrico para o município de Ituiutaba-MG (2008-2017)



Fonte: INMET (2018)  
Org.: OLIVEIRA, T.M.O., 2018

Com relação à duração da estação seca e chuvosa, verificou-se que os meses de 2011 e 2016 apresentaram as maiores durações da estação seca com 214 e 235 dias, respectivamente. Por outro lado, os anos de 2008 e 2009 apresentaram as menores durações da estação seca com 133 e 122 dias, respectivamente (Tabela 4). Verificou-se que a estação seca tem uma duração média de 174 dias.



Tabela 4.Duração da estação seca e chuvosa (2008-2017) no município de Ituiutaba-MG

Estação Seca			Estação chuvosa		
Ano	Dias sem chuva	Período	Dias chuvosos	Anos	Período
2008	133	11/05 - 21/09	-	-	-
2009	122	02/05-21/08	220	2008/2009	22/09-01/05
2010	163	11/04-21/09	200	2009/2010	22/09-10/04
2011	214	01/04-01/11	191	2010/2011	22/09-31/03
2012	193	11/04-21/10	160	2011/2012	02/11-10/04
2013	183	21/04-21/10	180	2012/2013	22/10-20/04
2014	203	01/04-21/10	160	2013/2014	22/10-31/03
2015	143	21/05-11/10	210	2014/2015	22/10-20/05
2016	235	10/03-31/10	149	2015/2016	12/10-09/03
2017	143	21/05-11/10	200	2016/2017	01/11-20/05

Fonte: INMET (2018)

Org.: OLIVEIRA, T. M.,2018.

Na realização do teste de correlação entre as variáveis meteorológicas e os focos de calor, verificou-se que a velocidade do vento e a umidade relativa do ar e a precipitação foram as variáveis que apresentaram correlações significativas (Tabela 5), sendo que a velocidade do vento e umidade relativa do ar apresentaram correlações muito altas, ao passo que a correlação da precipitação foi moderada.

Tabela 5.Coefficientes de Correlação de Pearson entre os focos de calor e a Temperatura (°C), Precipitação (mm), Umidade Relativa do ar (%) e Velocidade do Vento (m/s)

Correlação	Coefficiente R
Focos de calor *Temperatura	0,07
Focos de calor *Precipitação	-0,61*
Focos de calor * Umidade Relativa do ar	-0,96*
Focos de calor * Velocidade do Vento	0,93*

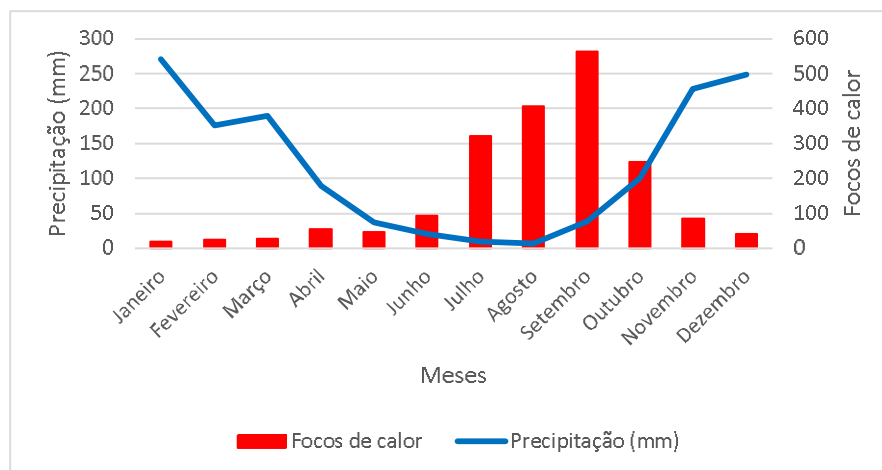
\*significativo a 5% pelo teste t

Fonte: OLIVEIRA, T.M. (2018)

No que diz respeito às correlações, tanto a precipitação quanto a umidade relativa do ar apresentaram correlações negativas:  $r=-0,61$  e  $-r=0,96$ , respectivamente, indicando uma relação inversamente proporcional com os focos de calor, isto é, quantos menores forem os valores de precipitação e umidade relativa do ar mais focos de calor poderão contribuir para o maior risco de ocorrência de incêndios florestais.

No município de Ituiutaba, verificou-se que nos meses de julho a setembro foram registradas as maiores quantidades de focos de calor, coincidindo com os meses em que foram apresentadas as menores precipitações médias (Gráfico 7).

Gráfico 7. Precipitações médias e focos de calor registrados entre os anos de 2008 a 2017



Fonte: CPTEC, INMET (2018)  
Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

Seger et al. (2012) ao analisar os incêndios florestais que ocorreram em vinte e dois municípios da região leste do estado do Paraná verificou que nos períodos de menores índices pluviométricos houve os maiores registros de incêndio, considerando o período de 2006 a 2009. No que diz respeito à umidade relativa do ar, Torres (2006) afirma que a baixa umidade resulta em um déficit na formação de nebulosidade, permitindo uma maior atuação da radiação solar sobre a superfície, que por sua vez aumenta a temperatura do ar, contribuindo para o aumento do risco de ocorrência do fogo.

A velocidade do vento apresentou uma alta correlação positiva com os focos de calor ( $r=0,93$ ), indicando uma influência direta dessa variável com o registro dos focos de calor. Quanto maior a exposição dos vegetais ao vento e ao sol, mais susceptíveis à perda de umidade, sendo que a influência do vento é mais eficaz do que do sol (IBAMA, 2010).

Esses resultados revelam uma relação direta com a forma fisionômica ou mesmo com o bioma Cerrado em suas formações savânicas e florestais. Essas formações apresentam dossel descontínuo que, associado a deciduidade de algumas espécies, propicia a perda de umidade do ar nos períodos de menor precipitação e, consequentemente, a perda de umidade do material combustível.

## **5. ÍNDICES DE PERIGO DE INCÊNDIO FLORESTAL**

---

Os índices de perigo de incêndios florestais são ferramentas que auxiliam na prevenção e na mitigação dos efeitos causados por esses eventos. Para Colombati (2007) os índices auxiliam ainda na tomada de decisões quanto às formas de extinção conforme as condições meteorológicas presentes.

Segundo Santos et al. (2015), os índices de perigo de incêndios refletem a possibilidade de ocorrência e/ou propagação de um incêndio, baseado nas condições atmosféricas do dia ou de uma sequência de dias. Para Cheney (1968), os índices de perigo de incêndios florestais proporcionam uma resposta em 80% das situações, sendo suficiente para o planejamento eficiente do controle de incêndios.

Neste capítulo será abordado sobre a aplicação dos índices de perigo de incêndios florestais em função das informações meteorológicas fornecidas pela Estação Meteorológica Automática de Ituiutaba-MG.

### **5.1.Procedimentos metodológicos**

O monitoramento dos incêndios florestais através dos Índices de Perigo de Incêndio Florestal ocorreu no período de 01/05/2017 a 31/10/2017. Foram calculados os Índices de Angstron, Índice Logarítmico de Tecylin, Índice de Nesterov, Fórmula de Monte Alegre e Fórmula de Monte Alegre Alterada.

Dentre os índices citados acima, o índice de Angstron é o único não cumulativo, sendo calculado a partir da seguinte fórmula:

$$B=0,05H-0,1 (T-27)$$

Em que:

B= Índice de Angstron

H= Umidade Relativa do Ar (%)

T= Temperatura do ar (°C)

Quando o valor de B for inferior a 2,5, significa que haverá risco de incêndio florestal, em função das condições atmosféricas do dia (UFPR,2016).

O Índice Logarítmico de Telicyn é calculado conforme a seguinte fórmula:

$$I = \sum_{i=1}^n \log(t_i - r_i)$$

Em que:

i= Índice de Telicyn

t= temperatura do ar °C

r= temperatura do ponto de orvalho em °C

log= logaritmo na base 10

Vale ressaltar que no cálculo desse índice deve ser considerado a precipitação diária, pois se a mesma for igual ou superior a 2,5 mm, a somatória terá de ser refeita no dia seguinte ou quando a chuva cessar, uma vez que nos dias de chuva o índice é igual a zero.

Por ser cumulativo, a interpretação do índice é feita por meio da escala mostrada abaixo:

Tabela 6. Escala de Interpretação do Índice de Telicyn

<b>Valor de I Grau de Perigo</b>	
≤ 2,0	Nenhum
2,1 a 3,5	Pequeno
3,6 a 5,0	Médio
> 5,0	Alto

Fonte: UFPR (2016)  
Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

O Índice de Nesterov é expresso pela seguinte equação:

$$G = \sum_{i=1}^n d_i - t_i$$

Em que:

G = Índice de Nesterov

Di = déficit de saturação de ar em milibares

Ti = temperatura do ar em °C

O cálculo do déficit de saturação do ar, por sua vez, é obtido através da seguinte fórmula:

$$d = E \left( 1 - \frac{H}{100} \right)$$

Em que:

**d** = déficit de saturação do ar em milibares

**E** = pressão máxima de vapor d'água em milibares

**H** = umidade relativa do ar em %

O cálculo do Índice de Nesterov apresenta limitações em sua somatória, conforme tabela abaixo:

Tabela 7. Restrições para o cálculo do Índice de Nesterov

Chuva do dia (em mm)	Modificação no cálculo
$\leq 2,0$	Nenhuma
2,1 a 5,0	Abater 25% no valor de G calculado na véspera e somar (d.t) do dia.
5,1 a 8,0	Abater 50% no valor de G calculado na véspera e somar (d.t) do dia.
8,1 a 10,0	Abandonar a somatória anterior e recomençar novo cálculo, isto é, $G = (d.t)$ do dia.
$> 10,0$	Interromper o cálculo ( $G=0$ ), recomençando a somatória no dia seguinte ou quando a chuva cessar.

Fonte: UFPR (2016)

Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

A interpretação dos resultados do Índice de Nesterov (G), estão expressos de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 8. Interpretação para o cálculo do Índice de Nesterov

Valor de G	Grau de Perigo
$\leq 300$	Nenhum risco
301 a 500	Risco pequeno
501 a 1000	Risco médio
1001 a 4000	Grande risco
$> 4000$	Altíssimo risco

Fonte: UFPR (2016)

Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

A fórmula de Monte Alegre é expressa através da seguinte fórmula:

$$FMA = \sum_{i=1}^n (100/H_i)$$

Em que:

FMA= Fórmula de Monte Alegre

N= número de dias sem chuva

H<sub>i</sub>= umidade Relativa do ar medida às 13 horas

Assim como os demais índices apresentados anteriormente, é um índice sujeito à precipitação, de acordo com a tabela 9.

Tabela 9. Influência da precipitação no cálculo da FMA

Chuva do dia (em mm)	Modificação no cálculo
≤ 2,4	Nenhuma
2,5 a 4,9	Abater 30% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
5,0 a 9,9	Abater 60% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
10,0 a 12,9	Abater 80% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
> 12,9	Interromper o cálculo (FMA=0) e recomeçar a somatória no dia seguinte.

Fonte: UFPR (2016)

Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

Os resultados da FMA podem ser interpretados, conforme tabela abaixo:

Tabela 10. Interpretação dos resultados da FMA

Valor de FMA	Grau de Perigo
≤ 1,0	Nulo
1,1 a 3,0	Pequeno
3,1 a 8,0	Médio
8,1 a 20,0	Alto
> 20,0	Muito alto

Fonte: UFPR (2016)

Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

E, por último, a Fórmula de Monte Alegre Alterada, é obtida a partir da seguinte equação:

$$FMA^+ = \sum_{i=1}^n (100/H_i) e^{0,04v}$$

Em que:

H<sub>i</sub>= umidade Relativa do ar medida às 13 horas

e= base de logaritmos naturais (2,718282)

v= velocidade do vento em m/s medida às 13 horas.

n= número de dias sem chuva maior ou igual a 13 milímetros

O cálculo da  $FMA^+$  é afetado pelas seguintes condições:

Tabela 11. Influência da precipitação diária no cálculo da  $FMA^+$

Chuva do dia (em mm)	Modificação no cálculo
$\leq 2,4$	Nenhuma
2,5 a 4,9	Abater 30% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
5,0 a 9,9	Abater 60% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
10,0 a 12,9	Abater 80% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
$> 12,9$	Interromper o cálculo ( $FMA=0$ ) e recomeçar a somatória no dia seguinte.

Fonte: UFPR (2016)  
Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

A interpretação do grau de perigo estimado pela  $FMA^+$ , assim como os demais índices cumulativos é feita através de uma escala.

Tabela 12. Interpretação dos resultados da  $FMA^+$

Valor de $FMA^+$	Grau de Perigo
$\leq 3,0$	Nulo
3,1 a 8,0	Pequeno
8,1 a 14,0	Médio
14,1 a 24,0	Alto
$> 24,0$	Muito alto

Fonte: UFPR (2016)  
Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

A fim de avaliar qual índice obteve o melhor desempenho foi realizado um teste de correlação foi realizado um teste de correlação entre com a quantidade de focos de calor detectados pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) nos meses de maio a outubro de 2017 no município de Ituiutaba-MG.

## 5.2. Resultados e Discussão

Verificou-se que o índice de Angstron registrou risco de incêndio florestal somente para o mês de setembro, conforme tabela 13

Tabela 13. Índice de Angstron (B) registrado para os meses de maio a outubro de 2017

Meses	B	Grau de risco
Maio	8,20	Nenhum
Junho	10,13	Nenhum
Julho	11,12	Nenhum
Agosto	4,53	Nenhum
Setembro	-1,69	Alto
Outubro	2,63	Nenhum

Fonte: INMET (2018)  
Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

Nos demais índices (Índice Logarítmico de Telicyn, Nesterov, Fórmula de Monte Alegre e fórmula de Monte Alegre Alterada) constatou-se que o mês de maio apresentou risco pequeno para o Índice Logarítmico de Telicyn e para a Fórmula de Monte Alegre Alterada e médio para os Índices de Nesterov e para a Fórmula de Monte Alegre, já para os meses de junho a outubro foram registrados altos riscos de incêndio. (Tabela 14,15,16,17,)

Tabela 14. Índice Logarítmico de Telicyn (I) registrado para os meses de maio a outubro de 2017

<b>Meses</b>	<b>I</b>	<b>Grau de risco</b>
Maio	2,77	Pequeno
Junho	20,03	Alto
Julho	47,91	Alto
Agosto	80,26	Alto
Setembro	119,99	Alto
Outubro	11,53	Alto

Fonte: INMET (2018)  
Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

Tabela 15. Índice de Nesterov (G) registrado para os meses de maio a outubro de 2017

<b>Meses</b>	<b>G</b>	<b>Grau de Risco</b>
Maio	961.41	Médio
Junho	6676.51	Alto
Julho	16974.73	Alto
Agosto	30245.81	Alto
Setembro	49683.10	Alto
Outubro	29071.82	Alto

Fonte: INMET (2018)  
Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

Tabela 16. Fórmula de Monte Alegre (FMA) registrada para os meses de maio a outubro de 2017

<b>Meses</b>	<b>FMA</b>	<b>Grau de risco</b>
Maio	6.81	Médio
Junho	43.35	Alto
Julho	102.04	Alto
Agosto	176.68	Alto
Setembro	283.86	Alto
Outubro	164.02	Alto

Fonte: INMET (2018)  
Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018



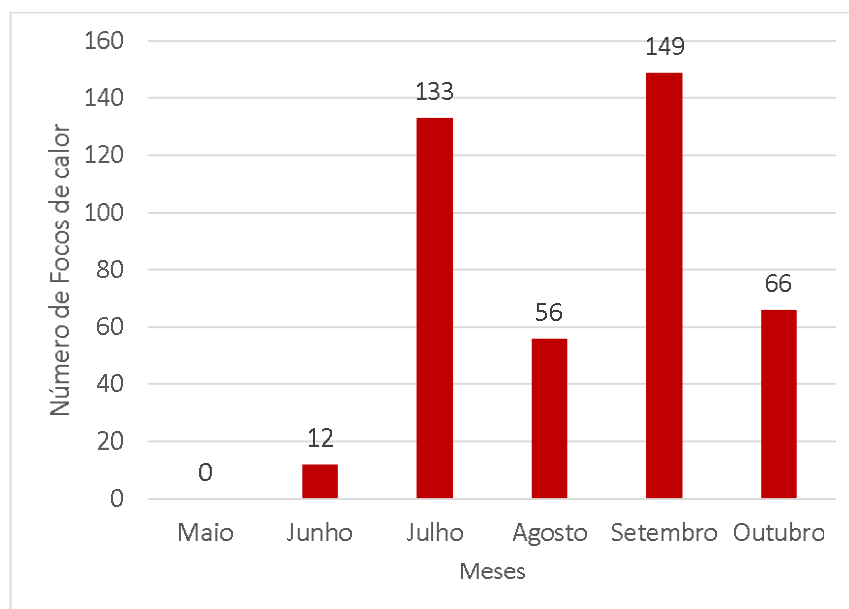
Tabela 17.Fórmula de Monte Alegre (FMA<sup>+</sup>) registrada para os meses de maio a outubro de 2017

Meses	FMA <sup>+</sup>	Grau de risco
Maio	7.38	Pequeno
Junho	46.99	Alto
Julho	114.23	Alto
Agosto	198.81	Alto
Setembro	323.34	Alto
Outubro	181.70	Alto

Fonte: INMET (2018)  
Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

Nesse mesmo período, foram registrados 417 focos de calor do total (Gráfico 8), correspondendo a 89,08% dos focos de calor registrados no ano de 2017.

Gráfico 8.Focos de calor registrados entre os meses de maio a outubro de 2017.



Fonte: CPTEC, INPE (2018)  
Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

Vale ressaltar que embora tenham sido registrado risco pequeno para os índices I e FMA<sup>+</sup> e risco médio para os índices (G e FMA) não foi registrado nenhum foco de calor, todavia esses índices foram criados sob condições climáticas diferentes da área de estudo, além disso o início da estação seca foi registrado a partir do mês de maio e isso pode ter influenciado na possibilidade de risco para esse mês. Na realização do teste de correlação entre os índices com os focos de calor registrados entre maio a outubro de 2017, verificou-se que os índices cumulativos (I, G, FMA e FMA<sup>+</sup>) apresentaram altas correlações, enquanto o índice de

Angstron (B) apresentou uma correlação moderada negativa, entretanto nenhuma correlação foi significativa (Tabela 18).

Tabela 18. Coeficientes de correlação entre os índices de Perigo de Incêndio Florestal com os focos de calor no período de maio a outubro de 2017

<b>Índices de Perigo de Incêndio</b>	<b>Coeficiente de correlação (r)</b>
B	-0,43 <sup>ns</sup>
I	0,73 <sup>ns</sup>
G	0,75 <sup>ns</sup>
FMA	0,76 <sup>ns</sup>
FMA <sup>+</sup>	0,76 <sup>ns</sup>

B: Índice de Angstron; I: Índice logarítmico de Telicyn; G: Índice de Nesterov; FMA: Fórmula de Monte Alegre; FMA<sup>+</sup>: Fórmula de Monte Alegre.

Ns: não significativa pelo teste t a 5 % de probabilidade

Fonte: OLIVEIRA, T.M. (2018)

Provavelmente nenhuma correlação foi significativa em virtude do período de avaliação, tendo em vista que o período foi restrito aos meses de maio a outubro. Todavia, em todos os meses em que os índices cumulativos registraram altos risco de incêndio florestal foram registrados focos de calor, evidenciando que os índices de perigo de incêndio constituem uma das alternativas que podem auxiliar na prevenção e combate dos incêndios florestais.

## 6. ÍNDICE DE DIFERENÇA DE VEGETAÇÃO NORMALIZADA (NDVI)

---

A compreensão das condições de vegetação nas épocas mais propícias a ocorrências de incêndio é primordial para o desenvolvimento de técnicas de controle, prevenção e manejo do fogo. Dentre as ferramentas que auxiliam na compreensão das condições da vegetação destaca-se os índices espectrais de vegetação (IVs), os quais podem ser conceituados como formulações matemáticas desenvolvidas a partir de dados espectrais obtidos por sensores remotos, em especial nas bandas do vermelho e infravermelho-próximo (FORMAGIO e Del'ARCO, 2017).

O IV mais utilizado é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), o qual varia entre -1 a 1. Esse índice é obtido através da fórmula  $NDVI = (IP - V) / (IP + V)$ , em que IP é a reflectância no pixel no infravermelho próximo e V é a reflectância no vermelho.

Liu (2007) afirma que o NDVI apresenta como vantagens: classificar a distribuição global de vegetação; permite inferir variabilidades ecológicas e ambientais; auxilia na análise da produção de fitomassa, bem como na avaliação da radiação fotossinteticamente ativa e da produtividade de culturas.

Prudente (2016) afirma que o risco de incêndio está relacionado ao regime hídrico imposto a vegetação. Sendo que a relação entre o NDVI e o estresse hídrico é inversamente proporcional, isto é, quanto maior o estresse hídrico menor será o valor do NDVI.

Para Holben (1986) *apud* Pereira Júnior (2002) os graus de risco de incêndios florestais em função do NDVI podem ser interpretados da seguinte maneira:

- Valores altos, ao redor de 0,5, indicam vegetação verde cobrindo densamente o solo, portanto com baixo risco de fogo;
- Valores baixos, em entorno de 0,1 representam uma vegetação cobrindo esparsamente o solo, ou vegetação senescente ou seca, ou seja, com maior risco de fogo;
- Valores entorno de zero ou negativos expressam a ausência de vegetação incluindo corpos d'água e solo nu.

Neste capítulo será abordado o monitoramento da vegetação no município de Ituiutaba, através do NDVI entre os meses de maio a outubro do ano de 2017. Ademais, os mapas gerados de NDVI serão importantes, pois fazem parte das variáveis que irão compor os mapas de risco dinâmico.

### 6.1.Procedimentos metodológicos

Inicialmente realizou-se a aquisição das imagens do município de Ituiutaba-MG, através do sensor *Multispectral Instrument* (MSI), instalado a bordo do satélite Sentinel-2 (S-2). Essas imagens encontram-se disponibilizadas no site (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) do *United States Geological Survey* (USGS).

O S-2, produzido pela Agência Espacial Europeia (ESA), apresenta um sensor com 13 bandas espectrais, de alta e média resolução espacial (10, 20 e 60 m) e resolução radiométrica de 12 bits, sendo capaz de alcançar alta resolução temporal (10 dias ou então 5 dias com dois satélites) garantindo a continuidade das informações necessárias para o monitoramento do globo terrestre (VAN DER MEER et al., 2014; ESA, 2018).

Na Tabela 19 encontram-se descritas na tabela abaixo as características das bandas multiespectrais do sensor MSI/Sentinel-2.

Tabela 19. Descrições das bandas multiespectrais do sensor MSI/Sentinel-2

MSI/Sentinel-2		
Nº de banda	Comprimento de Onda(nm)	Nome
2	490	Azul
3	560	Verde
4	665	Visível vermelho
5	705	Vermelho
6	740	Vermelho
7	783	Vermelho
8	842	Infravermelho próximo
8a	865	Vermelho
11	1610	Infravermelho médio
12	2190	Infravermelho médio

Fonte: ESA (2018)

Org.: OLIVEIRA, T.M. (2018)

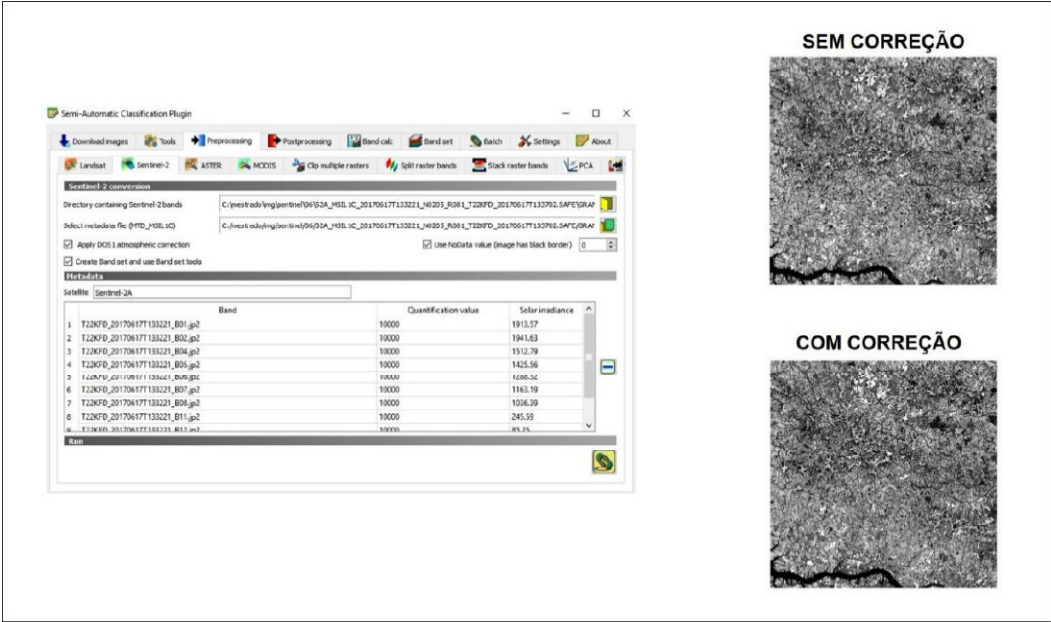
Vale destacar que o município de Ituiutaba está compreendido entre os pontos/órbitas: T22KFD/R081 e T22KFE/R081. Foram coletadas imagens entre os meses de maio a agosto de 2017, em virtude do período de seca (Tabela 20). Em seguida, selecionou-se a opção *Dark Object Subtraction* (DOS-1) para realização da correção atmosférica (Figura 7).

Tabela 20.Pontos/órbita das imagens do Sentinel-2 obtidas entre maio a agosto de 2017

Meses	Ponto/órbita	
	T22KFD/081	T22KFE/081
	Data	Data
Maio	09/05/2017	09/05/2017
Junho	17/06/2017	17/06/2017
Julho	02/07/2017	02/07/2017
Agosto	16/08/2017	16/08/2017
Setembro	05/09/2017	05/09/2017
Outubro	15/10/2017	15/10/2017

Fonte: USGS (2018)  
Org.: OLIVEIRA, T. M., 2018

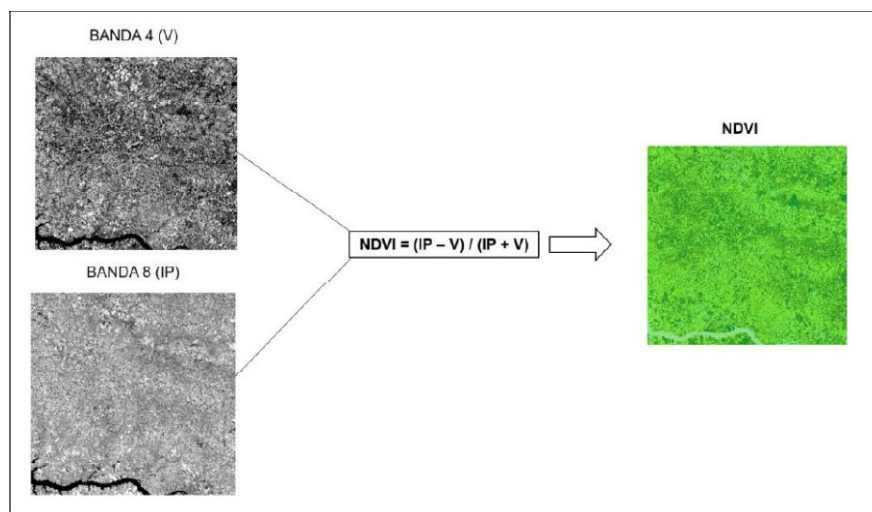
Figura 7.Processamento Digital das Imagens Sentinel-2 através do plugin SCP com a aplicação da correção atmosférica



Fonte: Qgis (2018)  
Elaboração: OLIVEIRA, T.M.O.,2018

Posteriormente, efetuou-se a reprojeção das imagens para o Sistema de Coordenadas SIRGAS 2000. Em seguida foi realizado o cálculo do NDVI, para tanto foram selecionadas as bandas 4 e 8, as quais correspondem às bandas do Vermelho visível e infravermelho próximo, respectivamente (Figura 8). Essa etapa foi realizada através da calculadora raster.

Figura 8. Representação do cálculo do NDVI no Qgis 2.18.24

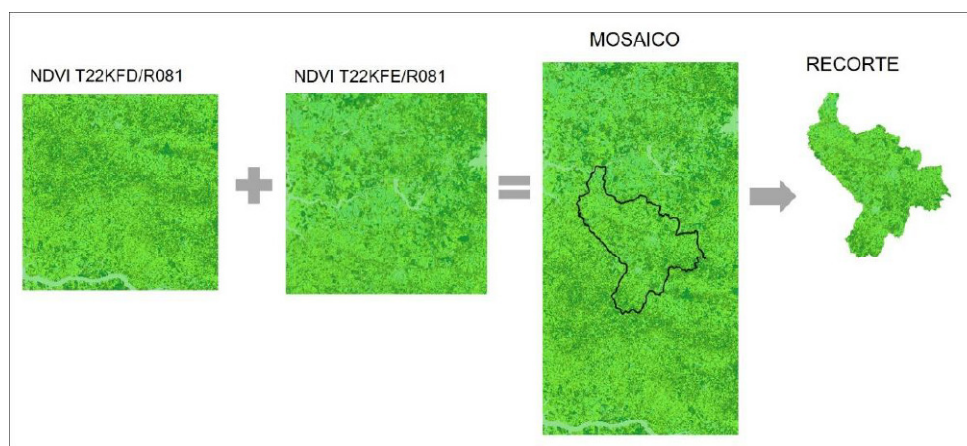


Fonte: Qgis (2018)

Elaboração: OLIVEIRA, T.M.O., 2018

Para a extração dos valores de NDVI para o município de Ituiutaba, procedeu-se a união das imagens de NDVI dos pontos/órbitas T22KFD/R081 e T22KFE/R081 por meio dos comandos Raster- Miscelânea- Mosaico, após essa etapa foi realizado o recorte para a área de estudo (Figura 9) no *software* Q Gis 2.18.24. E, por último, obteve-se a análise estatística das imagens de NDVI, através do comando: “Estatística para Raster”.

Figura 9. Etapas para extração do NDVI para o município de Ituiutaba-MG



Fonte: Qgis (2018)

Elaboração: OLIVEIRA, T.M.O., 2018

## 6.2.Resultados e Discussão

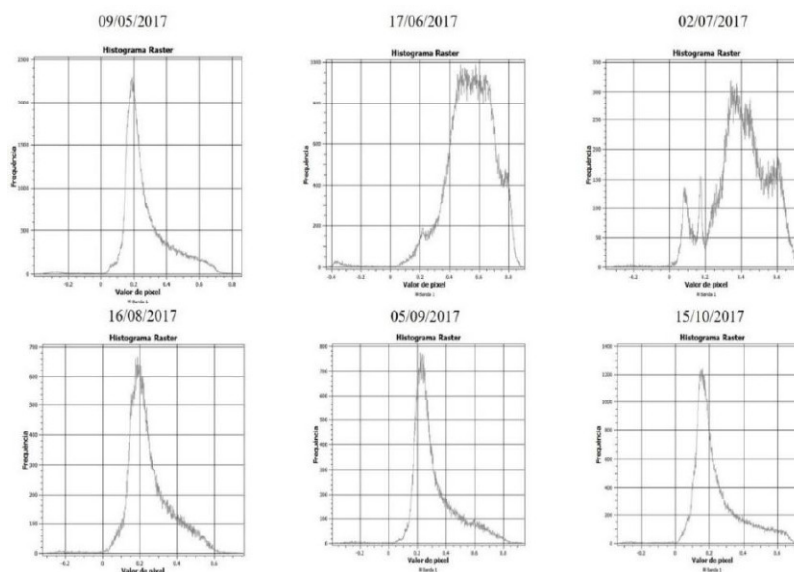
Os valores de NDVI encontrados entre os meses de maio a outubro podem ser visualizados na tabela 21 e figura 10.

Tabela 21. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada mensais registrados entre os meses de maio a outubro de 2017

Dia/Mês/2017	NDVI máximo	NDVI mínimo	NDVI médio	Desvio Padrão
09/05	0,85	-0,45	0,27	0,14
17/06	0,9	-0,56	0,54	0,16
02/07	0,82	-0,57	0,43	0,15
16/08	0,76	-0,38	0,25	0,12
05/09	0,94	-0,49	0,34	0,16
15/10	0,81	-0,41	0,24	0,14

Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

Figura 10.Valores de NDVI entre os meses de maio a outubro de 2017



Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

O maior valor médio de NDVI foi registrado em junho (0,54) (17/06/2017), enquanto que, nos meses de agosto (0,25) e outubro (0,24), foram registrados os menores valores médios para o NDVI. Embora os meses de julho e setembro apresentem valores médios de NDVI de

0,43 e 0,34, respectivamente, foram os meses onde houveram os maiores registros de focos de calor.

Os resultados dessa pesquisa contrariam os resultados de Prudente e Rosa (2009) que, ao utilizarem o NDVI a fim de verificar valores para a vegetação suscetível ao fogo no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, verificaram que as áreas prestes a queimar apresentaram valores médios em torno de 0,15 a 0,21, entre maio e setembro de 2007. Os mesmos autores verificaram ainda que nos meses em que foram constatados os menores valores médios de NDVI (0,15 e 0,16) apresentaram os maiores riscos de ocorrências de incêndio florestal

Coutinho et al. (2016) ao utilizarem o NDVI para a identificação de áreas queimadas no Parque Estadual do Lapa Grande, município de Montes Claros – MG verificaram que esse índice apresentou bons resultados na identificação de áreas que foram queimadas, classificando como tal valores de refletância entre 0,029 e 0,2.



## 7. RISCO ESTRUTURAL DE INCÊNDIO FLORESTAL

A metodologia para elaboração dos mapas de riscos de incêndio florestal está baseada em Prudente (2016), onde serão levados em consideração os riscos estruturais, isto é, fatores que não variam rapidamente como a ocupação do solo e a topografia; os riscos dinâmicos, os quais variam de forma contínua como a condição da vegetação, temperatura, umidade relativa do ar e precipitação. E, por último, será feito a integração dos Riscos Estruturais e Dinâmicos, constituindo o Risco Integrado, a fim de gerar um mapa de risco, contemplando as características estruturais da área juntamente com os fatores climáticos.

Para a elaboração dos mapas de risco integrado foram considerados os seguintes estudos: Soares (1975); EMBRAPA (1979); Sales e Chuvieco (1994); Ferraz e Vettorazzi (1998); Oliveira et al. (2004); Sampaio (2004); Ribeiro et al. (2008) e Prudente (2016).

Neste capítulo serão abordados os procedimentos utilizados para a elaboração do mapa de risco estrutural de incêndio florestal.

### 7.1.Procedimentos Metodológicos

Com relação aos riscos estruturais, foram elaborados os seguintes mapas temáticos: distância das estradas, uso da terra, cobertura vegetal nativa, hipsometria, declividade e orientação das encostas. Posteriormente os mapas foram reclassificados conforme a susceptibilidade ao fogo, sendo que cada classe recebeu um coeficiente que variou de 1 a 3.

Para a distância das estradas, foram estabelecidas as classes de risco, conforme tabela abaixo:

Tabela 22.Risco de incêndio florestal associado à proximidade das rodovias no município de Ituiutaba-MG

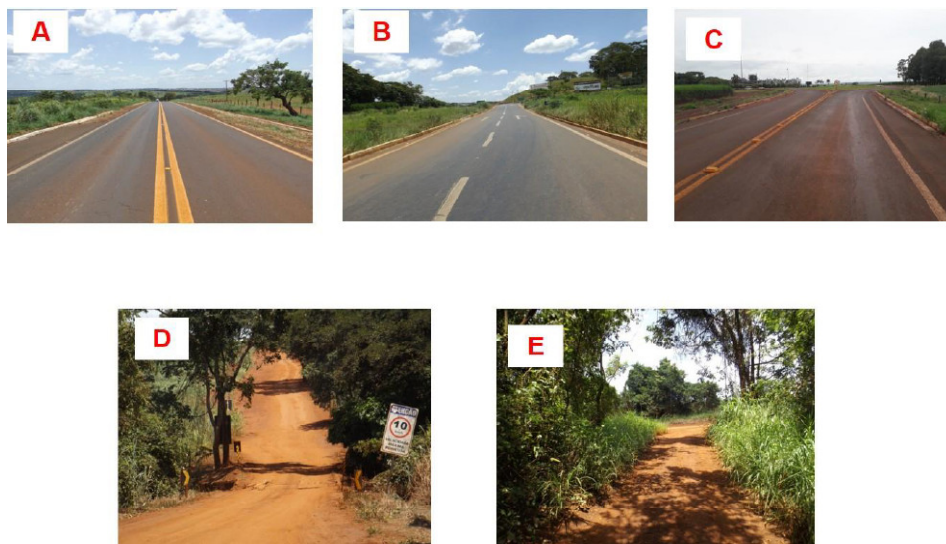
<b>Distância das Estradas e Áreas Urbanas</b>	<b>Distância(m)</b>	<b>Coeficientes</b>	<b>Susceptibilidade ao fogo</b>
MG-226	500	3	Alta
MG-226	1000	2	Média
BR 365/ BR-154	500	3	Alta
BR 365/ BR-154	1000	2	Média
Estradas Municipais	500	3	Alta
Estradas Vicinais	200	2	Média
Área urbana	1000	3	Alta
Fora da área de Influência	-	1	Baixa

Fonte: Adaptado de Ferraz e Vettorazzi (1998),

Org.: OLIVEIRA, T.M. (2018)

Após o levantamento das estradas do município de Ituiutaba, realizou-se o trabalho de campo a fim de identificar os trechos das estradas que estão situados na área de estudo, conforme a figura 11.

Figura 11. Rodovias federais, estaduais e estradas municipais e vicinais no município de Ituiutaba-MG



Obs.: A: BR-154; B: BR-365; C: MG-226; D: Estrada municipal; E: Estrada vicinal  
 Fonte: IEF, 2019; OLIVEIRA, T.M., 2018

A malha viária do município de Ituiutaba foi obtida a partir dos dados da Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA). Salas e Chuvieco (1994) afirmam que lugares localizados nas proximidades de rodovias e trilhas sofrem influência direta antrópica, tornando essas áreas mais propícias a ocorrência de incêndios.

Com relação ao uso da terra e cobertura vegetal, foram consideradas 6 classes, consideradas: agricultura anual, perene, corpo d'água, área urbana, cobertura vegetal nativa, pastagem, silvicultura e outros. Essas classes receberão parâmetros, conforme tabela 10. Esses dados foram obtidos através do mapeamento da cobertura vegetal e uso da terra pela Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável (FBDS), sendo que esse mapeamento foi realizado por meio da classificação supervisionada de imagens *RapidEye*, ano base 2013.

A conferência e edição vetorial foi realizada na escala de 1:10.000. A validação do mapeamento foi feita por meio da conferência de pontos de checagem distribuídos aleatoriamente pelas cenas *RapidEye* (100 pontos para cada cena), os quais foram comparados a imagens de alta resolução. Todas as cenas mapeadas alcançaram a acurácia mínima de 95% (FBDS, 2018).

Tabela 23. Risco de incêndio florestal associado uso da terra e cobertura vegetal no município de Ituiutaba-MG

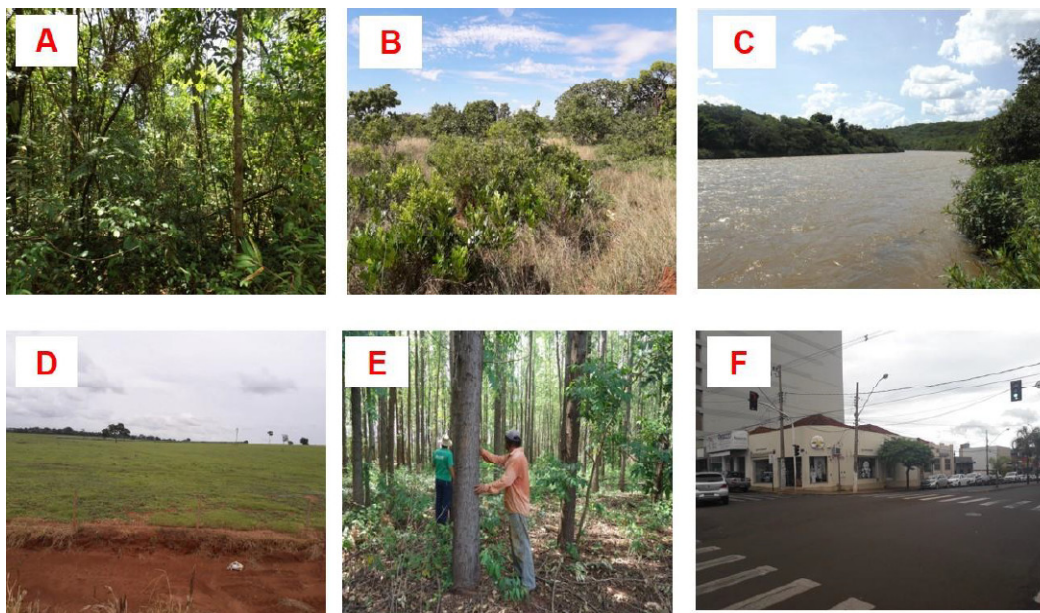
Classes	Coefficientes	Susceptibilidade ao fogo
Formação florestal	1	Baixa
Formação não florestal	3	Alta
Água	0	Nula
Área edificada	1	Baixa
Área antropizada	3	Alta
Silvicultura	1	Baixa

Fonte: Adaptado de Prudente (2016) e Ribeiro (2008);

Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

Para cada uma das classes foi feita a pesquisa de campo a fim de identificar as classes de uso da terra e cobertura vegetal (Figura 12), vale lembrar que foram classificadas como formações florestais vegetação nativa com dossel contínuo; as formações não florestais: vegetação arbustiva ou herbácea nativa; água: espelho d'água contínuo; as áreas edificadas foram consideradas de acordo com o levantamento do IBGE (2013); as áreas antropizadas são áreas desprovidas de vegetação nativa e a classe silvicultura refere-se aos cultivos de *Eucalyptus* sp. ou *Pinnus* sp.

Figura 12. Classes de uso da terra e cobertura vegetal



Obs.: A: Formação florestal; B: Formação Não-Florestal; C: Água; D: Área antropizada; E: Silvicultura; F: Área edificada

Fonte: IEF, 2014; IEF, 2019; OLIVEIRA, T.M., 2018

Os mapas concernentes à orientação das vertentes, hipsometria e declividades foram obtidos por meio das imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM)- cenas: s 19-w50-1arc-v3 e s20-w50-1arc-v3-, utilizando-se do *plugin* MDE (Modelo Digital de Elevação) no Qgis 2.18.24. Posteriormente foi feito o recorte, através do comando: Raster- extrair-recorte para o município de Ituiutaba-MG.

Para a obtenção da orientação de vertentes, utilizou-se o *plugin* MDE e selecionou-se a opção *aspecto*, gerando o *raster*, que por sua vez foi reclassificado em 8 classes, através do comando *r.report*. Foram consideradas 8 classes em virtude dos 8 pontos cardeais, conforme a classificação proposta por Tonello et al. (2006) . A classificação está apresentada na tabela 24, com seus respectivos coeficientes e susceptibilidade ao fogo.

Tabela 24.Risco de incêndio florestal associado a orientação das vertentes

Orientação das Vertentes	Coeficiente	Susceptibilidade ao fogo
0°- 45° (N-NE)	3	Alta
45°-90° (NE-E)	2	Média
90°-135° (E-SE)	1	Baixa
135°-180° (SE-S)	1	Baixa
180°-225° (S-SW)	1	Baixa
225°- 270° (SW-W)	2	Média
270°- 315° (W-NW)	3	Alta
315°-360° (NW-N)	3	Alta

Fonte: Adaptado de Ferraz e Vettorazzi (1998); Tonello (2006) Pudente (2016);

Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

Para geração do mapa hipsométrico, foi feito o recorte das imagens SRTM para o município de Ituiutaba, gerando um *raster* que foi reclassificado em 5 classes, segundo a tabela 25.

Tabela 25.Risco de incêndio florestal associado a hipsometria

Classes	Coeficiente	Susceptibilidade ao fogo
300-400	3	Alta
400-500	3	Alta
500-600	3	Alta
600-700	2	Média
>700	1	Baixo

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2004) e Ribeiro et al. (2008);

Org.: Oliveira, T.M., 2018

E, por último para a declividade (Tabela 26), a qual foi obtida em porcentagem por meio do comando MDE e posteriormente foi reclassificado em 5 classes, conforme classificação da EMBRAPA (1979).

Tabela 26.Risco de incêndio florestal associado a declividade

<b>Classes</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Susceptibilidade ao fogo</b>
0-3%	1	Baixa
3-8%	1	Baixa
8-20%	1	Baixa
20-45%	2	Média
45-75%	3	Alta
>75%	3	Alta

Fonte: EMBRAPA (1979), Soares (1975);

Org.: Oliveira, T. M. (2018)

Após a obtenção de todos os mapas, o risco estrutural foi obtido através da seguinte equação:

$$RE=(DEAU*25)+(USO*40)+(HIPSO*05)+(DEC*20)+(OE*10)$$

Em que:

RE: Risco Estrutural

DE: Declividade

USO: Uso da terra

HIPSO: Hipsometria

DEC: Declividade;

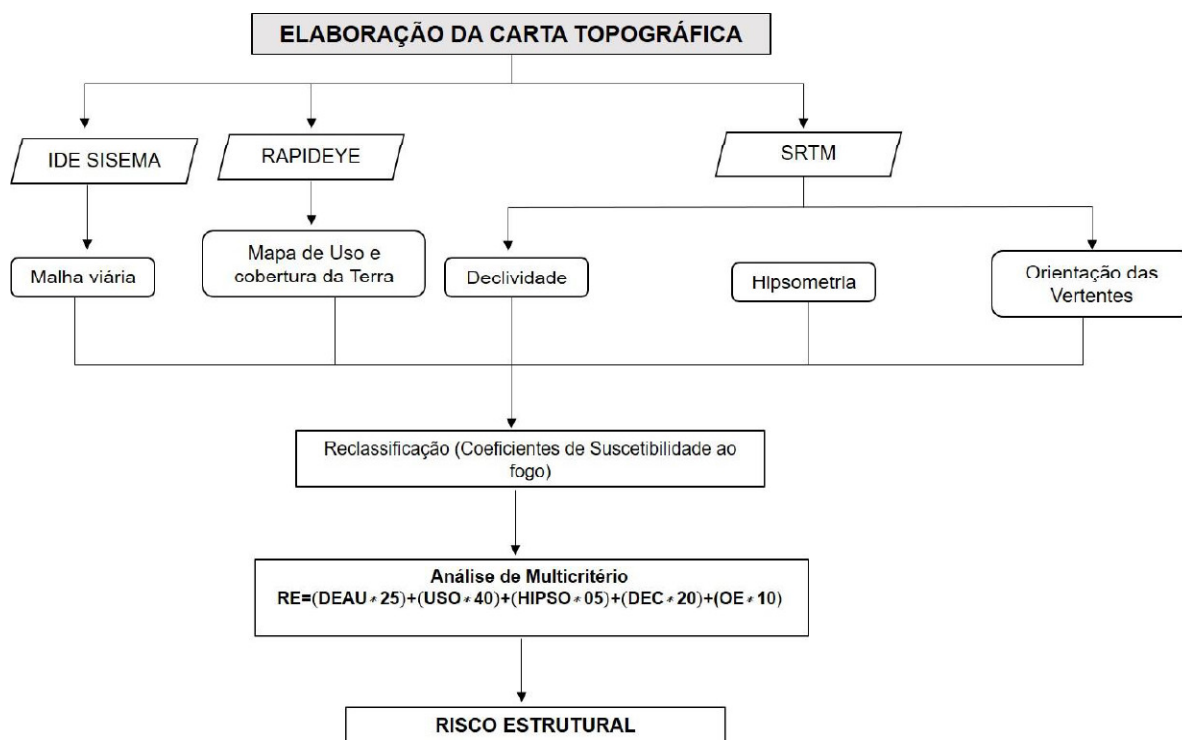
OE: Orientação das Encostas

O uso da terra recebeu o peso maior (40) porque o material combustível é um dos elementos imprescindíveis para a ocorrência de fogo, ao passo que a distância das estradas e área urbana recebeu o segundo maior peso (25) pela grande influência que exercem na probabilidade do início de um incêndio e a declividade recebeu o terceiro maior peso (20) pela influência que exerce no comportamento do fogo (PRUDENTE, 2016).

O somatório de todas as classes de cada um dos critérios vai originar o mapa de risco estrutural de incêndio florestal, o qual foi dividido em cinco classes de risco de incêndio: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto.

As principais etapas para elaboração cartográfica do risco estrutural de incêndio florestal estão apresentadas de maneira sintetizada e esquematizada, conforme a figura 13.

Figura 13. Fluxograma com todas as etapas para elaboração do Mapa de Risco Estrutural



Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

Obs: RE: Risco Estrutural; DEAU: Distância de Estradas e Área Urbana; HIPSO: Hipsometria; DEC: Declividade; OE: Orientação das Encostas

## 7.2.Resultados e Discussão

Conforme Prudente (2016) o risco estrutural de incêndio baseia-se na combinação de variáveis que não variam num curto intervalo de tempo, tais como a distância das estradas e áreas urbanas, uso da terra e cobertura vegetal nativa, hipsometria, declividade e orientação das encostas.

Para Torres (2017) as características dos incêndios são influenciadas pelas complexas interações entre vegetação, clima, topografia e atividades antrópicas no decorrer do tempo. Chang et al. (2015) afirmam que as atividades antrópicas afetam consideravelmente as características dos incêndios, bem como modificam a frequência, área queimada e padrão de distribuição das ocorrências.

A área de estudo é cortada pelas rodovias federais: BR-365 e BR-154 e pela rodovia estadual: MG-226, assim como por estradas municipais e vicinais, de acordo com a tabela 27 e figura 13. A área urbana é referente ao perímetro urbano do município.

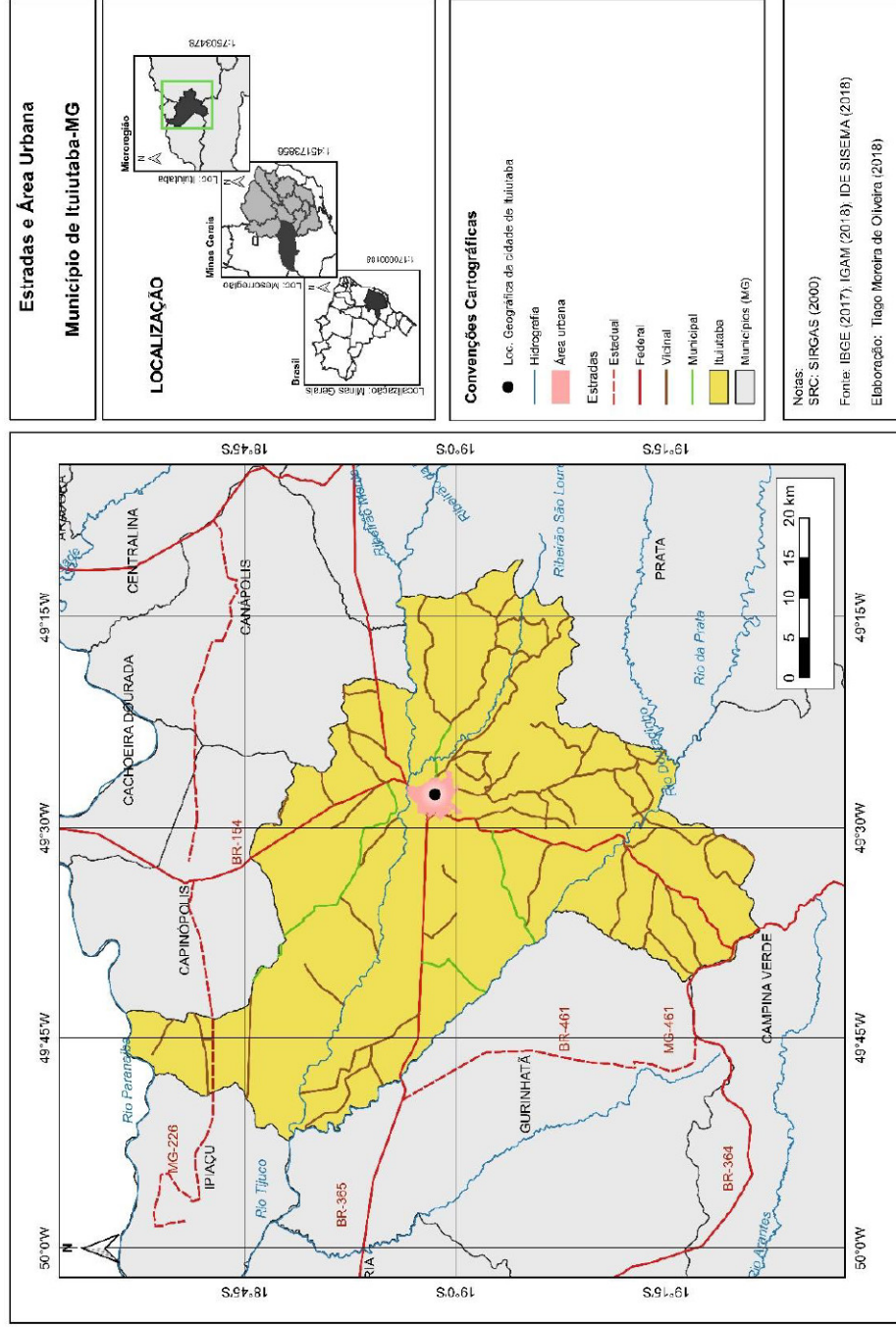
Tabela 27.Área ocupada pelas classes de distância das estradas e áreas urbanas Distância das Estradas e Áreas Urbanas para o município de Ituiutaba-MG

Distância das Estradas e Áreas Urbanas	Distância(m)	Área (Km <sup>2</sup> )	Porcentagem	Susceptibilidade ao fogo
MG-226	500	9,6	0,39%	Alta
MG-226	1000	21,46	0,84%	Média
BR 365/ BR-154	500	135,56	5,28%	Alta
BR 365/ BR-154	1000	274	10,67%	Média
Estradas Municipais	500	75,11	2,92%	Alta
Estradas Vicinais	200	259,02	10,09%	Média
Área urbana	1000	59,2	2,31%	Alta
Fora da área de Influência	-	1733,69	67,51%	Baixa
<b>Total</b>		<b>2568</b>	<b>100%</b>	

Org.: OLIVEIRA, T.M.O (2018)

Pode-se verificar na tabela 27 que em relação ao risco de incêndio associado com a proximidade das estradas e áreas urbanas, a área de estudo possui 67,51% de risco baixo, 21,6 % médio e 10,89 % alto.

Figura 14. Mapa de Estradas e Áreas urbanas do município de Ituiutaba-MG





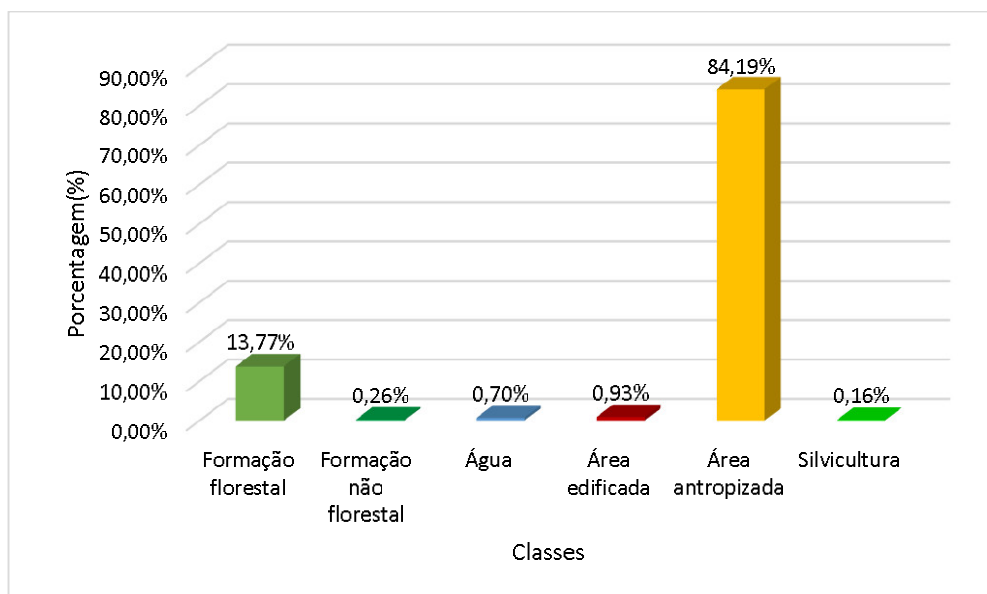
No que tange ao uso da terra e cobertura vegetal a figura 15 ilustra o mapa de uso da terra e cobertura vegetal nativa e a tabela 28 e gráfico 9 enumeram a área ocupada por cada classe em km<sup>2</sup> e suas respectivas porcentagens.

Tabela 28.Área ocupada pelo uso da terra e cobertura vegetal nativa

Classes	Área Km <sup>2</sup>	Porcentagem	Susceptibilidade ao fogo
Formação florestal	359,57	13,77%	Baixa
Formação não florestal	6,77	0,26%	Alta
Água	18,31	0,70%	Nula
Área edificada	24,17	0,93%	Baixa
Área antropizada	2198,65	84,19%	Alta
Silvicultura	4,05	0,16%	Baixa
<b>Total</b>	<b>2611.52</b>	<b>100%</b>	

Org.: OLIVEIRA, T.M. (2018)

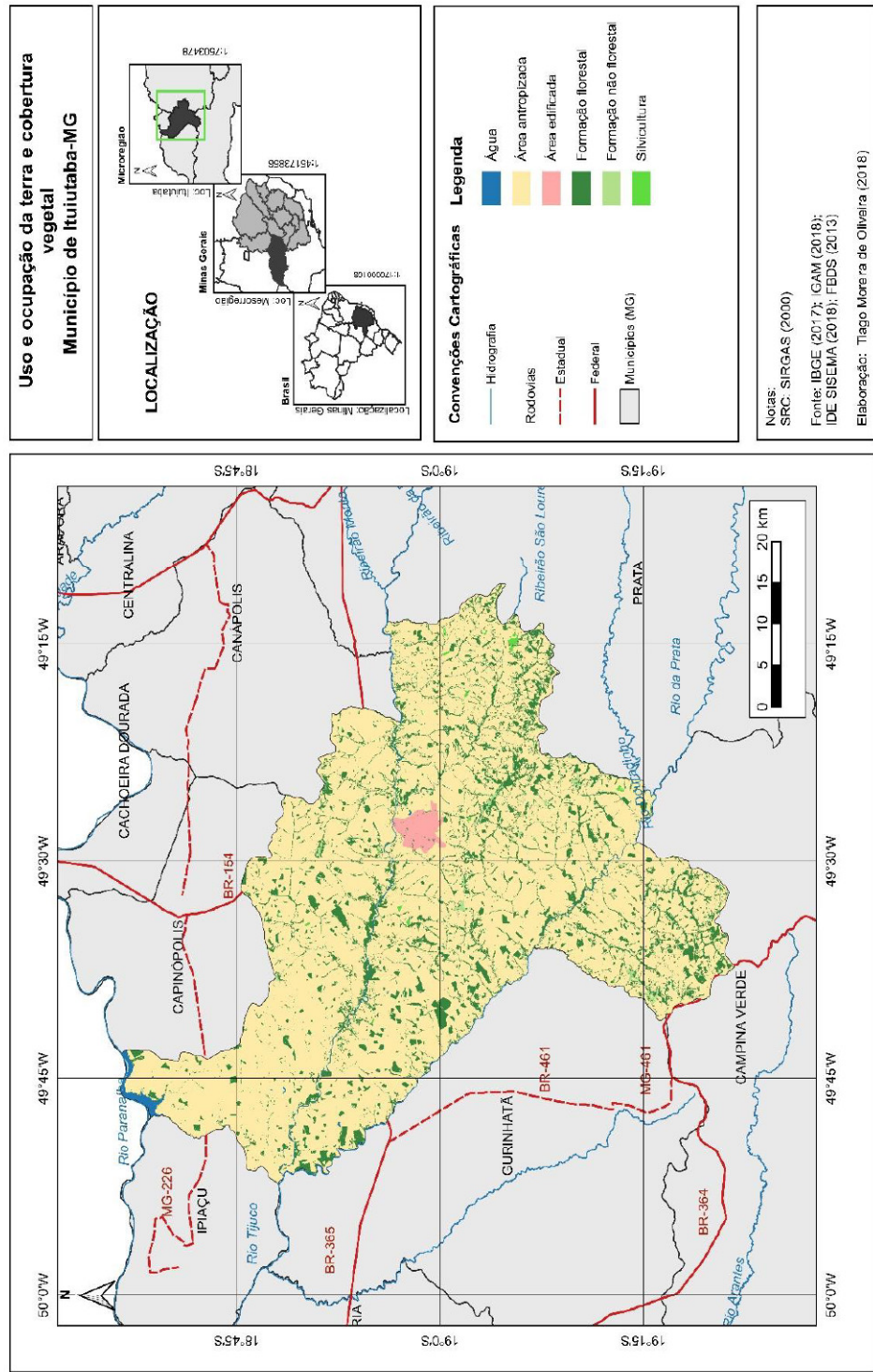
Gráfico 9.Área ocupada pelo uso da terra e cobertura vegetal nativa



Org.: OLIVEIRA, T.M. (2018)

Pode-se verificar que em relação ao uso da terra e cobertura vegetal, a área apresentou 84,45 % de risco alto, 13,93% de risco baixo e 0,70% da área não possui nenhum risco.

Figura 15. Mapa do uso e Ocupação da Terra do Município de Ituiutaba-MG



Segundo Prudente (2016) no mapa hipsométrico, de maneira indireta, o teor de umidade do material combustível, influencia a taxa de propagação dos incêndios, sendo que baixas as elevações apresentam uma tendência de apresentar estações de mais alto risco.

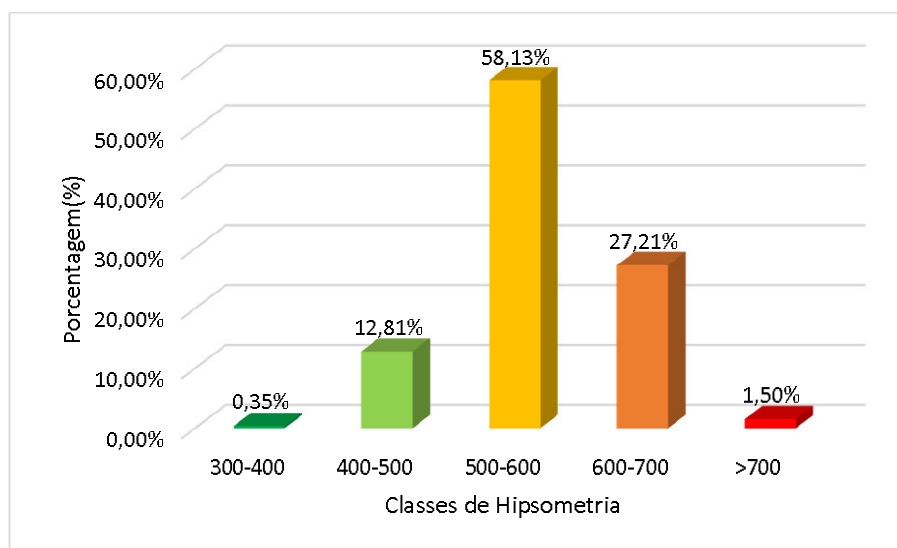
O município de Ituiutaba apresenta uma altitude média que varia entre 460 a 740 m. A figura 16 mostra o mapa de hipsometria da área de estudo e a tabela 29 e o gráfico 10 da área ocupada por cada categoria.

Tabela 29. Área ocupada pelas classes de hipsometria no município de Ituiutaba-MG

<b>Classes</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Susceptibilidade ao fogo</b>
300-400	9,16	0,5%	Alta
400-500	332,77	12,81%	Alta
500-600	1510,62	58,13%	Alta
600-700	707,09	27,21%	Média
>700	38,95	1,50%	Baixa
<b>Total</b>	<b>2598,59</b>	<b>100%</b>	

Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

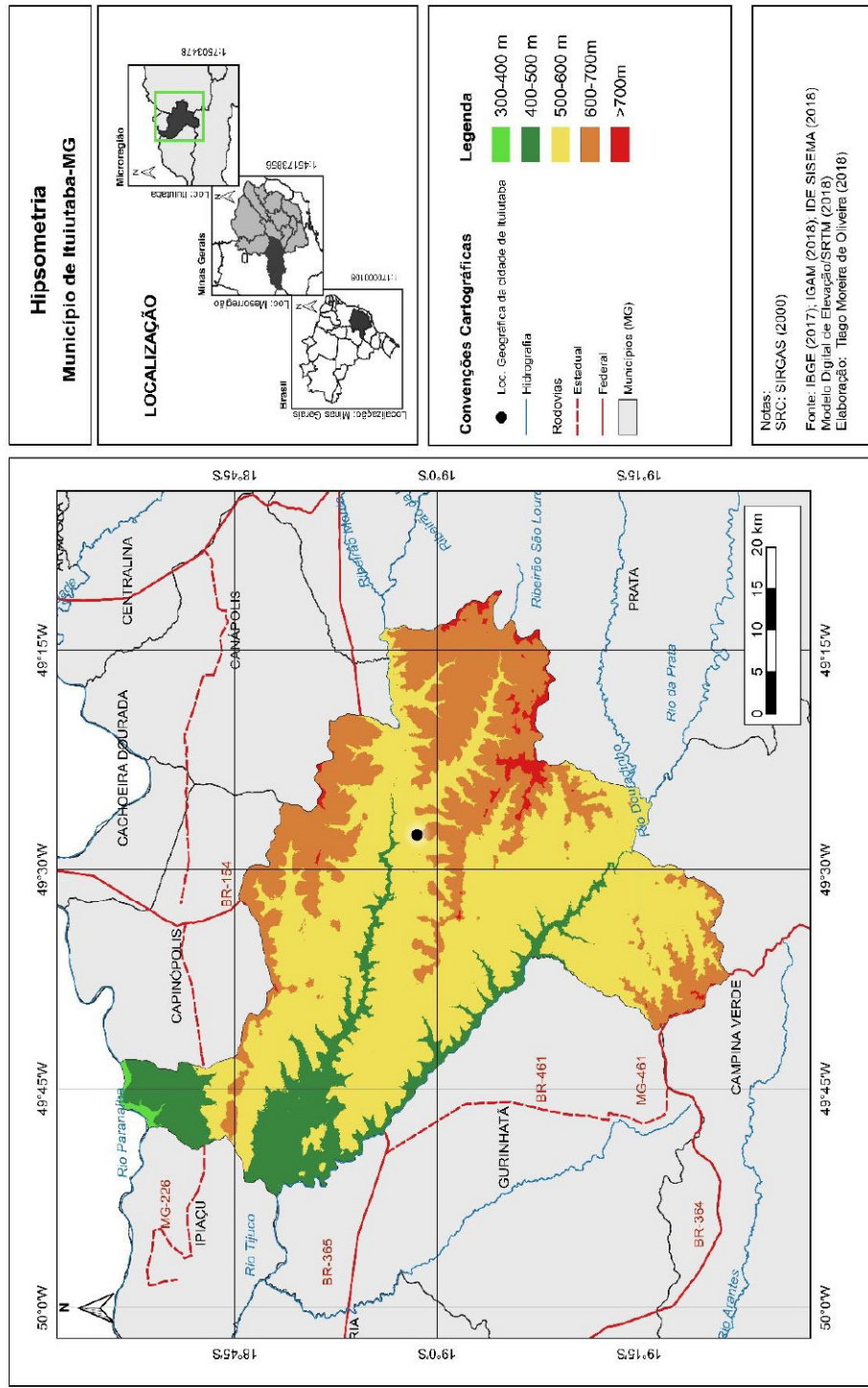
Gráfico 10. Área ocupada pelas classes de hipsometria no município de Ituiutaba-MG



Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

Verifica-se que quanto à hipsometria, 71,29% da área de estudo apresentou alto risco, 27,21 % risco médio e 1,50% risco baixo.

Figura 16. Mapa Hipsométrico do município de Ituiutaba-MG



A declividade, segundo Ribeiro (2012), afeta o comportamento do fogo, pois em altas declividades o fogo se propaga mais rapidamente, principalmente quando os aclives são bem acentuados. Omena et al. (2016) ao realizar um zoneamento do Risco de Incêndio Florestal para o Parque Nacional de São Joaquim – SC verificaram que declividades  $\geq 46\%$  representavam um alto risco de incêndio, em virtude da grande influência que exerce na propagação e pelo difícil acesso, ao passo que em áreas planas são de fácil acesso e não influenciam na propagação.

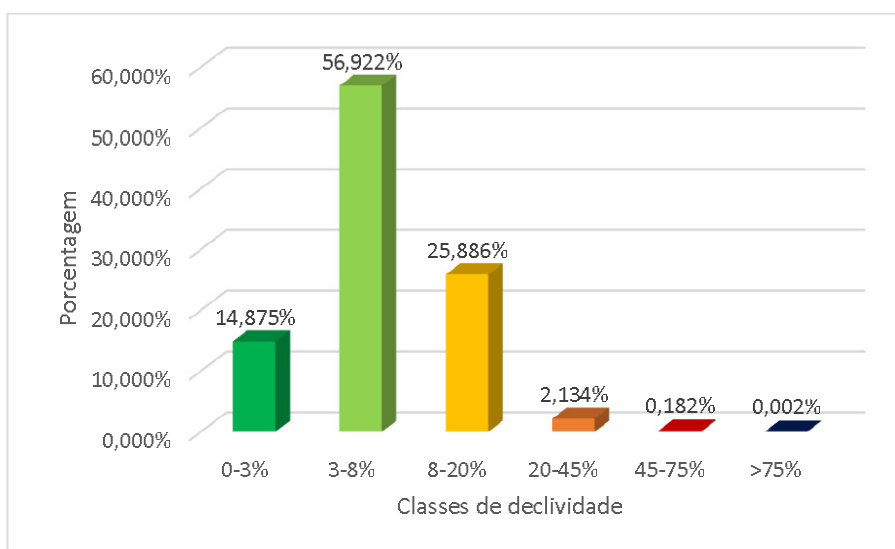
A figura 17 mostra o mapa de declividade da área de estudo e a tabela 30 junto com o gráfico 11 da área ocupada por cada categoria.

Tabela 30. Área ocupada pelas classes de declividade

<b>Classes</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Susceptibilidade ao fogo</b>
0-3%	386,54791	14,875%	Baixa
3-8%	1479,16914	56,922%	Baixa
8-20%	672,66083	25,886%	Baixo
20-45%	55,44115	2,134%	Média
45-75%	4,72155	0,182%	Alta
>75%	0,051	0,002%	Alta
<b>Total</b>	<b>2598.592</b>	<b>100%</b>	

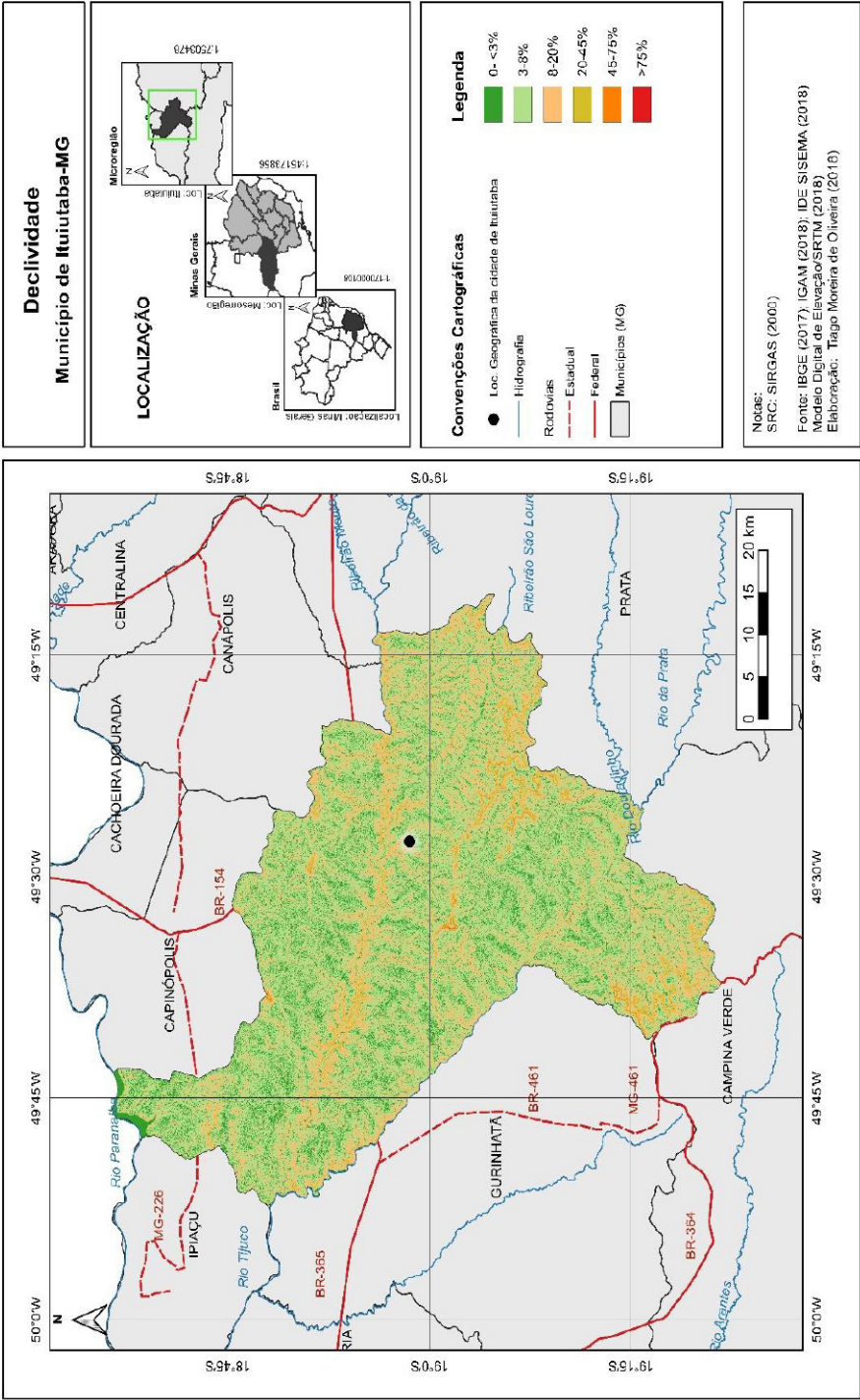
Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

Gráfico 11. Área ocupada pelas classes de declividade



Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

Figura 17. Mapa de Declividade do município de Ituiutaba-MG





Observa-se que em relação à declividade, 0,184 % da área de estudo apresenta risco alto, 2,134% risco médio e 97,682% apresenta baixo risco de incêndio florestal.

A orientação das encostas é um fator estrutural que vai influenciar diretamente na exposição da superfície à radiação solar, uma vez que quanto maior a exposição maior será a temperatura do ar e mais rápida será a redução do teor de umidade do material combustível. Vale lembrar que no Hemisfério Sul, a incidência dos raios solares é maior nas faces voltadas para o norte (PRUDENTE, 2016).

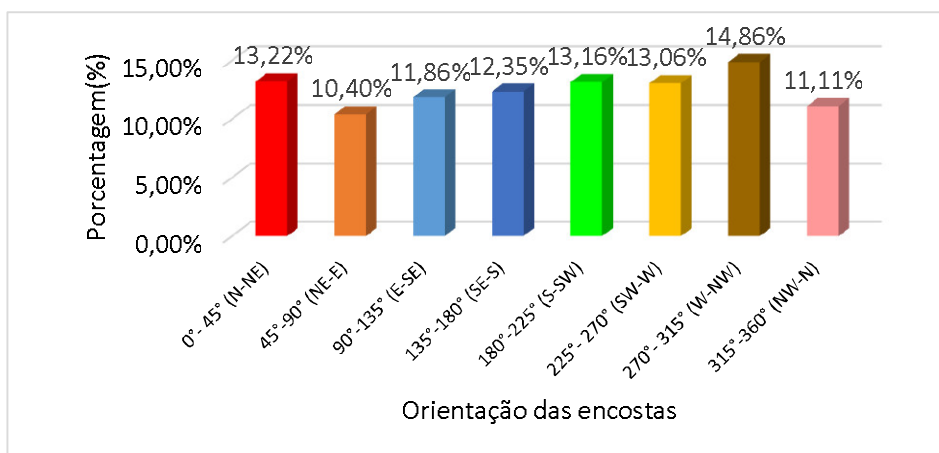
A figura 18 mostra o mapa de orientação das encostas da área de estudo e a tabela 31, junto com o gráfico 12 da área ocupada por cada categoria.

Tabela 31. Área ocupada pelas classes de orientação das encostas

Orientação das Vertentes	Área Km <sup>2</sup>	Porcentagem	Susceptibilidade ao fogo
0°- 45° (N-NE)	341,27	13,22%	Alta
45°-90° (NE-E)	268,58	10,40%	Média
90°-135° (E-SE)	306,20	11,86%	Baixa
135°-180° (SE-S)	318,85	12,35%	Baixa
180°-225° (S-SW)	339,72	13,16%	Baixa
225°- 270° (SW-W)	337,28	13,06%	Média
270°- 315° (W-NW)	383,68	14,86%	Alta
315°-360° (NW-N)	286,84	11,11%	Alta
<b>Total</b>	<b>2582,43</b>	<b>100%</b>	

Org.: OLIVEIRA, T. M.,2018

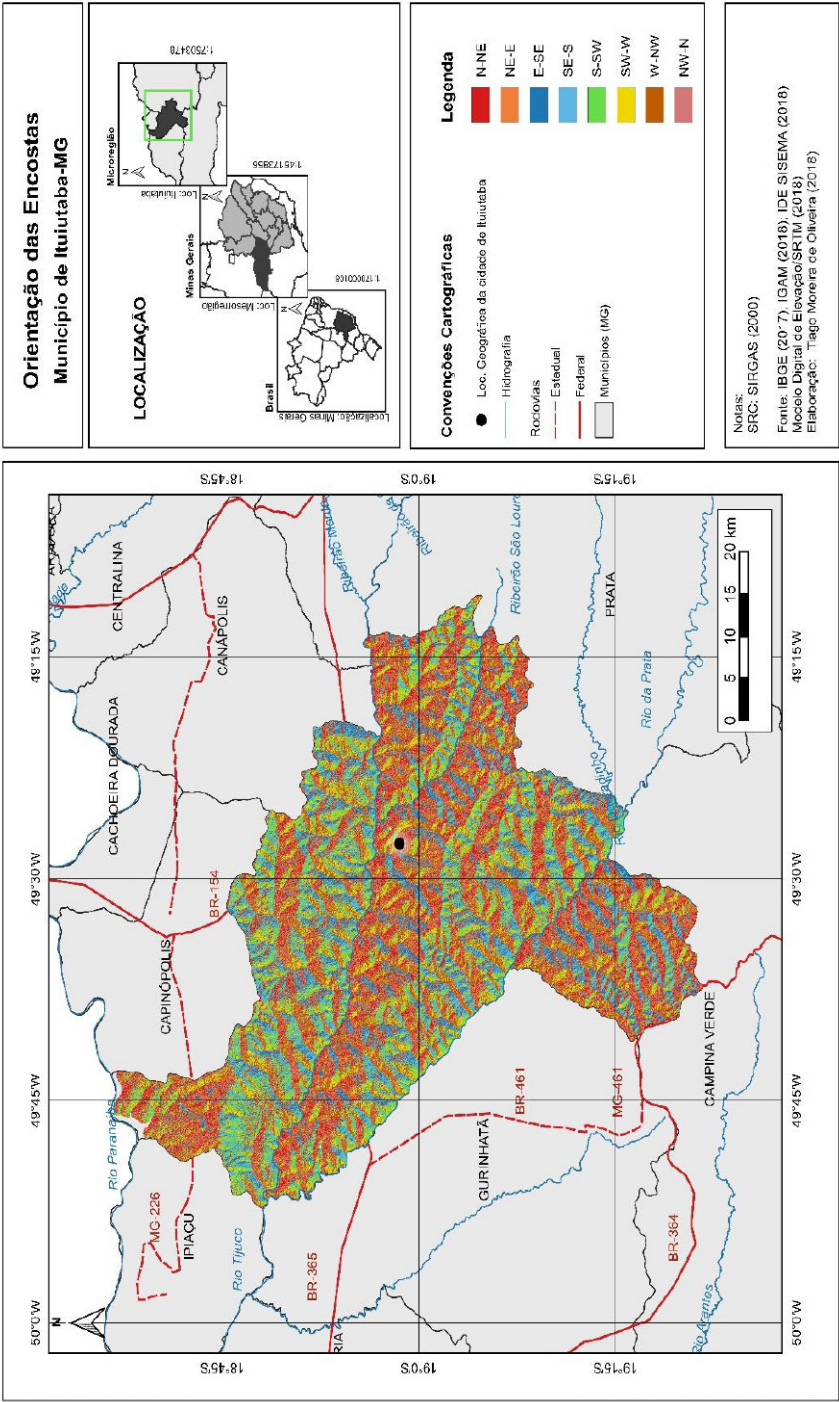
Gráfico 12. Área ocupada pelas classes de orientação das encostas



Org.: OLIVEIRA, T. M.,2018

Conforme pode ser observado, 39,19 % apresenta risco alto, 25,26% risco médio e 35,55% apresenta um risco baixo de incêndios florestais em relação à orientação das encostas.

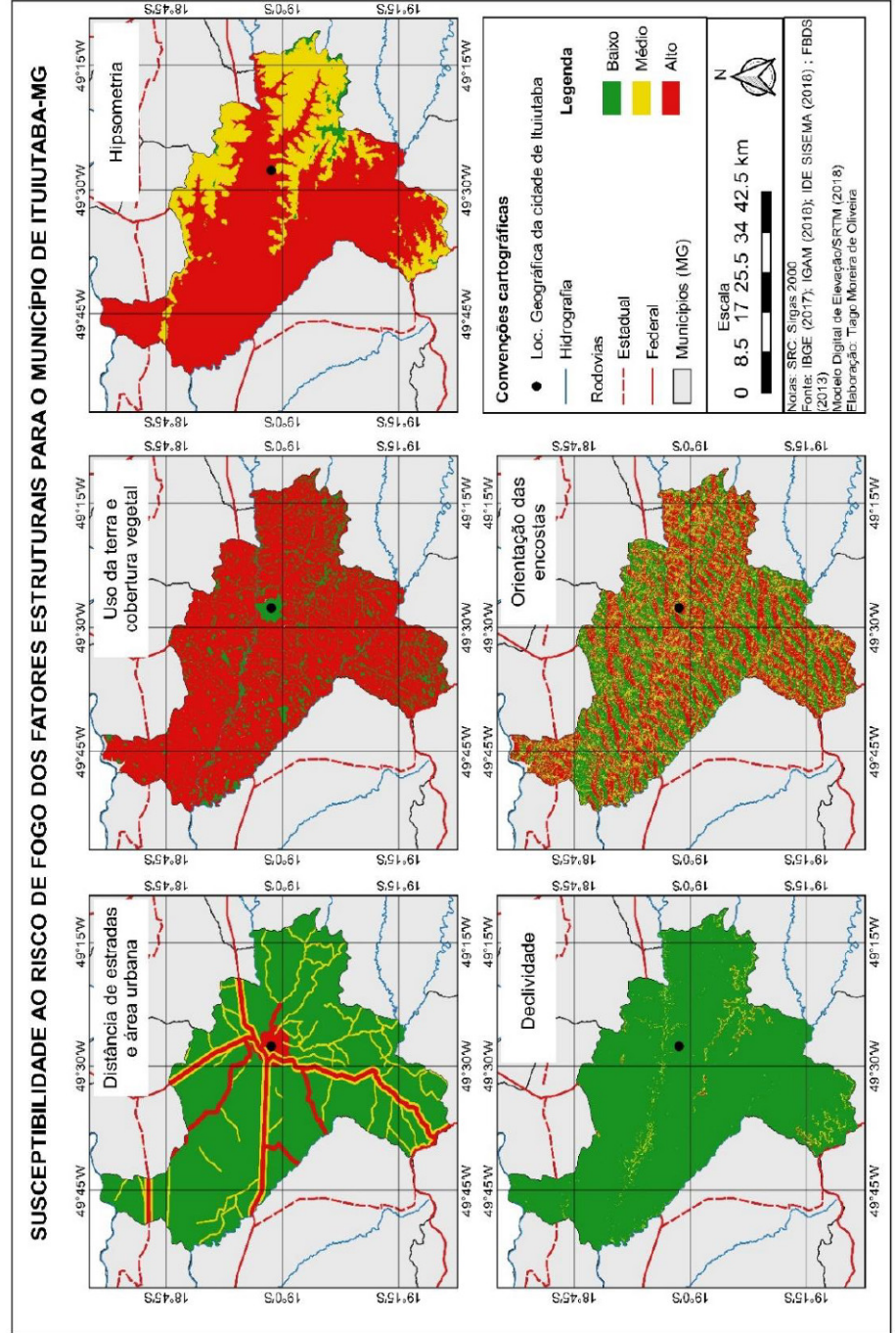
Figura 18. Mapa de orientação das encostas do Município de Ituiutaba-MG





Por último, a figura 19 ilustra os mapas de suscetibilidade ao fogo referentes aos critérios analisados anteriormente (distância das estradas e áreas urbanas, uso da terra e cobertura vegetal nativa, hipsometria, declividade e orientação das encostas). Cada categoria foi reclassificada como suscetibilidade baixa, média ou alta, conforme tabelas 22 a 26.

Figura 19. Mapa de Suscetibilidade ao fogo dos riscos estruturais para o município de Ituiutaba-MG



A sobreposição dos 5 mapas resultou no mapa de risco estrutural. Segundo Prudente (2016) a combinação dos fatores estruturais em um mapa único é importante porque reduz a dificuldade de identificar as áreas de risco através da análise individual do fator de risco.

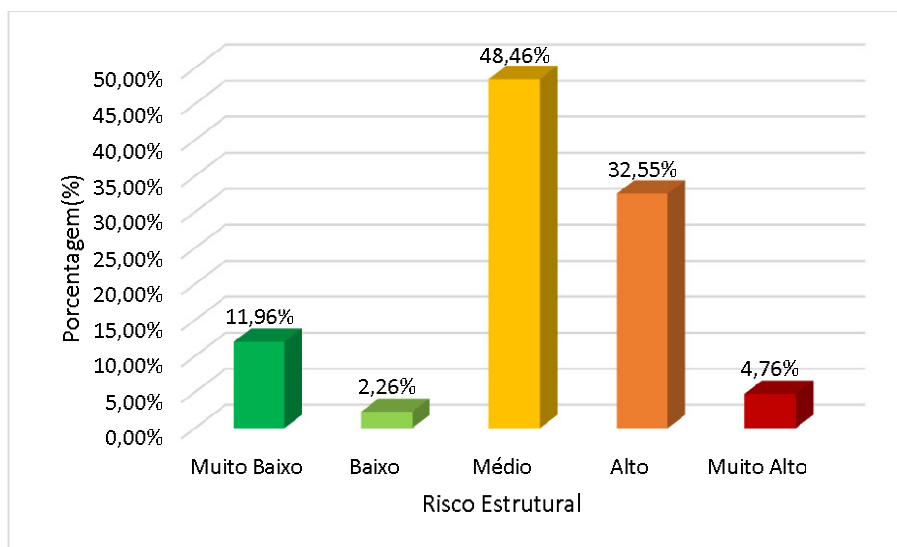
O risco estrutural de incêndio florestal está apresentado na figura 20. A tabela 32 e o gráfico 12 expõem a área ocupada por cada classe e sua distribuição percentual.

Tabela 32. Área ocupada pelas classes de risco estrutural

Área	Porcentagem	Risco Estrutural de Incêndio Florestal
306,90384	11,96%	Muito Baixo
58,042	2,26%	Baixo
1243,43363	48,46%	Médio
835,21467	32,55%	Alto
122,15273	4,76%	Muito alto
<b>2565.74687</b>	<b>100%</b>	

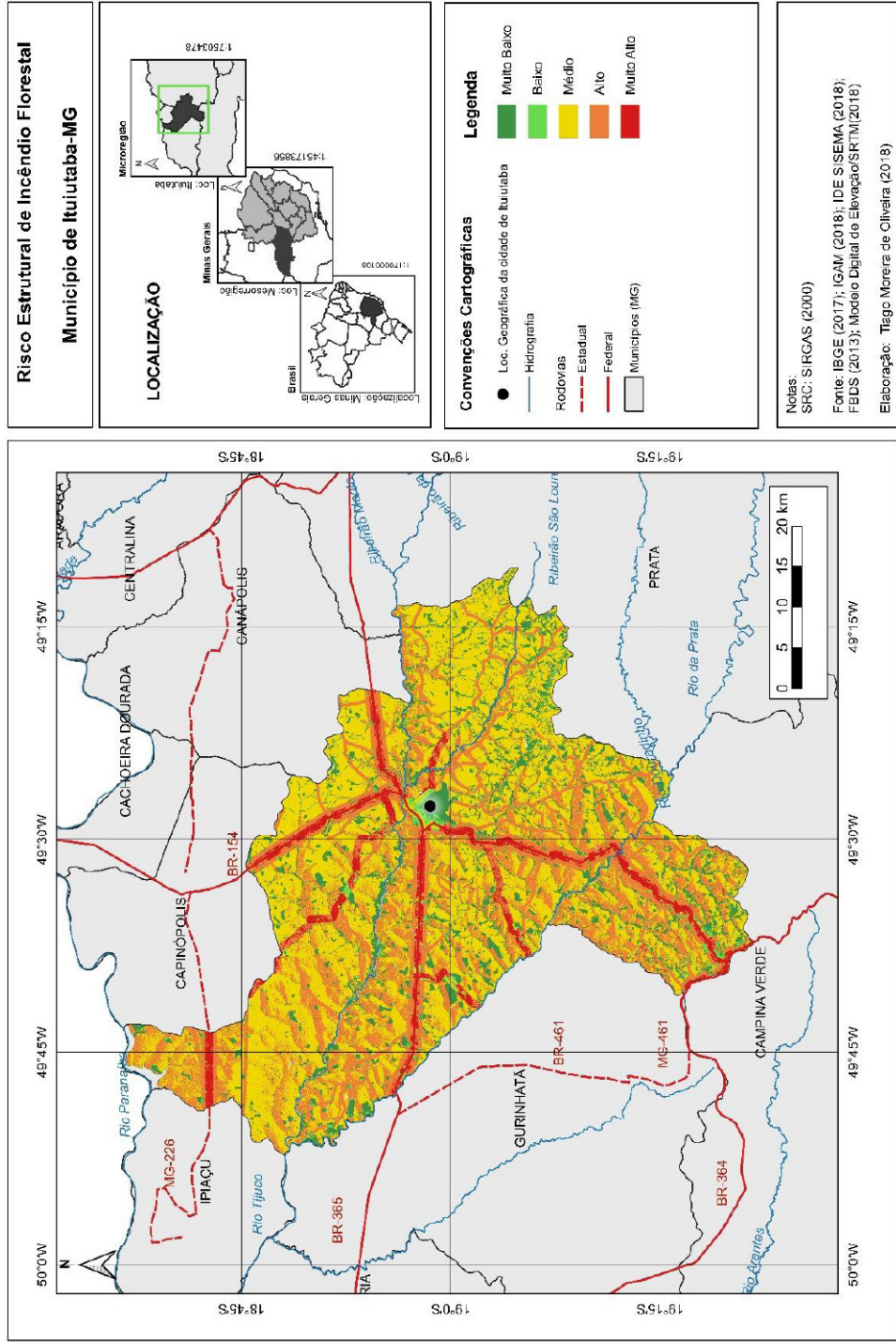
Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

Gráfico 13. Área ocupada pelas classes de risco estrutural



Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

Figura 20. Mapa de Risco Estrutural para o município de Ituiutaba-MG



Diante dos dados expostos, pode-se verificar que a maior parte do município de Ituiutaba-MG apresenta risco médio para incêndios florestais, do ponto de vista estrutural, enquanto que 37, 31% da área possui risco alto e muito alto.

Verificou-se ainda que as áreas mais críticas estão localizadas nas estradas, principalmente nas rodovias federais e estaduais e nas estradas municipais onde o tráfego de pessoas é maior.

## 8. RISCOS DINÂMICOS DE INCÊNDIO FLORESTAL

---

Os riscos estruturais não são suficientes para avaliar a suscetibilidade de uma área ao risco de fogo, nesse sentido, se faz necessária a utilização de fatores dinâmicos a fim de auxiliar na melhor compreensão nas áreas de risco de incêndio florestal.

Para Prudente (2016) os riscos dinâmicos têm por objetivo avaliar as alterações da inflamabilidade dos materiais combustíveis, levando em consideração os fatores que alteram de forma frequente, tais como as condições meteorológicas e o estado da vegetação.

Pereira Júnior (2002) destacou que em um estudo de queimadas em áreas de Cerrado que os incêndios florestais ocorrem nas seguintes condições meteorológicas: a) precipitação diária inferior a 2 mm; b) precipitação acumulada de 5 dias inferior a 25 mm; c) umidade relativa do ar inferior a 60%; d) temperatura do ar superior a 28°C; e) mais que um dia sem chuva antecedendo as queimadas.

No Brasil a baixa densidade de estações meteorológicas é um fator restritivo no que concerne aos estudos que envolvam dados climáticos. Em virtude disso, as estimativas de precipitação por meio de imagens de satélite se tornam bastante necessárias. Dentre os satélites empregados para mensurar dados de precipitação, destacam-se: *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) e *Global Precipitation Measurement* (GPM), os quais foram lançados pela NASA em parceria com a Agência Japonesa de Exploração Espacial – JAXA (TAN e DUAN, 2017).

O TRMM, lançado em 1997, possui resolução temporal de 3 horas e espacial de 0,25° x 0,25°. Devido a problemas de combustível, o satélite foi perdendo altitude gradualmente e entrou na atmosfera novamente em junho de 2015, permitindo que os dados oriundos desse instrumento fossem fornecidos até 2018. Todavia, desde 2014 o satélite GPM foi lançado com o objetivo de substituir o satélite de TRMM, sendo que o satélite GPM apresenta como características resoluções temporais e espaciais de 30 minutos e 0,1° x 0,1°, respectivamente (SANTOS ARAÚJO et al., 2018)

Neste trabalho foram utilizados os dados do satélite TRMM. Estudos realizados por Sousa et al. (2013) e Bardin et al. (2011) *apud* Prudente (2016) mostraram bons resultados em estudos relacionados à precipitação, sendo que Bardin et al. (2011) *apud* Prudente (2016) afirma que os dados dos satélites podem ser empregados em regiões ou períodos com escassez de dados referentes à precipitação.

Para avaliar a dinâmica da vegetação para o risco de incêndio florestal foi utilizado NDVI, uma vez que o déficit hídrico está diretamente relacionado a menores valores de NDVI, que por sua vez representa uma maior susceptibilidade da vegetação à ocorrência de incêndios.

Para Borges (2010, p.33):

Os valores de NDVI, entre -0.2 e 0, representam vegetações com grau de vigor muito baixo, já valores entre 0 e 0.2, o grau de vigor da cobertura vegetal foi considerado como sendo baixo, valores entre 0.2 e 0.4, grau de vigor moderado, entre 0.4 a 0.6 alto grau de vigor e regiões com grau de vigor de cobertura muito altos para valores de NDVI em torno de 0.6 a 1.

Em suma, para a avaliação do risco dinâmico foram consideradas duas variáveis meteorológicas: precipitação e déficit hídrico e o NDVI.

### **8.1.Procedimentos metodológicos**

Para geração dos mapas de risco dinâmico foi considerado o ano de 2017, uma vez que considerando o intervalo de 2008 a 2017, foi o ano onde foi registrado a maior quantidade de focos de calor, 467 no total. Vale ressaltar que foram selecionados os meses de maio a outubro, pois esse período correspondeu aos meses em que houveram a maior quantidade de focos de calor registrados. Além disso, corresponde ao período de estação seca.

Inicialmente foram elaborados mapas concernentes à precipitação e ao déficit hídrico. Para tanto foram utilizados dados de precipitação coletados a partir do banco de dados do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo), o qual é alimentado por dados provenientes de mais de 1400 estações meteorológicas de superfície, convencionais e automáticas distribuídas pelo Brasil.

Segundo Prudente (2016, p. 98):

[...]os dados são transmitidos, via internet por File Transfer Protocol (FTP) e correio eletrônico. Como as estações de superfície estão mais concentradas na parte longitudinal leste do Brasil, a complementariedade das informações é feita com imagens de satélites obtidas da NASA proveniente da Tropical Rain Meteorological Mission (TRMM) versão 7.0, que provê dados de 11.332 pontos de grade, que são convertidos no Agritempo nas denominadas estações virtuais, em que os dados de temperatura são estimados a partir das estações de superfície reais mais próximas. Esses dados também são utilizados para preenchimento de dados faltantes de chuva. O conjunto de todos os dados é consistido para identificar dados não confiáveis. O processamento e interpolação dos dados são feitos utilizando-se o método de krigagem ordinária disponível no software R (BAMBINI et al., 2014).

Para a obtenção do déficit hídrico, foi realizado o cálculo do balanço hídrico por meio do software criado por Rolim e Sentelhas a partir da metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955). Tanto os mapas de precipitação quanto os de déficit hídrico foram obtidos a partir da Interpolação de Distância Ponderada (IDW) através da extensão Interpolador IDW disponível no Qgis.

No capítulo dois foi realizado o cálculo da duração da estação seca e chuvosa entre os anos de 2008 a 2017, sendo verificado que a duração da estação média foi de 173 dias. Para o ano de 2017 a estação seca foi de 21/05 a 11/10. Portanto, foram levados em consideração para a elaboração dos mapas de riscos dinâmicos os meses de maio a outubro de 2017.

Para a confecção dos mapas de risco dinâmico foram consideradas 3 variáveis: precipitação, déficit hídrico e o NDVI.

Para a precipitação, os menores índices pluviométricos receberam os maiores pesos (Tabela 33), tendo em vista que quanto menor a umidade maior o risco de ocorrência de incêndios florestais.

Tabela 33. Classes, níveis de susceptibilidade e coeficientes de precipitação

<b>Precipitação</b>	<b>Susceptibilidade ao fogo</b>	<b>Coeficiente</b>
< 25 mm	Alta	3
25-75 mm	Média	2
> 75 mm	Baixa	1

Fonte: Adaptado de Prudente (2016)

Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

Quanto ao déficit hídrico, quanto maior o déficit hídrico maior o risco de incêndio, por conseguinte maior o peso (Tabela 34).

Tabela 34. Classes, níveis de susceptibilidade e coeficientes de déficit hídrico

<b>Déficit hídrico</b>	<b>Susceptibilidade ao fogo</b>	<b>Coeficiente</b>
< 50 mm	Baixa	1
50-80 mm	Média	2
> 80 mm	Alta	3

Fonte: Adaptado de Prudente (2016)

Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

O NDVI é uma variável que auxilia quanto à quantificação do combustível vegetal (NDVI), sendo que quanto mais próximo o NDVI de 0, significa uma vegetação esparsa, conferindo um alto risco para ocorrência de incêndio florestal.



A obtenção do NDVI foi feita utilizando-se as bandas 4 e 8 do satélite Sentinel, conforme descrito no capítulo 4, correspondentes aos meses de maio a outubro. Em seguida foram elaborados mapas de NDVI, os quais foram reclassificados em 3 níveis para a susceptibilidade de fogo, conforme tabela abaixo:

Tabela 35. Classes, níveis de susceptibilidade e coeficientes de NDVI

<b>Classes de NDVI</b>	<b>Susceptibilidade ao fogo</b>	<b>Coeficiente</b>
-1-0	Baixa	1
0-0,25	Alta	3
0,25-0,50	Média	2
0,50-1	Baixa	1

Fonte: Adaptado de Prudente (2016)

Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

E, por último, foi utilizada calculadora raster do Qgis 2.18.24, para a determinação do risco dinâmico para os meses de maio a outubro de 2017, através da equação, proposta por Prudente (2016), apresentada abaixo:

$$RD = (PREC * 20) + (DEF * 30) + (NDVI * 50)$$

Em que:

RD: Risco Dinâmico

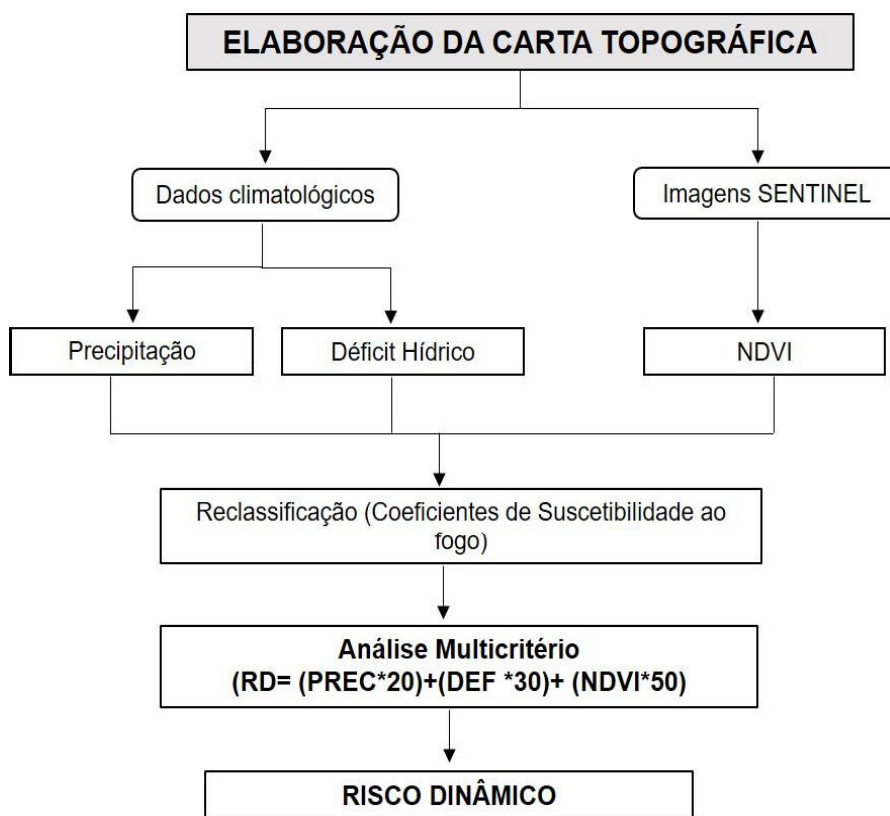
PREC: Precipitação

DEF: Deficiência Hídrica

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

A seguir está representada todas as etapas utilizadas para a confecção dos mapas de riscos dinâmico de incêndio florestal.

Figura 21. Etapas realizadas para elaboração do mapa de risco dinâmico



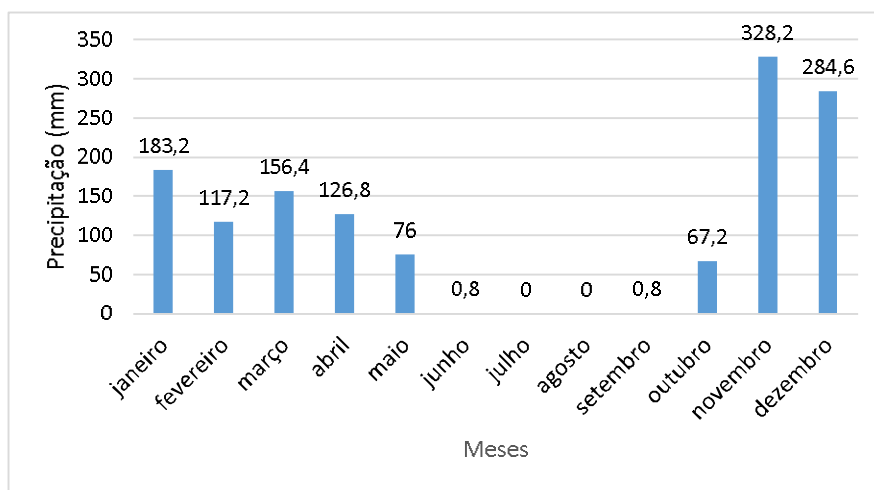
Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

Obs: RD: Risco Dinâmico; PREC: precipitação; DEF: Déficit Hídrico; NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

## 8.2.Resultados e Discussão

Verificou-se que no ano de 2017 o total pluviométrico foi de 1341,2 mm, sendo que nos meses de maio a outubro foram registrados os menores valores acumulados, principalmente nos meses de julho e agosto, onde não foram registradas precipitações (Gráfico 14).

Gráfico 14.Precipitações mensais acumuladas no ano de 2017 no município de Ituiutaba-MG



Fonte: INMET

Org.: OLIVEIRA, T.M., (2018)

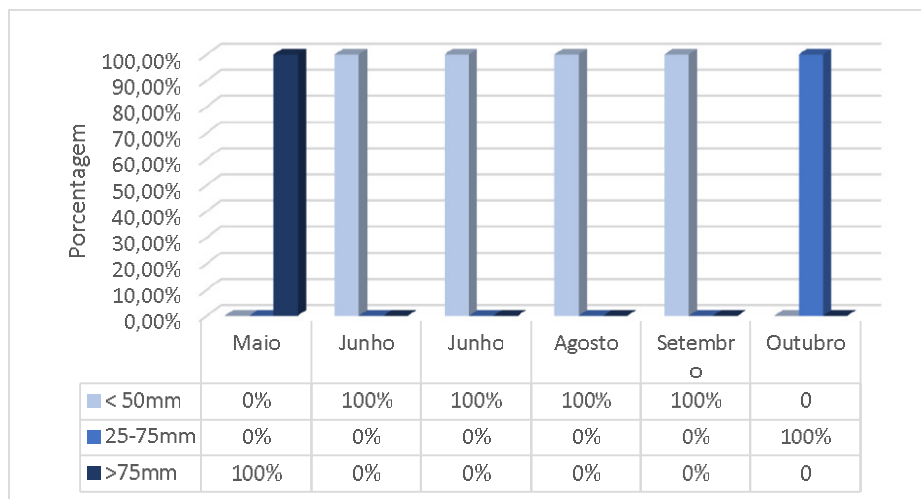
A distribuição espacial da precipitação pode ser observada conforme tabela 36 e o gráfico 15. Sendo que nos meses de junho a setembro há um maior risco de incêndio, tendo em vista que nesse período a área de estudo registrou precipitações inferiores a 25 mm, representando um alto risco de suscetibilidade ao fogo. Já no mês de maio foi o mês que apresentou o menor risco, pois as precipitações ultrapassaram 75 mm.

Tabela 36.Distribuição espacial da precipitação no município de Ituiutaba-MG entre maio a outubro de 2017

Chuva (mm)	Maio		Junho		Junho		Agosto		Setembro		Outubro	
	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%
< 25	0	0	2598,05	100	2598,05	100	2598,05	100	2598,05	100	0	0
25-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2598,05	100
>75	2598,05	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2598,05	100%	2598,05	100%	2598,05	100%	2598,05	100%	2598,05	100%	2598,05	100%

Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

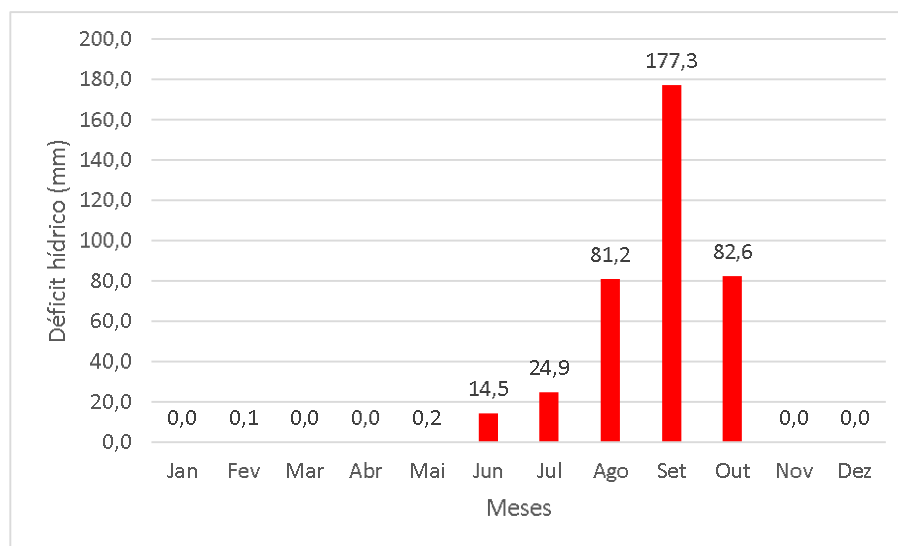
Gráfico 15. Distribuição espacial da precipitação no município de Ituiutaba-MG entre maio a outubro de 2017



Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

Com relação ao déficit hídrico (gráfico 16), verificou-se que de junho a setembro houve um aumento do déficit hídrico, sendo que no mês de setembro foi registrado o maior déficit hídrico (177,3 mm). A partir de outubro verifica-se um decréscimo no déficit hídrico (82,6 mm), provavelmente esse decréscimo se deve ao início da estação chuvosa.

Gráfico 16. Déficit hídrico do município de Ituiutaba no ano de 2017



Fonte: INMET

Org.: OLIVEIRA, T.M., (2018)

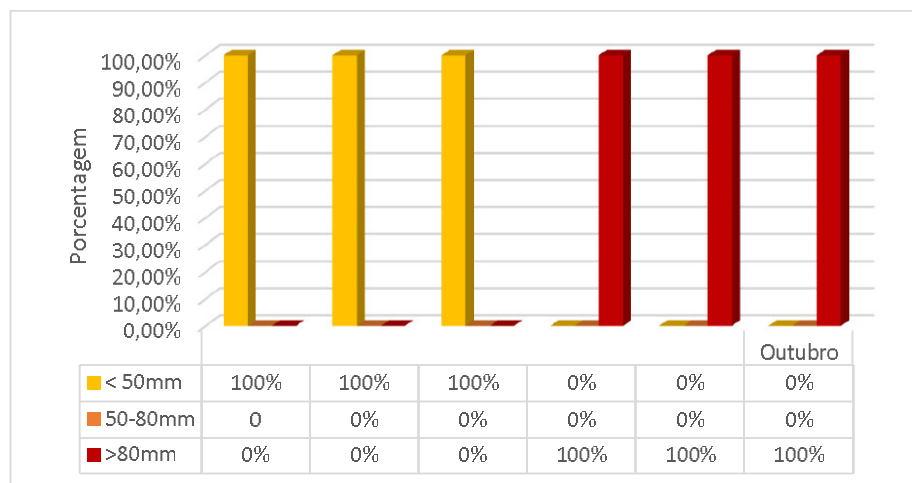
A distribuição espacial do déficit hídrico pode ser observada conforme tabela 37 e gráfico 17. Onde verificou-se que nos meses de agosto a outubro o déficit hídrico na área de estudo foi superior a 80 mm, indicando um alto risco de suscetibilidade ao fogo.

Tabela 37. Distribuição espacial do déficit hídrico no município de Ituiutaba-MG entre maio a outubro de 2017

Déficit hídrico	Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
< 50mm	2598,05	100	2598,05	100	2598,05	100	0	0	0	0	0	0
50-80mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>80mm	0	0	0	0	0	0	2598,05	100	2598,05	100	2598,05	100
<b>Total</b>	<b>2598,05</b>	<b>100</b>	<b>2598,05</b>	<b>100</b>	<b>2598,05</b>	<b>100</b>	<b>2598,05</b>	<b>100</b>	<b>2598,05</b>	<b>100</b>	<b>2598,05</b>	<b>100</b>

Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

Gráfico 17. Distribuição espacial do déficit hídrico no município de Ituiutaba-MG entre maio a outubro de 2017



Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

A precipitação e o déficit hídrico vão influenciar diretamente nos valores de NDVI, pois, juntamente com outros índices de vegetação, o NDVI está intimamente ligado com os fatores estruturais da vegetação, tais como o conteúdo de clorofila da vegetação e o teor de água (ATZBERGER, 2013). Segundo Saavedra (2016), os valores de NDVI para as áreas com vegetação são afetadas pela sua arquitetura, densidade e umidade, sendo que esses valores variam entre 0,1 e 0,6.

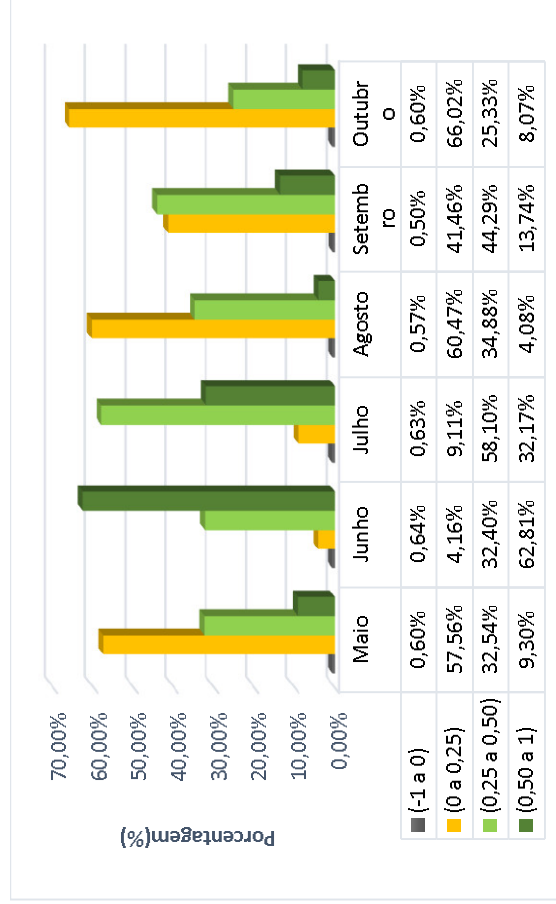
Na tabela 38 e gráfico 18 pode ser verificado a variação do NDVI entre os meses de maio a outubro de 2017.

Tabela 38. Área ocupada por classes de NDVI

NDVI	Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro	
	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%
(-1 a 0)	15,51	0,60	16,58	0,64	16,45	0,63	14,86	0,57	13,11	0,50	15,49	0,60
(0 a 0,25)	1495,91	57,56	108,08	4,16	236,88	9,11	1571,51	60,47	1077,56	41,46	1715,78	66,02
(0,25 a 0,50)	845,68	32,54	841,93	32,40	1509,85	58,10	906,44	34,88	1150,94	44,29	658,21	25,33
(0,50 a 1)	241,70	9,30	1632,20	62,81	835,91	32,17	105,96	4,08	357,18	13,74	209,62	8,07
<b>Total</b>	<b>2598,80</b>	<b>100</b>	<b>2598,79</b>	<b>100</b>	<b>2599,10</b>	<b>100</b>	<b>2598,77</b>	<b>100</b>	<b>2598,79</b>	<b>100</b>	<b>2599,11</b>	<b>100</b>

Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

Gráfico 18. Área ocupada por classes de NDVI



Org.: OLIVEIRA, T.M., 2018

Pode-se observar que na classe 0 a 0,25, classe mais suscetível a incêndios florestais, que os meses de maio (57,56%), agosto (60,47%) e outubro (66,02%) tiveram os maiores percentuais, ao passo que nos meses de junho (4,16%) e julho (9,11%) tiveram os menores percentuais.

Pode ser observado ainda que a tendência de crescimento da classe 0 a 0,25 não foi um crescimento linear, em relação ao avanço do período de estiagem. Isto é, não foi um crescimento diretamente proporcional, mas um crescimento alternado com picos nos meses de agosto e outubro.

O risco dinâmico de incêndio florestal está apresentado na figura 22. A tabela 39 e o gráfico 19 expõem a área ocupada por cada classe e sua distribuição percentual.

Figura 22. Mapa de Riscos dinâmicos do município de Ituiutaba-MG entre os meses de maio a outubro de 2017

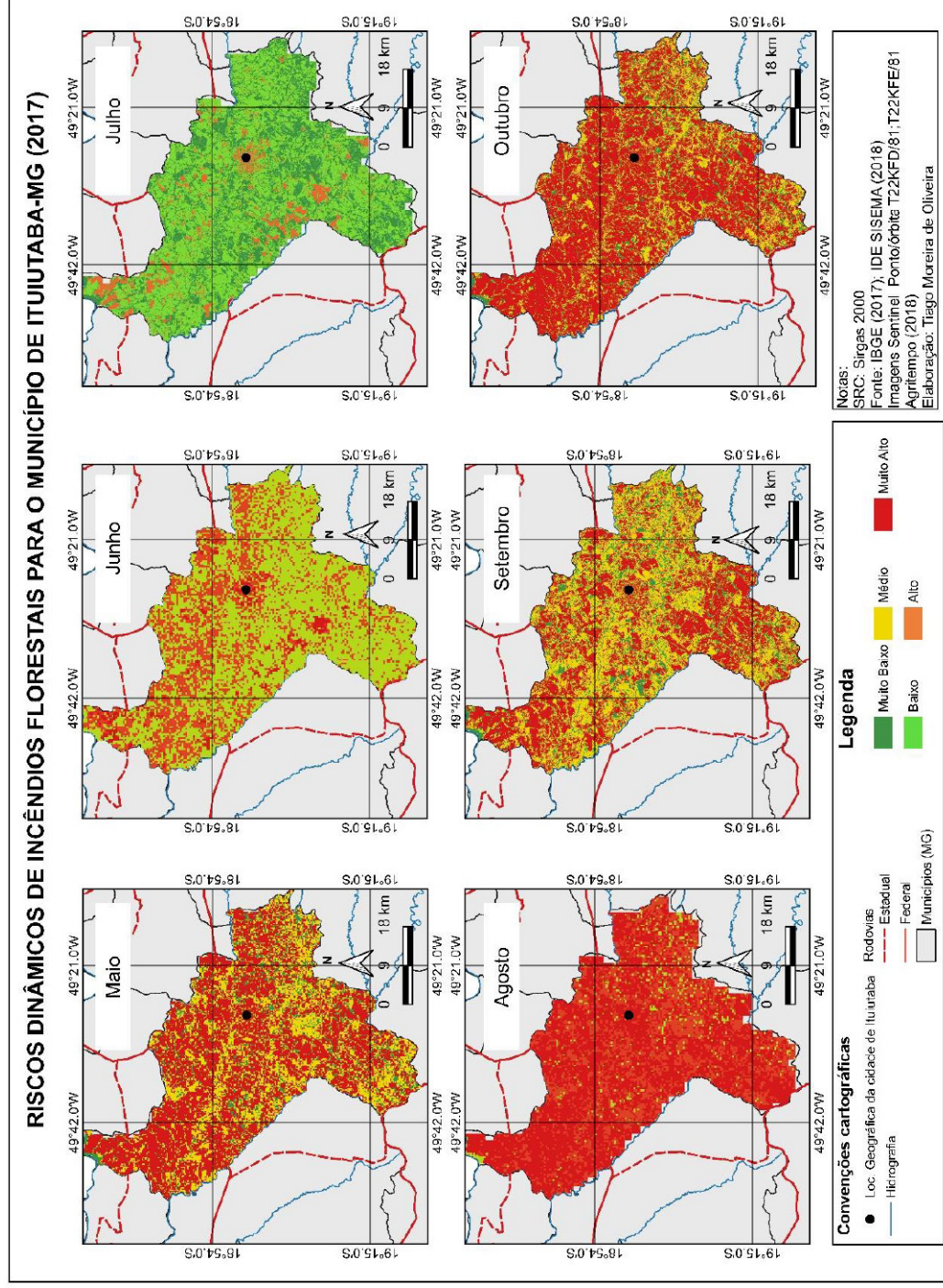


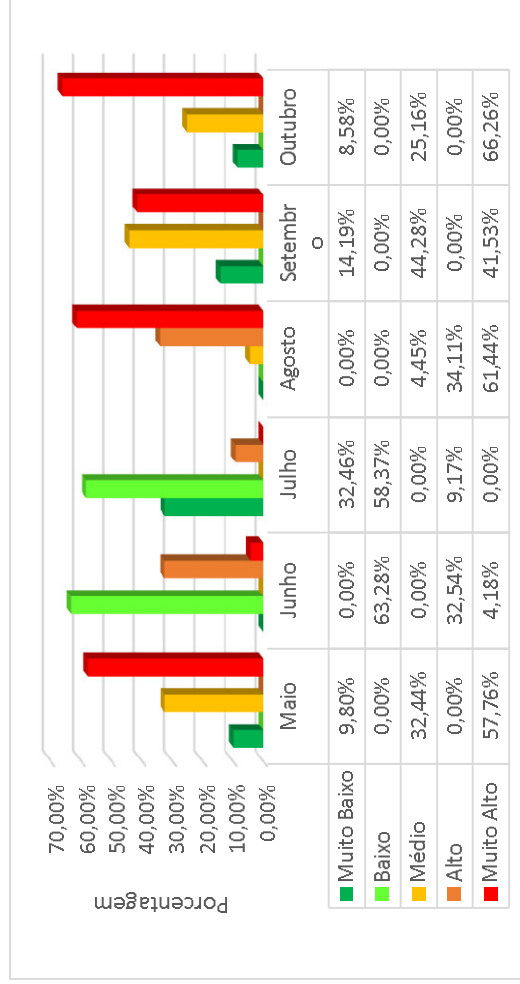


Tabela 39. Áreas ocupadas pelas classes de risco dinâmico

Classes de Risco	Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro	
	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%
Muito Baixo	250,43	9,80	0,00	0,00%	810,58	32,46%	0,00	0,00%	364,61	14,19%	219,11	8,58%
Baixo	0,00	0,00	1634,82	63,28%	1457,84	58,37%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
Médio	829,02	32,44	0,00	0,00%	0,00	0,00%	111,28	4,45%	1138,21	44,28%	642,52	25,16%
Alto	0,00	0,00	840,80	32,54%	229,09	9,17%	853,08	34,11%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
Muito alto	1476,05	57,76	107,91	4,18%	0,00	0,00%	1536,64	61,44%	1067,53	41,53%	1692,26	66,26%
Total	2555,50	100,00%	2583,539	100,00%	2497,515	100,00%	2500,991	100,00%	2570,339	100,00%	2553,889	100,00%

Org. OLIVEIRA, T.M., 2018

Gráfico 19. Áreas ocupadas pelas classes de risco dinâmico no município de Ituiutaba-MG



Org. OLIVEIRA, T.M., 2018

Pode-se verificar que nos meses de maio, agosto e outubro foram registrados os maiores percentuais de áreas de áreas que apresentaram risco muito alto. No mês de agosto, considerando as áreas de risco alto e muito alto os percentuais chegaram a 95,55%.

Todavia foram registrados baixos riscos para os meses de junho e julho, provavelmente isso se deve ao fato dessas áreas terem apresentados os maiores valores médios de NDVI, considerando os meses de maio a outubro de 2017. Sendo que os valores médios de NDVI para os meses de junho e julho foram 0,54 e 0,43, respectivamente. Enquanto que nos meses de maio, agosto e outubro foram registrados os menores valores de NDVI, sendo: 0,27, 0,25 e 0,24, respectivamente.

Tudo isso evidencia que quanto mais próximo de zero forem os valores de NDVI, maior a suscetibilidade ao risco do fogo. Apesar disso, no ano de 2017 verificou-se que a maior quantidade de focos de calor foi detectada nos meses de julho (133) e setembro (149).

No mês de julho as condições de risco foram muito baixas. Vale lembrar que nesse mês não foram registradas precipitações e houve um déficit hídrico, porém, inferior a 50 mm sendo considerado de baixo risco a incêndios florestais.

Já no mês de setembro, as duas classes que apresentaram os maiores percentuais de risco foram a risco muito alto e risco médio, com 41,53% e 44,28% respectivamente. Entretanto, foi o mês em que houve o maior déficit hídrico (177, 3 mm), em virtude do período de estiagem.

## 9. RISCO INTEGRADO DE INCÊNDIO FLORESTAL

---

O Risco integrado é formado pelo risco estrutural e dinâmico. O risco estrutural se baseia em fatores que não variam de maneira frequente ao longo do tempo, restringe-se à identificação das áreas que apresentam maiores riscos, enquanto os riscos dinâmicos se baseiam no estado da vegetação e nas condições meteorológicas. Portanto, a integração desses riscos é de suma importância por abranger um maior número de informações, servindo de subsídio na tomada de decisão quanto às práticas de combate e prevenção de incêndios florestais.

O intuito deste capítulo é realizar a integração dos riscos estruturais e dinâmicos, os quais foram abordados nos capítulos 8 e 9, respectivamente, a fim de realizar a confecção de mapas mensais do risco integrado para o município de Ituiutaba-MG.

### 9.1.Procedimentos metodológicos

A integração dos mapas de risco integrada foi realizada a partir da combinação linear ponderada, gerando os mapas com cinco classes: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. Foram gerados mapas dos meses de maio a outubro de 2017. Para realização da integração foi utilizada a equação:

$$RI = (RE * 40) + (RD * 60)$$

Em que:

RI = Risco Integrado

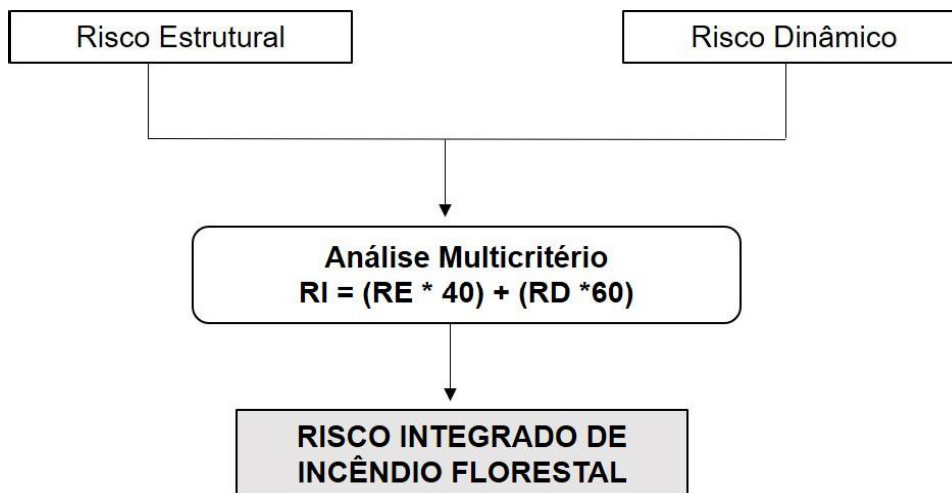
RE = Risco Estrutural

RD = Risco Dinâmico

Essa equação foi baseada no estudo de Prudente (2016) em que foi atribuído maior peso aos riscos dinâmicos por conter fatores, tais como precipitação, déficit hídrico e NDVI que afetam na inflamabilidade do combustível. Todos os cálculos foram realizados na calculadora *Raster* do Qgis.

A síntese dos procedimentos metodológicos utilizados está representada na figura 23.

Figura 23. Fluxograma das etapas para elaboração dos mapas de risco integrado



Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

Obs: RI: Risco Integrado; RE: Risco Estrutural; RD: Risco Dinâmico

Por último foi realizado a correlação dos focos de calor dos meses de maio a outubro de 2017 com os mapas mensais de risco integrado a fim de avaliar o grau de relação existente entre esses dois fatores.

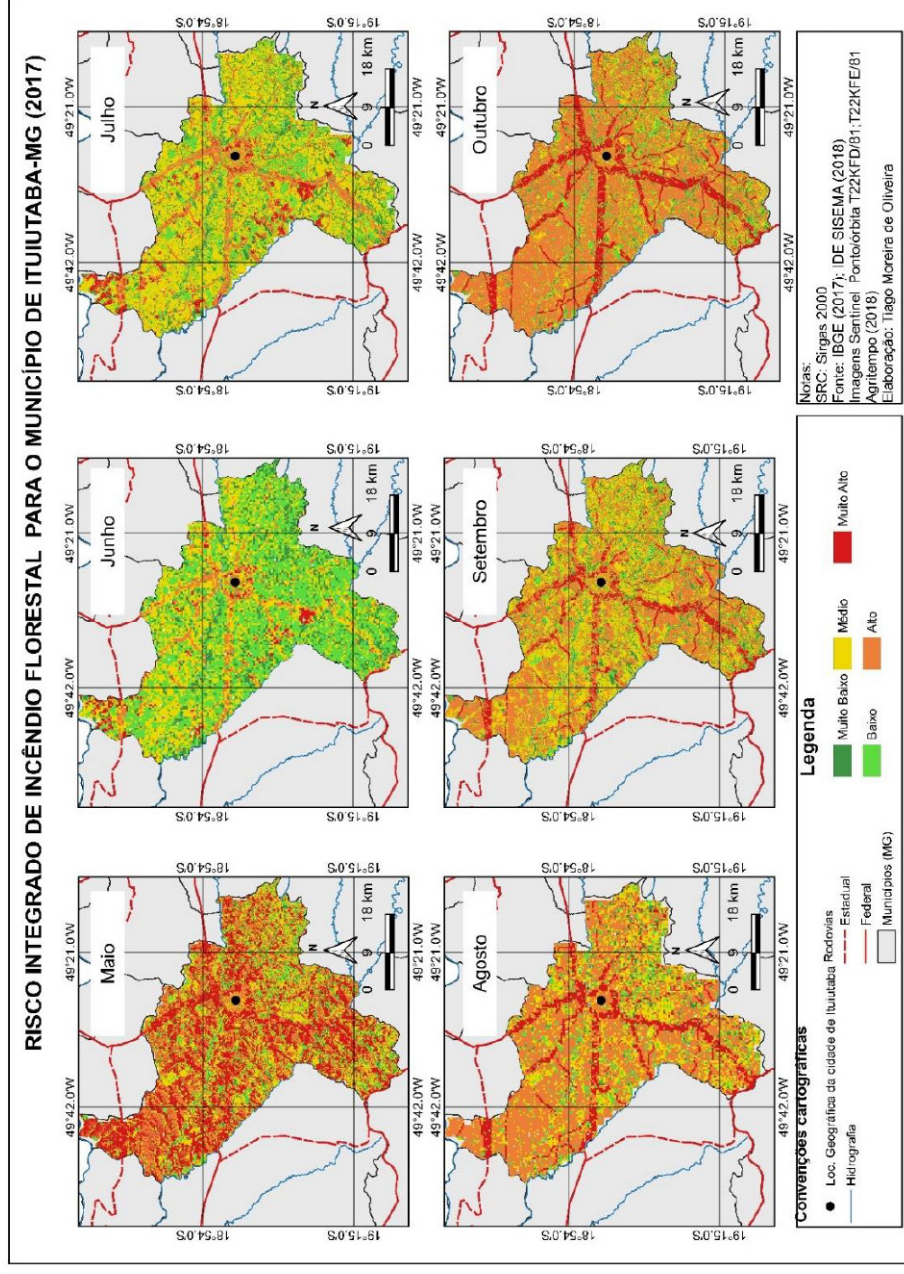
Vale lembrar que os dados referentes aos focos de calor foram obtidos a partir do Banco de Dados de Queimadas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), podendo ser encontrados no endereço eletrônico <http://www.cptec.inpe.br/queimadas>.

## 9.2.Resultados e Discussão

Os mapas de risco integrado facilitam a análise do risco de incêndio florestal, tendo em vista que a análise isolada de cada fator se torna mais complexa, principalmente para extensas áreas em função da diversidade de fatores. Enquanto os mapas de risco integrado abrangem tantos fatores estruturais quanto dinâmicos.

Diante disso, os riscos integrados dos meses de maio a outubro estão apresentados na figura 24.

Figura 24. Mapa de Risco Integrado para o município de Ituiutaba-MG entre maio a outubro de 2017



Obs: Foram considerados para o cálculo dos riscos integrados o risco estrutural e os riscos dinâmicos no período de maio a outubro de 2017

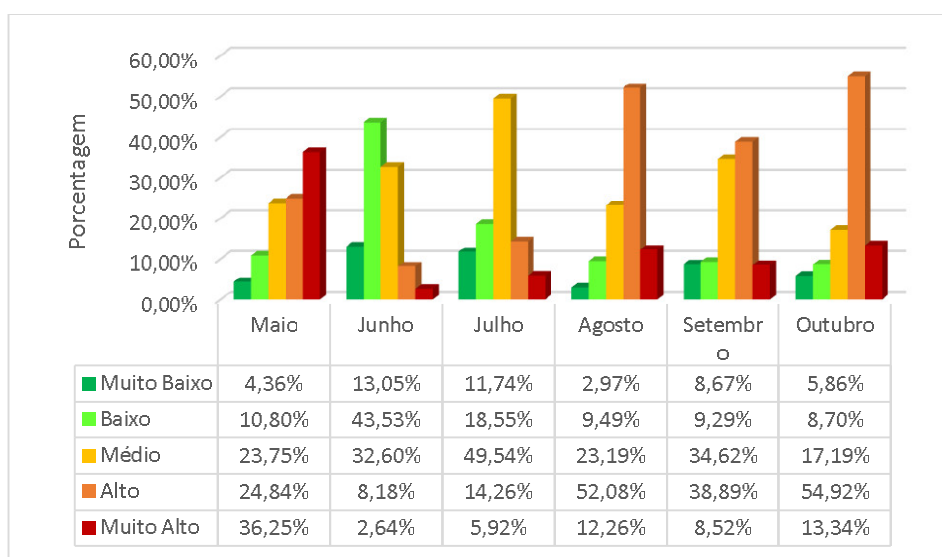
As áreas e os respectivos percentuais das classes de risco integrado de incêndio florestal estão amostrados na tabela 40 e gráfico 20.

Tabela 40. Área ocupada pelas classes de risco integrado para o município de Ituiutaba-MG entre maio a outubro de 2017.

Risco Integrado	Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Muito Baixo	110,02	4,36	332,97	13,05	289,97	11,74	73,57	2,97	220,58	8,67	148,01	5,86
Baixo	272,73	10,80	1111,03	43,53	458,33	18,55	235,00	9,49	236,25	9,29	219,85	8,70
Médio	599,72	23,75	832,04	32,60	1223,72	49,54	574,34	23,19	880,48	34,62	434,48	17,19
Alto	627,26	24,84	208,65	8,18	352,15	14,26	1289,69	52,08	989,08	38,89	1388,25	54,92
Muito alto	915,48	36,25	67,40	2,64	146,16	5,92	303,65	12,26	216,79	8,52	337,08	13,34
<b>Total</b>	<b>2525,22</b>	<b>100,00</b>	<b>2552,10</b>	<b>100,00%</b>	<b>2470,32</b>	<b>100,00%</b>	<b>2476,26</b>	<b>100,00%</b>	<b>2543,18</b>	<b>100,00%</b>	<b>2527,67</b>	<b>100,00</b>

Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

Gráfico 20. Área ocupada pelas classes de risco integrado para o município de Ituiutaba-MG entre maio a outubro de 2017.



Org.: OLIVEIRA, T.M.,2018

Verifica-se que os meses de maio, agosto, setembro e outubro registraram os maiores percentuais de risco alto e muito alto, totalizando 61,09%, 64,34%, 47,41% e 68,26%, respectivamente. Embora o mês de maio tenha apresentado um alto percentual de risco, vale lembrar que foi o mês em que foi registrado a maior precipitação acumulada, considerando o período entre maio a outubro de 2017, e, por conseguinte, o menor déficit hídrico. Sendo que essas condições são desfavoráveis à ocorrência de incêndio florestal. Porém, o valor médio de NDVI foi de 0,27, influenciando no aumento do risco para esse mês. No entanto, não foi registrado nenhum foco de calor nesse período.

Nos meses de junho e julho foram registrados os menores percentuais de risco, em virtude dos altos valores de NDVI e do baixo déficit hídrico. Entretanto, no mês de julho apresentou o segundo maior número de focos de calor, o que influenciou esse resultado foi o valor do NDVI, tendo em vista que no período de maio a outubro de 2017 o mês de julho apresentou um NDVI médio de 0,43.

Por outro lado, nos meses de agosto a outubro foram os meses que apresentaram baixos valores de NDVI, com exceção ao mês de setembro cujo valor médio alcançou 0,34 e os maiores déficits hídricos, todos esses fatores influenciaram no incremento do risco de incêndio nesse intervalo de tempo. Diante disso, pode-se inferir que o terceiro trimestre é o período mais crítico para a ocorrência de incêndios florestais na área de estudo.

## 10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

Diante dos resultados obtidos verificou-se que entre os meses de julho e outubro foram registrados os maiores focos de calor, considerando o intervalo de tempo entre 2008 a 2017, sendo que o ano de 2017 teve a maior ocorrência de focos de calor.

As condições meteorológicas que tiveram mais influências significativas na ocorrência de focos de calor foi a umidade relativa do ar e a velocidade do vento. Por outro lado, os Índices de Perigo de Incêndio não tiveram correlação significativa com os focos de calor, entretanto os índices cumulativos (I,G,FMA e FMA<sup>+</sup>) apresentaram altas correlações e nos períodos em que indicaram alto risco foram detectados focos de calor que corresponderam a 89,08% do período entre os meses de maio a outubro de 2017.

O ideal é que sejam realizados novos estudos com Índices de Perigo de Incêndio que possam abranger um intervalo de tempo maior, pois a utilização desses índices representa uma alternativa viável e de baixo custo para a avaliação dos períodos de maior risco de incêndio.

Com relação ao cálculo do NDVI, os menores valores médios foram encontrados nos meses de agosto (0,25) e outubro (0,24), representando um alto risco de ocorrência de incêndio. Embora no mês de setembro tenha apresentado um NDVI de 0,34, representando um risco médio, foi o mês em que houve o maior déficit hídrico e o maior registro de focos de calor (149).

Ressalta-se que o NDVI foi obtido utilizando-se imagens do satélite Sentinel-2, o qual apresentou uma boa resolução espacial. Porém, no cálculo do NDVI foi observado que no mês de maio, mesmo sendo um mês em que houve um déficit hídrico de 0,2 mm e uma precipitação acumulada de 76 mm, o valor do NDVI foi de apenas 0,28, enquanto que no mês de junho, em que não houve precipitações e a um déficit hídrico de 14,5 mm, o valor foi de 0,54. Esses resultados influenciaram diretamente no cálculo do risco integrado.

No que diz respeito ao risco integrado, os meses em que foram registrados os maiores percentuais de alto risco foram os meses de maio, agosto, setembro e outubro, verificou-se ainda que as áreas que apresentam um maior risco estão localizadas próximas às estradas e a área urbana. Todavia, o mês de maio, embora tenha sido considerado um mês de alto risco, os resultados não condizem com a realidade tendo em vista que foi um mês onde foi registrado um déficit hídrico igual a 0,2mm e precipitação acumulada de 76 mm, condições desfavoráveis para a ocorrência de incêndios florestais registrados. Possivelmente foi registrado alto risco no mês de maio, em virtude do processo de correção atmosférica



empregado que influenciou nos resultados de NDVI e, por conseguinte, no cálculo do risco integrado. Portanto, o período mais crítico para ocorrência de incêndios são os meses de agosto a outubro, tendo em vista que são os meses onde foram registrados os maiores déficits hídricos.

A metodologia de risco integrado é uma metodologia viável para o monitoramento dos riscos de incêndio por proporcionar a visualização integrada dos riscos considerando os riscos dinâmicos e estruturais. Sugere-se que sejam feitos mais estudos com a fim de aprimorar essa metodologia, dentre esses aprimoramentos recomenda-se a análise comparativa dos riscos integrados levando-se em consideração outros satélites e/ou índices espectrais de vegetação. Assim como a consideração de outros fatores como a densidade dos focos de calor e a temperatura.

Em suma, a pesquisa alcançou os objetivos propostos, pois a partir desse estudo foi possível quantificar e identificar os períodos em que os focos de calor são registrados com a maior frequência, bem como as condições meteorológicas que mais influenciaram no período analisado e por último no monitoramento do risco através dos índices de perigo de incêndio e dos mapas de risco integral.

Espera-se que esta pesquisa venha auxiliar no planejamento de ações de no combate e prevenção de incêndios florestais para o município de Ituiutaba-MG.

## REFERÊNCIAS

---

\_\_\_\_\_. A natureza amanhã. Partes de um incêndio florestal. Disponível em: <<http://queimaconsciente.blogspot.com.br/2013/02/>>. Acesso em: 10 de nov. de 2016.

AGUIAR, L.M. S.; CAMARGO, A.J.A. **Cerrado: ecologia e caracterização**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 249p.

ALBUQUERQUE, E. L. S. **Focos de calor na bacia hidrográfica do Rio Poti (Ceará/Piau) a partir dos registros do satélite NOAA-18**. In: Archimedes Perez Filho; Raul Reis Amorim. (Org.). Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento. 01ed.Campinas/SP: UNICAMPI, 2017, v. 01, p. 4708-4719. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2083>

ALMETSAT. Goes. Disponível em: <<http://pt.allmetsat.com/satellite-goes.php>>. Acesso em 19 de julho de 2017.

ALVARES,A.;CEGATTA,I.R.;VIEIRA,L.A.A.;PAVANI,R.F.;MATTOS,E.M.;SENTELHAS,P.C.;STAPE,J.L.;SOARES,R.V. Perigo de incêndio florestal: aplicação da Fórmula de Monte Alegre e avaliação do histórico para Piracicaba, SP. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104,p.521-532, 2014.

ANTUNES, M. A. H. Uso de satélites para detecção de queimadas e para avaliação do risco de fogo. **Ação Ambiental**. v. 12, p. 24-27, 2000.

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; HAYASHI, A.H.; CURY, G.; SOARES, M.K.M.; ROCHA, R. Underground systems of Asteraceae species from the Cerrado. **The Journal of the Torrey Botanical Society**, v.135, p. 103-113,2008. <https://doi.org/10.3159/07-RA-043.1>

ARAÚJO, Rogerio L. **Comportamento do Fogo**. Cascavel, 2007.

ASSUNÇÃO, W.L. Metodologia para a definição da duração das estações seca e chuvosa na região dos cerrados do Brasil Central -Primeira aproximação. In: Encontro de Geógrafos da América Latina, 2013, Peru: **Anais...** Encuentro de Geógrafos de América Latina, 2013.

ATZBERGER, C. Advances in remote sensing of agriculture: context description, existing operational monitoring systems and major information needs. **Remote Sens**. v. 5, p. 949 - 981, 2013. <https://doi.org/10.3390/rs5020949>

AULD, T. D. & O'CONNELL, M.A. Predicting patterns of post-fire germination in 35 eastern Australian Fabaceae. **Australian Journal of Ecology**, v.16, p.53-70. 1991. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1991.tb01481.x>

AULD, T.D. & DENHAM, A.J. 2006. How much seed remains in the soil after a fire? **Plant Ecology**, v. 187, p.15-24. <https://doi.org/10.1007/s11258-006-9129-0>

BALCH, J. K. et al. Effects of high-frequency understorey fires on woody plant regeneration in southeastern Amazonian forests. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1619, p. 20120157-20120157, 2013. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0157>

BARLOW J.; PARRY L.; GARDNER T.A.; FERREIRA J.; ARAGÃO L.E.O.C.; CARMENTA R. et al. The critical importance of considering fire in REDD+ programs. **Biological Conservation**, v. 154, p. 1-8,2012. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.03.034>

BARLOW, J. et al. Wildfires in bamboo-dominated Amazonian Forest: impacts on above-ground biomass and biodiversity. **PloSone**, v. 7, n. 3, p. e33373, 2012  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033373>

BARRETO, T.V. Positivismo Versus Teoria Crítica Em Torno Do Debate Entre Karl Popper E Theodor Adorno Acerca Do Método Das Ciências Sociais. **Perspectiva filosófica**, v.8, n.15, p.141-162,2001.

BATISTA, A. C. Detecção de incêndios florestais por satélites; Paraná, 2013. Disponível em: <<http://www.floresta.ufpr.br/firelab/wp-content/uploads/2013/09/artigo16.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

BOND, W. J.; VAN WILGEN, B. W. **Fire and Plants**. London: Chapman & Hall, 1996.  
<https://doi.org/10.1007/978-94-009-1499-5>

BOND, W.J.; WOODWARD, F.I & Midgley, G.F. The global distribution of ecosystems in a world without fire. **New Phytologist**, v., p.165: 525-538, 2005.  
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01252.x>

BORGES T.S.; FIEDLER N.C.; SANTOS A.R.; LOUREIRO, E.B.; MAFIA, R.G. Desempenho de alguns índices de risco de incêndios em plantios de eucalipto no norte do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n.2, p.153-159,2011.  
<https://doi.org/10.4322/foram.2011.033>

BORGES, L. A. **Estimativa de NDVI no estado de Minas Gerais utilizando imagens dos satélites CBERS\_2B/CCD e MSG/SEVIRI.2010**. 60f.Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras,2010.

BRAGA, J. V. **Detecção de áreas queimadas através de séries temporais MODIS no intermédio da RPPN Serra do Tambador e o Parque Nacional Chapada dos Veadeiros- GO.2013**. Monografia (Graduação em Geografia). Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Monitoramento de Queimadas e Incêndios: Perguntas Frequentes. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/fag.php>>. Acesso em: 15 março 2013.

BROWER, J. E.; ZAR, J. H.; ENDE, C. N. V. Field & laboratory methods for general ecology. 4. ed., W.C. **Brown Publishers**, Iowa, 1997. 288 p.

BYRAM, G. M. An analysis of the drying process in forest fuel material. **International Symposium on Humidity and Moisture**, Washington, D.C, May,20-23., 1963.

CAMARGO, A. P. **Balanço hídrico no estado de São Paulo**. 3.ed. Campinas: IAC, 1971. 24p. Boletim n.116.

CAMPOS, P.; SOUZA, R. XIV - **Estatística com R Uma Iniciação para o Ensino Básico e Secundário**. ALEA, Portugal, 2009.

CARAPIÁ, V. R. **Predição do índice de risco de incêndios e modelagem computacional do comportamento do avanço da frente do fogo no Parque Nacional da Floresta da Tijuca**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2006. 197p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CARDOZO, F. S. et al. Avaliação de áreas queimadas a partir dos índices espectrais NDVI e NDBR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBRs), 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 7950-7957.

CARVALHO, L. M. T. de; SCOLFORO, J. R. (Ed.). **Inventário florestal de Minas Gerais: monitoramento da flora nativa: 2005-2007**. Lavras, MG: UFLA, 2008. 357 p.

CASSETI, Valter. Geomorfologia. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: ....

CASTRO, E.A.; KAUFFMAN, J.B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, v.14, p. 263 - 283, 1998.

<https://doi.org/10.1017/S0266467498000212>

CEPSR-Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto. Página dinâmica para aprendizado do Sensoriamento Remoto. Disponível em: <<http://http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/sensores.html>>. Acesso em: 19 de julho de 2017.

CHANG, Y.; ZHU, Z.; BU, R.; LI, Y.; HU, Y. Environmental controls on the characteristics of mean number of forest fires and mean forest area burned (1987-2007) in China. **Forest Ecology and Management**; v. 2015, n. 356, p.13-21, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.07.012>

CHEN, K. P.; BLONG, R.; JACOBSON, C. MCE-RISK: Integrating multicriteria evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards. **Environmental Modelling & Software**, v.16, n.4, p.387-397, 2001.

[https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(01\)00006-8](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(01)00006-8)

CHENEY, N. P. Predicting fire behavior with fire danger tables. **Australian Forestry**, v. 32, n. 2, p. 71-79, 1968.

<https://doi.org/10.1080/00049158.1968.10675463>

CHRISTENSEN, N.L. 1985. Shrubland fire regimes and their evolutionary consequences, p. 85-100. In: Pickett, S.T. & White, P.S. (eds.) **The ecology of natural disturbance and patch dynamics**, Academic Press.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-050495-7.50011-9>

CHUVIECO, E.; MARTÍN, M. P.; MARTÍNEZ, J.; SALAS, F. J. Geografía e incendios forestales. Alcalá: Universidad de Alcalá de Henares, 1998. 17 p. (Serie Geográfica, 7).

CIRNE, P.; MIRANDA, H.S. Effects of prescribed fires on the survival and release of seeds of *Kielmeyera coriacea* (Spr.) Mart. (Clusiaceae) in savannas of central Brazil. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.20, p. 197-204,2008.

<https://doi.org/10.1590/S1677-04202008000300004>

COCHRANE, M. A. Fire science for rainforests. **Nature**, v. 421, p. 913-919, 2003.

<https://doi.org/10.1038/nature01437>

CODEVASF-Companhia de Desenvolvimento dos Desenvolvimentos dos Vales do São Francisco e Paranaíba. Apostila do curso técnicas de prevenção e combate à incêndios florestais,51f. Curitiba-PR,2010

COLOMBATI, M. Guía Para La Prevención de los Incendios Forestales em Córdoba. Agência Córdoba Ambiente, Cordoba, Argentina, 2007. 43 p.

Corpo de Bombeiros da Polícia Militar de São Paulo. Manual de Combate a Incêndios Florestais. 1 ed. São Paulo. São Paulo: Corpo de Bombeiros da Polícia Militar de São Paulo,2006.

COSTA, R.A. ANÁLISE BIOGEOGRÁFICA DO PARQUE MUNICIPAL DO GOIABAL EM ITUIUTABA - MG. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n.33, v.1, p.68-83,2011.

COUTINHO, L. M. As queimadas e seu papel ecológico. **Brasil Florestal**, v. 10, n. 44, p. 7- 23. 1980.

COUTINHO, L.M. 1982. Ecological effects of fire in Brazilian Cerrado. In: Huntley, B. J. & Walker, B. H. (eds). Ecology of tropical savannas. **Springer Verlag**. 273-291  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-68786-0\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-642-68786-0_13)

COUTINHO, L.M. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: Goldammer, J.G. (ed.). Fire in...the tropical biota - ecosystem process and global challenges, p 82-105. **Springer-Verlag**, Berlin. 1990.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-75395-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-642-75395-4_6)

COUTINHO, M. A. N.; FERNANDES, A. C. G.; SANTOS, V.G.; NASCIMENTO, C. R. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI, SAVI, RATIO E IAF para identificação de queimadas. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 70-81, 2016.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. In: Banco de dados. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 27 de dez. de 2018

DALDEGAN, G.; DE CARVALHO, O.; GUIMARÃES, R.; GOMES, R.; RIBEIRO, F.; MCMANUS, C. Spatial patterns of fire recurrence using remote sensing and GIS in the Brazilian savanna: Serra do Tombador nature reserve, Brazil. **Remote Sensing**, Basel, v. 6, n.10, p. 9873-9894, 2014.  
<https://doi.org/10.3390/rs6109873>

DELITTI, W.B.C.; PAUSAS, J.G.; BURGER, D.M. Belowground biomass seasonal variation in two Neotropical savannas (Brazilian Cerrados) with different fire histories. *Annals of Forest Science*, 58: 713-721, 2001.  
<https://doi.org/10.1051/forest:2001158>

DEPPE, F.; PAULA, E.V.; MENEGHETTE, C.R.; VOSGERAU, J. Comparação de índice de risco de incêndio florestal com focos de calor no Estado do Paraná. **Floresta**, v. 34, n. 2, p. 119-126. 2004.  
<https://doi.org/10.5380/ufv.v34i2.2382>

DIAS FILHO, G.A. Adequação das instalações de combate a incêndio da escola de música para atender ao TAC entre a UFRN e Corpo de Bombeiros. 2016. 88f. Monografia (Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. TERRA - Earth Observing System (EOS). Disponível em: <[https://www.cnpem.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao\\_terra.html](https://www.cnpem.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_terra.html)>. Acesso em 19 de julho de 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio de Janeiro. Súmula... Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

EPHIFANIO, José Carlos Neves. Satélites do Sensoriamento Remoto. INPE, 2005. p.2-36.

EUGENIO F.C.; SANTOS A.R.; LOUZADAF.L.R.O.; PIMENTEL, L. B.; MOULIN, J.V. Identificação das áreas de preservação permanente no município de Alegre utilizando geotecnologia. **Cerne**, Lavras, v.17, n.4, p.563-571, 2011.  
<https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000400016>

FERNANDES M.C.; COURA, P.H.F.; SOUSA, G.M.; AVELAR, A.S. Avaliação geoecológica de susceptibilidade à ocorrência de incêndios no estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Floresta e Ambiente*. v.18, n.3, p. 299-309, 2011.  
<https://doi.org/10.4322/floram.2011.050>

FERNANDES, A.C.G.; COUTINHO, M.A.N.; SANTOS, V.G.; NASCIMENTO, C.R.N. Utilização de intervalos de índices de vegetação e temperatura da superfície para detecção de queimadas. **Caderno Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 30-40, 2016.

FERRAZ, S.F.B.; VETTORAZZI, C.A. Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistemas de informações geográficas (SIG). **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v.53, p. 39-48,1998.

FIDELIS, A.; PIVELLO, V. R. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos? 2011. **Biodiversidade Brasileira**, v. 2, p. 12-25, 2011.

FLORENZANO, T. G. Iniciação em sensoriamento remoto. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

Formaggio, Antonio Roberto; Sanches, Ieda Del'Arco. Sensoriamento remoto em Agricultura. Oficina de Textos. 2017,288 p.

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D. Cálculo do balanço hídrico climatológico do estado da Paraíba para o planejamento agrícola cálculo do balanço hídrico climatológico do estado da Paraíba para o planejamento agrícola. In: II Workshop Internacional sobre a água no semiárido brasileiro, 2015, Campina Grande, PB. **Anais ...** Campina grande, PB 2015.v. 1.

FREIRE, S.; CARRÃO, H.; CAETANO, M.R. **Produção de cartografia de risco de incêndio florestal com recurso a imagens de satélite e dados auxiliares**. Lisboa: Instituto Geográfico Português, 2002.

Gerhardt, Tatiana Engel; Silveira, Denise Tolfo. **Método de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.120p.

GIGNOUX, J.; CLOBERT, J.; MENAUT, J.C. Alternative fire resistance strategies in savanna trees. **Oecologia**, v.110, p. 576 - 583, 1997.  
<https://doi.org/10.1007/s004420050198>

GILL, M.; ALLAN, G. Large fires, fire effects and the fire-regime concept. **International Journal Of Wildland Fire**, v. 17, p. 688-695, 2008.  
<https://doi.org/10.1071/WF07145>

GOBBO, S.D.A.; GARCIA, R. F.; AMARAL, A. A.; EUGÊNIO, F. C.; ALVAREZ, C.R.S.; LUPPI, A.S.L. Uso da Terra no entorno do PARNA-Caparaó: preocupação com os incêndios florestais. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.23, n.3, p.350-361, 2016.  
<https://doi.org/10.1590/2179-8087.110114>

GOTTSBERGER, G.; SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I. Life in the Cerrado: a south American tropical seasonal ecosystem. **Reta Verlag**. 2006.

GOVERNO DO ESTADO DO PIAUÍ. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco - CODEVASF. Apostila do Curso Técnicas de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais. Piauí, 2010.

GUTZWILLER, K. J.; BARROW, W. C. Influences of roads and development on bird communities in protected Chihuahuan Desert landscapes. **Biological Conservation**, v.113, n.2, p.225-237, 2003.  
[https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00361-0](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00361-0)

HERAWATI, H; SANTOSO, H. Tropical forest susceptibility to and risk of fire under changing climate: a review of fire nature, policy and institutions in Indonesia. **Forest Policy and Economics**. v. 13, p.227-233,2011.  
<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2011.02.006>

HOFFMANN, W.A. The effects of fire and cover on seedling establishment in a neotropical savanna. **Journal of Ecology**, v.84, p. 383-393,1996.  
<https://doi.org/10.2307/2261200>

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais.2000. Disponível: <<http://br.geocites.com/ibamapr/prevfogo.htm>> Acesso em 04 de jun de 2017

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=313420>>. Acesso em 30 de out.2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA-INMET. Nota técnica 004/17: Estação chuvosa em Minas Gerais. Belo Horizonte, p.1, 2017.

JUSTICE, C. O.; GIGLIO, L.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MORISETTE, J. T.; ROY, D. The MODIS fire products. **Rem. Sens. Env.**, v. 83, n. 2, p. 244-262, 2002.  
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00076-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00076-7)

KNOX, K.J.E.; CLARKE, P.J. Fire season and intensity affect shrub recruitment in temperate sclerophyllous woodlands. **O ecologia**, v. 149, p.730-739.  
<https://doi.org/10.1007/s00442-006-0480-6>

LARCHER, W. Ecofisiologia Vegetal. RIMA, São Carlos. 2000.

LATERRA, P.; SOLBRIG, O.T. Dispersal strategies, spatial heterogeneity and colonization success in firemanaged grasslands. **Ecological Modelling**, n. 139, p.17-29, 2001.  
[https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00227-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00227-7)

LIESENFELD, M. V. A.; VIEIRA, G.; MIRANDA, I. P. A. Ecologia do fogo e o impacto na vegetação da Amazônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 88, p. 505-517, dec. 2016.  
<https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.1222>

LINDMAN, C.A.M. A vegetação do Rio Grande do Sul. Universal. 1906

LINN R.R., CANFIELD J.M., CUNNINGHAM P., EDMINSTER C., DUPUY J.L., PIMONT F. Using periodic line fires to gain a new perspective on multi-dimensional aspects of forward fire spread. **Agricultural and Forest Meteorology** v. 157, p. 60-76,2012.  
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.01.014>

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2007. 908 p.

LOPES, S. F.; VALE, V. S.; SCHIAVINI, I. Efeito de Queimadas Sobre a Estrutura e Composição da Comunidade Vegetal Lenhosa do Cerrado Sentido Restrito em Caldas Novas, GO. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 695-704, 2009.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000400012>

LOVERIDGE, E. W. A country-wide forest fire weather hazard index. **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 33, n. 4, p. 379 - 384, 1935.

MARTINS, F.P.; COSTA, R.A. Geomorfologia aplicada ao estudo de vulnerabilidade ambiental no município de Ituiutaba - MG. **Brazilian Geographic Journal**, v.5, n.1, p.173-193,2014.

MASSMAN, W. J. et al. Advancing investigation and physical modeling of first-order fire effects on soils. **Fire Ecology**, v. 6, n. 1, p. 36-54, 2010.  
<https://doi.org/10.4996/fireecology.0601036>

MATAVELI, G.A.V.; SILVA, M.E.S.; PEREIRA, G.; KAWAKUBO, F.; BERTANI, G. OLIVEIRA, B.S. Análise das queimadas e da precipitação em áreas de Cerrado do Maranhão a partir de dados do sensor MODIS e do satélite TRMM para o período 2002-2015. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 96, p. 11-30, 2017.

MATO GROSSO, Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Mato Grosso - SEMA, Superintendência de Monitoramento de Indicadores Ambientais. Relatório de Monitoramento de focos de calor 2008-2009. Org. OLIVEIRA, Gabriel Vitorelli; CAMARGO, Lígia. Cuiabá: SEMA/MT; SMIA, 2010.



MATTHEWS, S. Dead fuel moisture research: 1991-2012. **International Journal of Wildland Fire**, Roslyn, v. 23, n. 1, p. 78-92, 2014.  
<https://doi.org/10.1071/WF13005>

MESQUITA, F. W.; LIMA, N. R. G. ; GONÇALVES, C. N.; BERLINCK, C. N.E.LINTOMEN, B. S. Histórico dos incêndios na vegetação do Parque Nacional da Chapada Diamantina, entre 1973 e abril de 2010, com base em imagens Landsat. **Revista Biodiversidade Brasileira**, n.2, p. 228-246, 2011.

MICHALETZ, S. T. et al. Moving beyond the cambium necrosis hypothesis of post-fire tree mortality: cavitation and deformation of xylem in forest fires. **New Phytologist**, v. 194, n. 1, p. 254-263, 2012.  
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.04021.x>

MICHALETZ, S.; JOHNSON, E. How forest fires kill trees: A review of the fundamental biophysical processes. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 22, n. 6, p. 500-515. 2007.  
<https://doi.org/10.1080/02827580701803544>

Minas Gerais. Resolução Conjunta SEMAD/IEF nº 2075 de 23 de maio de 2014. Estabelece os procedimentos para regulamentação da queima controlada no âmbito do Estado de Minas Gerais e dá outras providências.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no Cerrado (PPCerrado): 2ª fase. Brasília: MMA, p. 132, 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA. Investigação de incêndios florestais. Brasília: Prevfogo/Ibama, 2010. 75p.

MIRANDA, H.S.; BUSTAMANTE, M.M.C.; MIRANDA, A.C. 2002. The fire factor, 51-68. In: Olivera, P.S. & Marquis, R.J. (eds). The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna. Columbia University Press.  
<https://doi.org/10.7312/oliv12042-005>

MIRANDA, H.S.; SATO, M.N.; NETO, W.N.; AIRES, F.S. 2009. Fires in the Cerrado, the brazilian savanna, 427-450. In: Cochrane, M.A. (ed). Tropical fire ecology: climate change, land use and ecosystem dynamics. Springer-Praxis.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-540-77381-8\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-540-77381-8_15)

MOREIRA, A.G. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. **Journal of Biogeography**, v.27, p. 1021 - 1029, 2000.  
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2000.00422.x>

Motta, Daniel Souza. **Identificação dos fatores que influenciam no comportamento do Fogo em Incêndios Florestais**. 2008. 32f. Monografia (Engenharia Florestal), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

MUNHOZ, C.B.R. & FELFILI, J.M. Reproductive phenology of an herbaceous-subshrub layer of a Savannah (Campo Sujo) in the cerrado biosphere reserve I, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v.67, p. 631-637, 2007.  
<https://doi.org/10.1590/S1519-69842007000200015>

NARCISO, M.G.; SORIANO, B.M.A.; DANIEL, O.; SANTOS.S.A. Utilização de sistema de informação de dados climáticos para cálculo de índices de risco de incêndio para a sub-região da Nhecolândia. In: 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2.,2009, Corumbá. **Anais...**Corumbá: EMBRAPA, p.220-229.

NOBRE, A.C.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, p. 22-27,2007.



NOGUEIRA, G. S.; RIBEIRO, G. A.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, E. P. Escolha de locais para instalação de torres de detecção de incêndio com auxílio do SIG. **Revista. Árvore.** v.26, n.3, p.363-369,2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000300012>

OLIVEIRA, D. S. et al. Zoneamento de Risco de Incêndios Florestais para o estado do Paraná. **Revista Floresta,** Curitiba, v. 34, n. 2, p.217-221, mai./ago. 2004. <https://doi.org/10.5380/rev.v34i2.2399>

OLIVEIRA, D.S. **Zoneamento de risco de incêndios em povoados florestais no norte de Santa Catarina.**2002. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba,2002.

OMENA, M. T. R. N.; ARAKI, E. K.; SCHIMALSKI, M. B.; TANIWAKI, M. H.; SANTOS, P. S. Zoneamento do Risco de Incêndio Florestal para o Parque Nacional de São Joaquim - SC. **Biodiversidade Brasileira,** v.6, n.2,p. 173-186, 2016.

PAUSAS, J. G.; RIBEIRO, E. The global fire-productivity relationship. **Global Ecology and Biogeography,** v. 22, n. 6, p. 728-736, 2013. <https://doi.org/10.1111/geb.12043>

PAZIROTTO, Walter. **O controle dos incêndios florestais pelo corpo de bombeiros de Santa Catarina: diagnóstico e sugestões para o seu aprimoramento.**2006. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PEREIRA JÚNIOR, A. C. **Métodos de Geoprocessamento na Avaliação da Susceptibilidade do Cerrado ao Fogo.** 2002. 98 f. Tese (Doutorado em Ciências da área de Concentração em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

PEREIRA, A R., ANGELOCCI, L.R., SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, A. A. **Uso de geotecnologia para detecção e análise de queimadas e focos de calor em Unidades de Conservação no norte de Minas Gerais.**2009.91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PEREIRA, A.A.; TEIXEIRA, F. B.; LIBONATI, R.; MELCHIORI, E.A.; CARVALHO, L.M.T. Avaliação de índices espectrais para identificação de áreas queimadas no cerrado utilizando dados Landsat TM. **Revista Brasileira de Cartografia.** 68, n.8, p. 1665-1680, 2016.

PEREIRA, J.M.C. A comparative evaluation of NOAA/AVHRR vegetation indexes for burned surface detection and mapping. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,** New York, v.37, n.1., p.217-226, 1999. <https://doi.org/10.1109/36.739156>

PEREIRA, K.G.O.; PEDROSO, L.B.; NASCIMENTO, P.A.G.; PRADO, V.G.T.J. ITUIUTABA(MG): UM OLHAR GEOMORFOLÓGICO SOBRE A QUALIDADE DE VIDA NO CÓRREGO SUJO. In... XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada,2009.

Pereira, M. C. **Deteção, monitoramento e análise de alguns efeitos ambientais de queimadas na Amazônia através da utilização de imagens dos satélites NOAA e LANDSAT e dados de aeronave.** 1987. 268 p. (INPE-4503-TDL/326). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1987.

PERES, C. A. Ground fires as agents of mortality in a Central Amazonian Forest. **Journal of Tropical Ecology,** v. 15, n. 4, p. 535-541, 1999. <https://doi.org/10.1017/S0266467499000991>

PEZZOPANE, J. E. M.; OLIVIERA NETO, S. N.; VILELA, M. F. Risco de incêndios em função de característica do clima, relevo e cobertura do solo. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 161 - 6, 2001.

PIRES, E.G.; FERREIRA Jr., L.A. Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 17, 2015, João Pessoa: **Anais...** João Pessoa, INPE, 2015, p. 7421-7428.

PIVELLO, V.R. 2011. The use of fire in Brazil: past and present. **Fire Ecology**, v.7, p.24-39. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024>

PIVELLO, V.R.; COUTINHO, L.M. Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an open cerrado (Brazilian savanna). **Journal of Tropical Ecology**, v.8, p.487-497, 1992. <https://doi.org/10.1017/S0266467400006829>

PONZONI, F. J. Sensoriamento remoto no estudo da Vegetação: diagnosticando a mata atlântica. INPE. São José dos Campos. 2002. Disponível em:<[http://ecologia.ib.usp.br/lepac/bie5759/CAP8\\_FJPonzoni.pdf](http://ecologia.ib.usp.br/lepac/bie5759/CAP8_FJPonzoni.pdf)>. Acesso em:...

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.

PRADO, V. G. T. J.; SOUSA, R. R. Mapa Pluviométrico do Triângulo Mineiro. (Relatório Final de Iniciação Científica). Ituiutaba: UFU/FACIP, 2010.

PRUDENTE, T., D. **Geotecnologias aplicadas ao mapeamento das áreas de risco de incêndio florestal no Parque Nacional da Serra dos Veadeiros e área de entorno**. 2010.116 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Uberlândia.

PRUDENTE, T., D. **Risco integrado de incêndios florestais em áreas de cerrado: contribuições metodológicas**. 2016. 130 f. Tese (Doutorado em Geografia) -Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

PRUDENTE, T.D.; ROSA, R. 2009. Geotecnologias aplicadas à análise de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, Natal, 2009. **Anais**, Natal, INPE, p.2951-2958.

PYNE, S. J.; ANDREWS, P. L.; LAVEN, R. D. **Introduction to wildland fire**. 2. ed. New York: John Wiley and Sons, 1996. 769 p.

RAMOS-NETO, M.B.; PIVELLO, V.R. 2000. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. **Environmental Management** 26: 675-684. <https://doi.org/10.1007/s002670010124>

RAVEN, P.H. et al. *Biologia Vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 2001.

REIN, G. et al. The severity of smouldering peat fires and damage to the forest soil. **Catena**, v. 74, n. 3, p. 304-309, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.05.008>

RESENDE, M.; ROSENDO, J.S. Análise da evolução da ocupação do uso da terra no município de Ituiutaba-mg utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. **Horizonte Científico**, v.3, n.1, 2009.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (ed.). *Cerrado: ambiente e flora*. Brasília, Embrapa Cerrados, 1998. p.87-166.

RIBEIRO, L.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; SILVA, I. C. Análise do perigo de incêndios florestais em um município da Amazônia mato-grossense, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 2, p. 257 - 70, 2011.  
<https://doi.org/10.5380/ufv.v41i2.21873>

RIBEIRO, L.; SOARES, R.V; BEPLER, M. Mapeamento do risco de incêndios florestais no município de Novo Mundo, Mato Grosso, Brasil. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 117-126, 2012.  
<https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000100014>

RIBEIRO, L.et al. Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a Fazenda Experimental do Canguiri, Pinhais (PR). **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 561-572, jul./set. 2008.  
<https://doi.org/10.5380/ufv.v38i3.12430>

RIBEIRO, Luciene. **A pressão antrópica e os riscos de incêndios florestais no município de Novo Mundo, Amazônia Mato-Grossense**.2009. 146f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RICE, S.K. Vegetation establishment in post-fire Adenostoma chaparral in relation to fine-scale pattern in fire intensity and soil nutrients. **Journal of Vegetation Science**, v. 4, p.115-124, 1993.  
<https://doi.org/10.2307/3235739>

RIZZINI, C.T. Estudos experimentais sobre o xilopódio e outros órgãos tuberosos de plantas do cerrado. Anais da Academia brasileira de Ciências, v.37, p.87-113, 1965.

RIZZINI, C.T.; HERINGER, E.P. 1962. Studies on the underground organs of trees and shrubs from some southern Brazilian savannas. Anais da Academia brasileira de Ciências, 34: 235-247.

RODRIGUES, R. R.; BORGES, E. F.; FRANCAROCHA, W. J. S. Identificação das zonas de ocorrência de incêndios no Parque Nacional da Chapada Diamantina - BA. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE, p. 8043-8050.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C. Planilha no ambiente Excel para o cálculo Balanço Hídrico Normal por Thornthwaite-Mather (1955). BHnorm v5.0. Departamento de Física e Meteorologia ESALQ-USP, 1999.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7 ed. Uberlândia: EDUFU,2009, 262p.

ROSENDO, J. S. **Índices de Vegetação e Monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do rio Araguari -MG - utilizando dados do sensor Modis**.2005. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2005.

ROTHERMEL, R. C. **A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels**. Ogden: USDA Forest Service; Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1972. 40 p.

SAAVEDRA, O.F. C. **Estimativa da umidade do solo através de séries temporais de NDVI e de LST na planície de inundação da Ilha do Banana**. 2016. 91f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

SALAS, J.; CHUVIECO, E. Geographic information systems for wildland fire risk mapping. **Wildfire**, Washington, v. 3, n. 2, p. 7-13, June 1994.

SAMPAIO, O.B. **Estudo comparativo de índices para previsão de incêndios florestais na região de Coronel Pacheco, Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 88p. Dissertação (Mestrado) -Universidade Federal de Viçosa, 1991

SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina. EMBRAPA-CPAC, 1998. 556p.

SANTOS ARAÚJO, D.C.; MONTENEGRO, S.M.G.C.; GUSMÃO, A.C.V.L.; RODRIGUES, D.F.B.; URSULINO, B.S. Validação da precipitação estimada pelos produtos TRMM 3B42 e GPM IMERG em Bacia experimental de Pernambuco. In XIV SRHNE - SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2018, Maceió, AL. **Anais...** Alagoas, 2017, p.1-9.

SANTOS, J.F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A.C. Evolução do perfil dos incêndios florestais em áreas protegidas no Brasil de 1993 a 2002. **Floresta**, Curitiba, v.36, p. 93-100, 2006.  
<https://doi.org/10.5380/rf.v36i1.5510>

SANTOS, S. M. B; FRANCA-ROCHA, W.J. S.; GONÇALVES, A. J. B.; BAPTISTA, G. M. M. Quantificação e avaliação dos Focos de calor no Parque Nacional da Chapada Diamantina e entorno no período de 2007 a 2016. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 69/4, p. 701-712, 2017

SANTOS, W. S.; SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; MENDONÇA, I.F.C; SOUTO, L. S.; MARACAJÁ, P. B. Estimativa dos riscos de ocorrência de incêndios florestais no Parque Estadual Pico do Jabre, na Paraíba. **Agropecuária Científica no Semiárido**.v.1, n.1, p.80-84, 2015.

SCHOLES, R.J. (1997). Savanna. In 'Vegetation of southern Africa'. (Eds RM Cowling, DM Richardson & SM Pierce) pp. 258-277. **Cambridge University**. Press: Cambridge, UK.

SCHROEDER, M. J.; BUCK, C. C. **Fire weather: a guide for application of meteorological information to forest fire control operations**. Boise: USDA Forest Service, 1970. 229 p.

SEGER, C.D.; BATISTA, A.C.; VASHCHENKO, Y.; LORENZETTO, D. Análise dos incêndios florestais em vegetação nativa de vinte e dois municípios da região leste do estado do Paraná - Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 13, n. 43, p. 30-40, 2012.

SETZER, A. W. Operational satellite monitoring of fires in Brazil. **International Forest Fire News**, v 9, p. 8-11, 1993.

SILVA, B.F.; DINIZ, J.; BORTOLUZZI, M. A. **Minicurso de Estatística Básica: Introdução ao software R**. Apostila. Santa Maria, UFSM, 2009.

SILVA, E. D.; REBOITA, M. S. Estudo da Precipitação no Estado de Minas Gerais - MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, p. 120-136, 2013.  
<https://doi.org/10.5380/abclima.v13i0.33345>

SILVA, Francisco Alves Da. **Análise temporal da variação da cobertura vegetal pela ação do fogo no município de Lábrea (AM)**. 2017. 72f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2017.

SILVA, J. C.; FIEDLER, N. C.; SILVA, G. F. Uso da Fórmula de Monte Alegre na determinação dos períodos críticos de ocorrência de incêndios florestais nas áreas de proteção ambiental do Gama Cabeça-de-Veado, Brasília, DF. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 20, n. 1, p. 29 - 36, 2001.

Silva, Romildo Gonçalves. **Manual de Combate aos Incêndios Florestais**. Brasília: IBAMA, 1998.  
SILVA, S. A.; CABRAL, J. B. P.; SCOPEL, I. Incêndios em vegetação entre 2000 e 2002, nas propriedades rurais limítrofes às rodovias pavimentadas do município de Jataí-GO. Jataí. **Geoambiente**, n.2, p.1-20, 2004.

SILVA, G.A.; CASTANHO, R.B. Mapeamento da agricultura urbana no município de Ituiutaba - Minas Gerais/Brasil. **Horizonte Científico**, Uberlândia. v.5, n.2, p.1-27, 2011.

SILVA, T.R.; MIYAZAKI, L.C.P. Identificação das principais unidades morfoestruturais e morfoesculturais do município de Ituiutaba - MG. In: XVII Encontro Nacional de Geógrafos. São Luís-MA. **Anais...** 2016.

SILVEIRA, A. H.M.; QUEIROZ, A.F.S.; SILVA, B.C.O.; SILVA, F.M.; COSTA JÚNIOR, N.P. Proposta metodológica para risco de incêndio florestal: estudo de caso na Zona de Proteção Ambiental (ZPA - 1) em Natal/RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v.6, n.5, p.1174 - 1192,2013.

SILVEIRA, H. L. F.; VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. O. A. Avaliação multicriterial no mapeamento de risco de incêndios florestais, em ambiente sig, na bacia do Rio Corumbataí, SP. **Revista Árvore**. v.32, n.2, p.259-268.,2008.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000200009>

SOARES R.V.; BATISTA, A.C. **Incêndios florestais - Controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba; 2007.

SOARES, R. V. **Determinação de um índice de perigo de incêndio para a região centro paranaense, Brasil**. 72 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas da OEA, Turrialba, Costa Rica, 1972.

SOARES, R. V. Incêndios Florestais - **Controle e Uso do fogo**. Curitiba, FUPEF, 1985.213p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba: UFPR, 2007. 264 p.

SOARES, R.V. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1984 a 1987. **Revista Floresta**, v.18, n.1/2. 94-121. 1988.  
<https://doi.org/10.5380/ufv.v18i2.6387>

SOUSA, S. B. et al. Análise comparativa entre dados TRMM e estações pluviométricas no Pantanal brasileiro: ano base 2006. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2013. p. 6945-6952.

SOUZA, P. A. L.; SISMANOGLU, R. A.; LONGO, K. M.; MAURANO, L. E.; RECUERO, F. S.; SETZER, A. W.; YOSHIDA, M. C. Avanços no monitoramento de queimadas realizado no INPE. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13. 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004.

STOKES, K.E.; ALLCHIN, A.E.; BULLOCK, J.M.; WATKINSON, A.R. Population responses of Ulex shrubs to fire in a lowland heath community. **Journal of Vegetation Science**, v.15, p. 505 - 514, 2004.  
<https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02289.x>

STROPPIANA, D.; BORDOGNA.G; CARRARA, P; BOSCHETTI, M; BOSCHETTI, L; BRIVIO; P.A. A method for extracting burned areas from Landsat TM/ETM+ images by soft aggregation of multiple Spectral Indices and a region growing algorithm. ISPRS. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**; v. 69. n. 1. p. 88-102, 2012.  
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.03.001>

TAN, M.L.; DUAN, Z. Assessment of GPM and TRMM Precipitation Products over Singapore. **Remote Sensing**, v. 9, n.720, pp. 1-16, 2017  
<https://doi.org/10.3390/rs9070720>

TETTO, A.F.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. Ocorrência de incêndios florestais no estado do Paraná, no período de 2005 a 2010. **Floresta**. v. 42, n. 2, p. 391- 398, 2012.  
<https://doi.org/10.5380/ufv.v42i2.22516>

TONELLO, K. C. et al. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **Rev. Árvore**, v.30, n.5, p.849-857,2006.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000500019>

TORRES, F. T. P. et al. Perfil dos Incêndios em Vegetação nos Municípios de Juiz de Fora e Ubá, MG, de 2001 a 2007. **Floresta e Ambiente**, v.17, n.2, p.83-89, 2010.  
<https://doi.org/10.4322/floram.2011.010>

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.

TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A.; MARTINS, S. V.; LIMA, G. S. Correlações entre os elementos meteorológicos e as ocorrências de incêndios florestais na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista Árvore**, v.35, n.1, p.143-150, 2011.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000100017>

TORRES, F.A. P.; RIBEIRO, G.A. Índices de risco de incêndios florestais em Juiz de Fora/MG. **Floresta e Ambiente**.v.15, n.2, p.24-34.,2008.

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.

TORRES, F.T.P.; ROQUE, M.P.B.; LIMA, G.S.; MARTINS, S.V.; FARIA, A.L.L. Mapeamento do Risco de Incêndios Florestais Utilizando Técnicas de Geoprocessamento. **Floresta e Ambiente**, v.24, p.1-7, 2017.  
<https://doi.org/10.1590/2179-8087.025615>

TROLLOPE, W. S. W.; TROLLOPE, L. A.; HARTNETT, D. C. Fire behaviour a key factor in the fire ecology of African grasslands and savannas. In: Forest fire research & wildland fire safety. VIEGAS, D. X. (Ed.) Rotterdam: Millpress, 2002.

TYLER, C.M. Factors contributing to postfire seedling establishment in chaparral: direct and indirect effects of fire. **Journal of Ecology**, v.83, p.1009-1020.,1995.  
<https://doi.org/10.2307/2261182>

UFPR- Universidade Federal do Paraná. Índices de perigo. Disponível em: <<http://www.floresta.ufpr.br/firelab/indices-de-perigo/>>. Acesso em 02/11/2016.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B. Uso de sistemas de informações geográficas aplicados à prevenção e combate a incêndios em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 12, n. 32, p. 111-115, 1998.

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London:pion, 1983.

WHELAN, R.J. 1995. **The ecology of fire**. Cambridge University Press.

WHITE, B. L. A. **Modelagem matemática e avaliação do comportamento do fogo em liteira de eucalipto**. 190 f. 2014. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2014.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T.; SOUZA, R. M. Caracterização do material combustível e simulação do comportamento do fogo em eucaliptais no litoral norte da Bahia, Brasil. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 1, p. 33-42, 2014.  
<https://doi.org/10.5380/ufv.44i1.32977>

WHITE, B.L.A. Modelos matemáticos de previsão do teor de umidade dos materiais combustíveis florestais finos e mortos. **Ciência Florestal**.v. 28, n.1, p.432-445,2018.  
<https://doi.org/10.5902/1980509831622>

WHITE, L. A. S.; WHITE, B.L.A.; RIBEIRO, G.T. Modelagem especial do risco de incêndio florestal para o município de Inhambuque, BA. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.36, n.85, p.41-49,2016.  
<https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.85.850>

WRIGHT, J. G. **Forest-fire hazard tables for mixed red and white pine forests: Eastern Ontario and Western Quebec Regions**. Ottawa: Dominion Forest Service, Department of the Interior Canada, 1933. 20 p.

WROBLESKI, D.W. & KAUFFMAN, J.B. Initial effects of prescribed fire on morphology, abundance, and phenology of forbs in big sagebrush communities in southeastern Oregon. **Restoration Ecology**, v.11, p.82-90,2003.  
<https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2003.00084.x>

ZHAN, X.; SOHLBERG, R. A.; TOWNSHEND, J.R.G.; DIMICELI, C; CARROL, M.L.; EASTMAN, J.C.; HASSEN, M.C.; DEFRIES, R.S. Detection of land cover changes using MODIS 250m data. **Remote Sensing of Environment**, New York,v. 83, n.2.; p.336-350,2002.  
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00081-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00081-0)