



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

**ROSEMBERG RODRIGUEZ REYES**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO FOGO EM ÁREAS DE  
PASTAGEM E CERRADO SUBMETIDAS A QUEIMAS  
CONTROLADAS**

**GURUPI – TO  
2017**



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

**ROSEMBERG RODRIGUEZ REYES**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO FOGO EM ÁREAS DE  
PASTAGEM E CERRADO SUBMETIDAS A QUEIMAS  
CONTROLADAS**

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

Orientador: Prof. Dr. Marcos Giongo

Co-orientador: Dr. Edmar Vinícius de Carvalho

**GURUPI - TO  
2017**

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

---

R457a Reyes, Rosemberg Rodriguez.  
Avaliação do comportamento do fogo em áreas de pastagem e Cerrado submetidas a queimas controladas. / Rosemberg Rodriguez Reyes. – Gurupi, TO, 2017.  
59 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Ciências Florestais e Ambientais, 2017.

Orientador: Marcos Vinicius Giongo Alves

Coorientador: Edmar Vinicius de Carvalho

1. Material combustivel . 2. Modelos. 3. Amostragem destrutiva .  
4. Tocantins. I. Título

**CDD 628**

---

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

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



## Defesa nº 047/2017

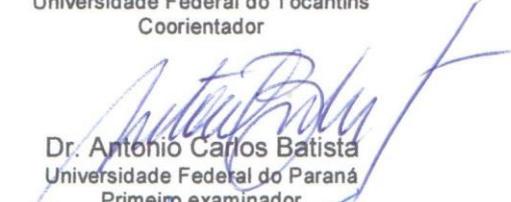
### ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE ROSEMBERG RODRIGUES REYES, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS.

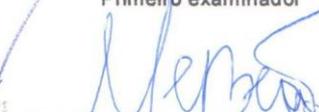
Aos 18 dias do mês de maio do ano de 2017, às 17 horas, na sala 01, do edifício CeMAF, do Campus de Gurupi, da Universidade Federal do Tocantins - UFT, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Orientador Dr. MARCOS GIONGO da Universidade Federal do Tocantins, Profª Drª MARIA CRISTINA BUENO COELHO da Universidade Federal do Tocantins, Prof Dr ANTONIO CARLOS BATISTA da Universidade Federal do Paraná e Prof Dr EDMAR VINICIUS DE CARVALHO da Universidade Federal do Tocantins, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de ROSEMBERG RODRIGUES REYES, intitulada "**Avaliação do comportamento do fogo em áreas de pastagem e cerrado submetidas à queimas controladas**". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo parecer favorável à aprovação, com as devidas ressalvas e correções apontadas pela banca examinadora, habilitando-o ao título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

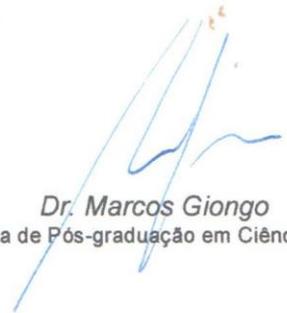
  
Dr. Marcos Giongo  
Universidade Federal do Tocantins  
Orientador e presidente da banca examinadora

  
Dr. Edmar Vinicius de Carvalho  
Universidade Federal do Tocantins  
Coorientador

  
Dr. Antonio Carlos Batista  
Universidade Federal do Paraná  
Primeiro examinador

  
Drª. Maria Cristina Bueno Coelho  
Universidade Federal do Tocantins  
Segunda examinadora

Gurupi, 18 de maio de 2017.

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

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter permitido que concluísse esse trabalho e por guiar-me em seu caminho, por ser minha força, por não ter me desamparado nem ter me deixado desistir, por manter minha fé presente mesmo diante de todas as dificuldades.

Aos meus amados pais Rosemberg Rodriguez e Araceli Reyes, pelos seus esforços e apoio nos momentos mais difíceis. A toda minha querida família entre eles meus irmãos Naxielli, Fabiola e Jonathan, meu cunhado Alberto, obrigado pelo carinho e pelas lições de vida.

A minha namorada Maritza Santiago por tudo seu companheirismo, amor e paciência que teve comigo em todo momento, sempre estando ao meu lado, me dando suporte e palavras de carinho. Eu te quero! Agradeço também pela compreensão e por ter me ajudado sempre a acreditar na construção desse trabalho.

Ao Professor Marcos Giongo, orientador e amigo, responsável por estabelecer as ideias fundamentais para a elaboração desse trabalho, e por tornar possível meu ingresso na Universidade e por tudo o conhecimento compartilhado. A todos os professores que tive ao longo da minha trajetória como estudante.

Minha eterna gratidão aos meus queridos amigos (não vou citar nomes, pois posso esquecer alguém) que tanto torceram por mim e me ajudaram ao longo desse tempo, que me fizeram rir nos momentos de tristeza e sempre estiveram ao meu lado, ao grupo de pesquisa CeMAF com sua amizade e parceria muito obrigado. Ao Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia- CONACYT, pela concessão da bolsa de estudos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primeramente a Dios por haber permitido que concluyese este trabajo y por guiarme en su camino, por ser mi fuerza, por no haberme desamparado ni haberme dejado renunciar, por mantener mi fe presente ante todas las dificultades.

A mis amados padres Rosemberg Rodríguez y Araceli Reyes, por sus esfuerzos y apoyo en los momentos más difíciles. A toda mi querida familia entre ellos mis hermanos Naxielli, Fabiola y Jonathan, mi cuñado Alberto, gracias por el cariño y las lecciones de vida.

A mi novia Maritza Santiago por todo su compañerismo, amor y paciencia que ha tenido conmigo en todo momento, siempre estando a mi lado, dándome soporte y palabras de cariño. ¡Yo te quiero! Agradezco también por la comprensión y por haberme ayudado siempre a creer en la construcción de este trabajo.

Al Profesor Marcos Giongo, orientador y amigo, responsable de establecer las ideas fundamentales para la elaboración de este trabajo, y por hacer posible mi ingreso en la Universidad y por todo el conocimiento compartido. A todos los profesores que tuve a lo largo de mi trayectoria como estudiante.

Mi eterna gratitud a mis queridos amigos (no voy a citar nombres, pues puedo olvidar a alguien) que tanto me apoyaron y me ayudaron a lo largo de este tiempo, que me hicieron reír en los momentos de tristeza y siempre estuvieron a mi lado, al grupo de investigación CeMAF con su amistad y colaboración muchas gracias. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología- CONACYT, por la concesión de la beca.

## RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar o comportamento do fogo em queimas controladas, com o fim de estabelecer relações entre as variáveis do comportamento do fogo e fatores determinantes de propagação (material combustível e variáveis climáticas). Este trabalho foi desenvolvido em três áreas experimentais e em três períodos do dia de realização das queimas: no horário de 07:00 as 11:00 horas da manhã, no horário de 13:00 as 17:30 horas e de 18:00 as 21:00 horas, nos municípios de Gurupi-TO e Dueré-TO, no mês de junho de 2016. A primeira área, denominada Gurupi I, está distante 3 km do município de Gurupi-TO, com vegetação *Andropogon gayanus* (altura média de 1,80 cm); a segunda área, denominada Gurupi II, está distante 4 km do município de Gurupi-TO, com *Andropogon gayanus* (altura média entre 40-60 cm) e a terceira área, denominada Dueré, fica aproximadamente a 40 km do município de Gurupi-TO, com vegetação típica de Cerrado Stricto Sensu. Para a realização da coleta de material combustível, a metodologia empregada foi a de “amostragem destrutiva” que consiste na retirada de todo o material contido no quadrante (1x1 m). O material combustível foi separado em vivo e morto, e por classes diamétricas (< 0,7 cm; 0,7 – 2,5 cm; 2,5 – 7,6 cm; > 7,6 cm). De acordo com as análises estatísticas, Gurupi I foi a área que apresentou maior biomassa de material combustível vivo e morto com diâmetro < 0,7 cm (3,789 t.ha<sup>-1</sup>; 9,912 t.ha<sup>-1</sup>). Já na área Dueré, o material combustível vivo e morto com diâmetro < 0,7 cm apresentou uma carga de 0,451 t.ha<sup>-1</sup>; 3,492 t.ha<sup>-1</sup> respectivamente. O material combustível morto, com diâmetros > 0,7 cm, foi observado somente na área de Dueré com uma carga total de 0,879 t.ha<sup>-1</sup>. Com relação aos resultados obtidos em Dueré, a velocidade média do vento variou de 0,0 m.s<sup>-1</sup> (período da tarde) a 0,02 m.s<sup>-1</sup> (período da noite). Na intensidade do fogo, esta variação ficou entre 118,60 kcal.m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> (manhã) e 361,45 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup> (tarde) e a (noite) com a menor intensidade 53,21 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>. Em Gurupi I, com relação à altura das chamas no período da manhã, foi observado o menor valor (1,12 m) e no período da tarde o maior valor (3,47 m). Em Gurupi II, a velocidade média de propagação foi maior nas queimas realizadas no período da manhã (0,02 m.s<sup>-1</sup>) e da tarde (0,04 m.s<sup>-1</sup>). A temperatura e a umidade relativa do ar foram, respectivamente, maiores e menores no período da tarde com os seguintes valores: 37,4° C e 17,0%, e apresentaram correlação com os parâmetros de comportamento do fogo e foram incluídas nos modelos matemáticos gerais ajustados para predição da velocidade de propagação (R<sup>2</sup> = 0,44); da intensidade do fogo (R<sup>2</sup> = 0,60) e da altura das chamas (R<sup>2</sup> = 0,74). De forma geral as variáveis que mais exerceram influência no comportamento do fogo foram as variáveis meteorológicas como umidade relativa e temperatura do ar.

Palavras-chaves: material combustível; modelos; parâmetro; amostragem destrutiva; Tocantins.

## ABSTRACT

The objective of the present study was to evaluate the behavior of fire in controlled burning, in order to establish relationships between fire behavior variables and propagation determinants (combustible material and climatic variables). This work was developed in three experimental areas divided into three periods of the day for the firing of the burns, from 07:00 to 11:00 in the morning, from 13:00 to 17:30 and from 18:00 to 21:00 hours, in the municipalities of Gurupi-TO and Dueré-TO, in June 2016. The first area, called Gurupi I, is 3 km from the municipality of Gurupi-TO, with vegetation *Andropogon gayanus* (average height of 1.80 cm); The second area, called Gurupi II, is 4 km from the municipality of Gurupi-TO, with *Andropogon gayanus* (average height between 40-60 cm) and the third area, called Dueré, is approximately 40 km from the municipality of Gurupi-TO, With vegetation typical of Cerrado Stricto Sensu. For the collection of combustible material, the methodology used was the "destructive sampling" used by different authors, which consists of the removal of all the material contained in the quadrant. The combustible material was separated in vivo and dead, and by diametric grades (<0.7 cm, 0.7 - 2.5 cm, 2.5 - 7.6 cm, >7.6 cm). According to the statistical analysis, Gurupi I was the area that presented the largest biomass of living and dead combustible material with a diameter of <0.7 cm (3.789 t.ha<sup>-1</sup>; 9.912 t.ha<sup>-1</sup>). In the Dueré area, live and dead fuel with a diameter of <0.7 cm had a load of 0.451 t.ha<sup>-1</sup>; 3.492 t.ha<sup>-1</sup> respectively. The dead fuel material, with diameters > 0.7 cm, was observed only in the Dueré area with a total load of 0.879 t.ha<sup>-1</sup>. Regarding the results obtained in Dueré, the average wind speed ranged from 0.0 m.s<sup>-1</sup> (afternoon period) to 0.02 m.s<sup>-1</sup> (night time). In the fire intensity, this variation was between 118.60 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup> (morning) and 361.45 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup> (late) and at (night) with the lowest intensity 53.21 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>. In Gurupi I, the height of the flames in the morning was observed the lowest value (1.12 m) and in the afternoon showed the highest height (3.47 m). In Gurupi II, the average propagation velocity was higher in the morning (0.02 m.s<sup>-1</sup>) and in the afternoon (0.04 m.s<sup>-1</sup>). The temperature and relative humidity were respectively higher and lower in the afternoon with the following values: 37.4°C and 17.0%, and presented correlation with fire behavior parameters and were included in the mathematical models General adjusted for propagation velocity prediction (R<sup>2</sup>= 0.44); of the fire intensity (R<sup>2</sup> = 0.60) and the height of the flames (R<sup>2</sup> = 0.74). In general, the variables that exerted most influence on fire behavior were the meteorological variables, such as relative humidity and air temperature.

Keywords: combustible material; models; parameter; destructive sampling; Tocantins.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>12</b>
2.1	CERRADO E O FOGO .....	12
2.2	INCÊNDIOS FLORESTAIS .....	13
2.3	EFEITOS DO FOGO SOBRE A VEGETAÇÃO DO CERRADO.....	14
2.4	IMPORTÂNCIA DOS ESTUDOS DE COMPORTAMENTO DO FOGO .....	15
2.5	MATERIAL COMBUSTÍVEL .....	16
2.6	CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS COMBUSTÍVEIS .....	17
2.7	VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA ESTIMATIVA DO COMPORTAMENTO DO FOGO .....	19
2.8	FATORES DE INFLUÊNCIA NO COMPORTAMENTO DO FOGO .....	20
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO .....	22
3.2	PARCELAS EXPERIMENTAIS .....	23
3.3	AMOSTRAGEM DE MATERIAL COMBUSTÍVEL.....	23
3.4	COMPORTAMENTO DO FOGO.....	24
3.5	PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS.....	26
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>28</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL COMBUSTÍVEL (PRÉ-FOGO) .....	28
4.2	COMPORTAMENTO DO FOGO E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS.....	30
4.3	CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS .....	35
4.4	MODELOS DE REGRESSÃO .....	40
4.4.1	<i>Altura das chamas</i> .....	40
4.4.2	<i>Velocidade de propagação</i> .....	41
4.4.3	<i>Intensidade do fogo</i> .....	42
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>45</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. CLASSIFICAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO.....	19
TABELA 2. CLASSES DE MATERIAL COMBUSTÍVEL E TEMPO DE RESPOSTA MÉDIO EM RELAÇÃO À UMIDADE DE EQUILÍBRIO.....	21
TABELA 3. VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E DE COMPORTAMENTO DO FOGO OBTIDAS DURANTE A QUEIMA CONTROLADA DE PARCELAS EM TRÊS LOCAIS DISTINTOS NO ESTADO DO TOCANTINS. ....	26
TABELA 3. VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E DE COMPORTAMENTO DO FOGO OBTIDAS DURANTE A QUEIMA CONTROLADA DE PARCELAS EM TRÊS LOCAIS DISTINTOS NO ESTADO DO TOCANTINS (CONTINUAÇÃO) .....	27
TABELA 4. UMIDADE DO MATERIAL COMBUSTÍVEL EM CADA LOCAL DE QUEIMA NO CERRADO TOCANTINENSE, 2016.....	28
TABELA 5. CARGA DE MATERIAL COMBUSTÍVEL PRÉ-FOGO EM CADA LOCAL DE QUEIMA NO CERRADO TOCANTINENSE, 2016.....	29
TABELA 6. VARIÁVEIS COLETADAS E ESTIMADAS A PARTIR DE QUEIMA CONTROLADA REALIZADA EM REMANESCENTE DE CERRADO SENSU STRICTO, EM TRÊS PERÍODOS DO DIA EM DUERÉ-TO, 2016. ....	30
TABELA 6. VARIÁVEIS COLETADAS E ESTIMADAS A PARTIR DE QUEIMA CONTROLADA REALIZADA EM REMANESCENTE DE CERRADO SENSU STRICTO, EM TRÊS PERÍODOS DO DIA EM DUERÉ-TO, 2016 (CONTINUAÇÃO).....	31
TABELA 7. VARIÁVEIS COLETADAS E ESTIMADAS A PARTIR DE QUEIMA CONTROLADA REALIZADA EM ÁREA DE PASTAGEM COM ANDROPOGON (ALTURA MÉDIA 1,80 CM), EM TRÊS PERÍODOS DO DIA EM GURUPI-TO, 2016. ....	32
TABELA 8. VARIÁVEIS COLETADAS E ESTIMADAS A PARTIR DE QUEIMA CONTROLADA REALIZADA EM ÁREA DE PASTAGEM COM ANDROPOGON (ALTURA MÉDIA 40-60 CM), EM TRÊS PERÍODOS EM GURUPI-TO, 2016. ....	34
TABELA 9. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS, DE MATERIAL COMBUSTÍVEL E DE COMPORTAMENTO DO FOGO OBTIDAS DA QUEIMA NA ÁREA DUERÉ, NO SUL DO ESTADO DO TOCANTINS, 2016 .....	36
TABELA 10. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, DE MATERIAL COMBUSTÍVEL E DE COMPORTAMENTO DO FOGO OBTIDAS DA QUEIMA NA ÁREA GURUPI I NO SUL DO ESTADO DO TOCANTINS, 2016.....	37
TABELA 11. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, DE MATERIAL COMBUSTÍVEL E DE COMPORTAMENTO DO FOGO OBTIDAS DA QUEIMA NA GURUPI II NO SUL DO ESTADO DO TOCANTINS, 2016 .....	38
TABELA 12. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS, DE MATERIAL COMBUSTÍVEL E DE COMPORTAMENTO DO FOGO OBTIDAS DE QUEIMADAS CONTROLADAS EM TRÊS ÁREAS DISTINTAS NO SUL DO ESTADO DO TOCANTINS 2016 .....	39
TABELA 13. MODELOS DE ESTIMATIVA DA ALTURA DAS CHAMAS COM BASE NAS VARIÁVEIS DE METEOROLÓGICAS E DE MATERIAL COMBUSTÍVEL. ....	40
TABELA 14. MODELOS DE ESTIMATIVA DE VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO COM BASE NAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E DE MATERIAL COMBUSTÍVEL. ....	41
TABELA 15. MODELOS DE ESTIMATIVA DE INTENSIDADE DO FOGO COM BASE NAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E DE MATERIAL COMBUSTÍVEL. ....	43

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MAPA DA DISTRIBUIÇÃO DO BIOMA CERRADO. ....	12
FIGURA 2: LOCALIZAÇÃO DO ESTADO DO TOCANTINS E DOS MUNICÍPIOS DUERÉ E GURUPI- TO.....	22

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil abriga cerca de 10% de todas as espécies vegetais, desde lenhosas (árvores e arbustos) até herbáceas, que o caracteriza como região peculiar e diversificada fisionomicamente, resultando em uma diversidade elevadíssima nos vários biomas que estão presentes no país (MYERS et al., 2000).

Dentro do país, o bioma Cerrado é reconhecido como a savana mais rica do mundo em biodiversidade, com a presença de distintos ambientes (SILVA e BATES 2002). Neste bioma são encontradas formações denominadas como campo sujo, campo Cerrado e Cerrado *Sensu Stricto*, dentre outras (WOODWARD, 2008) e que segundo Felfili et al. (2002) as áreas de Cerrado sentido restrito sobre solos profundos e planos vem sendo cada vez mais suprimidas por atividades antrópicas (com uso do fogo).

O fenômeno fogo é largamente estudado e tem despertado interesse para as pesquisas mais específicas sobre a ocorrência dos incêndios florestais. Sabe-se que as principais causas apontadas para os elevados índices de ocorrência dos incêndios estão relacionadas com as mudanças climáticas e com o crescimento da população, além das alterações no uso e aproveitamento do solo (FAO, 2012).

O *Andropogon*, espécie caracterizada pela alta produção de biomassa, (ROSSITER et al., 2003), foi introduzido no território brasileiro para a formação de pastagens e espalhou-se por grandes extensões de ecossistemas naturais sendo consideradas atualmente ameaça a diversidade em Unidades de Conservação (IBGE, 2004).

Com relação as queimas prescritas, as mesmas são realizadas com objetivo de reduzir a carga de combustível superficial em áreas sujeitas a longos períodos de estiagem, servindo como método de prevenção aos incêndios florestais (FERNÁNDEZ et al., 2013). No entanto, tal prática deve ser acompanhada de planejamento que leve em conta as condições climáticas e o comportamento do fogo junto com as ferramentas adequadas para fazer os trabalhos em campo (PREVFOGO, 2013).

Ribeiro e Bonfim (2000) relatam que os fatores climáticos são os que mais interagem nesse processo (do comportamento do fogo), e podem favorecer ou

dificultar a ignição como a progressão dos incêndios, com destaque á temperatura e umidade relativa do ar, bem como á precipitação.

No que se refere aos incêndios florestais, os mesmos provocam relevantes impactos e constituem um problema que sempre atrai muita atenção e promove críticas internacionais frequentes. Com isso, existem mecanismos em diversos países para a diminuição dos incêndios florestais por meio da regulamentação e do fomento a conservação, proteção, restauração e manejo dos ecossistemas florestais que utilizam o manejo dos combustíveis e estudos sobre efeitos do fogo (MEXICO, 2007).

Deste modo, o estudo do comportamento do fogo é uma ferramenta indispensável para o manejo do material combustível, bem como no planejamento e execução das ações de prevenção e combate de incêndios florestais. As variáveis utilizadas para descrevê-lo são: velocidade de propagação, intensidade do fogo, comprimento das chamas e energia libertada (SOARES e BATISTA, 2007).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento do fogo em queimas experimentais em diferentes tipos de vegetação e estabelecer relações entre as variáveis do comportamento do fogo e os fatores determinantes da propagação (material combustível e variáveis climáticas) em condições de campo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Cerrado e o fogo

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, superado apenas pela bioma Amazônia (FIDELIS e GODOY, 2003; RIBEIRO e WALTER, 1998), e ocupa 21% do território nacional (KLINK e MACHADO, 2005) e representa uma grande diversidade de habitats e alternância de espécies (SILVEIRA, 2010). O bioma está localizado na porção central do continente sul-americano (SILVEIRA, 2010), englobando os Estados de Goiás, Distrito Federal e parte dos Estados de Minas Gerais, Rondônia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Bahia, Tocantins, Maranhão, Piauí e Paraná (Figura 1).

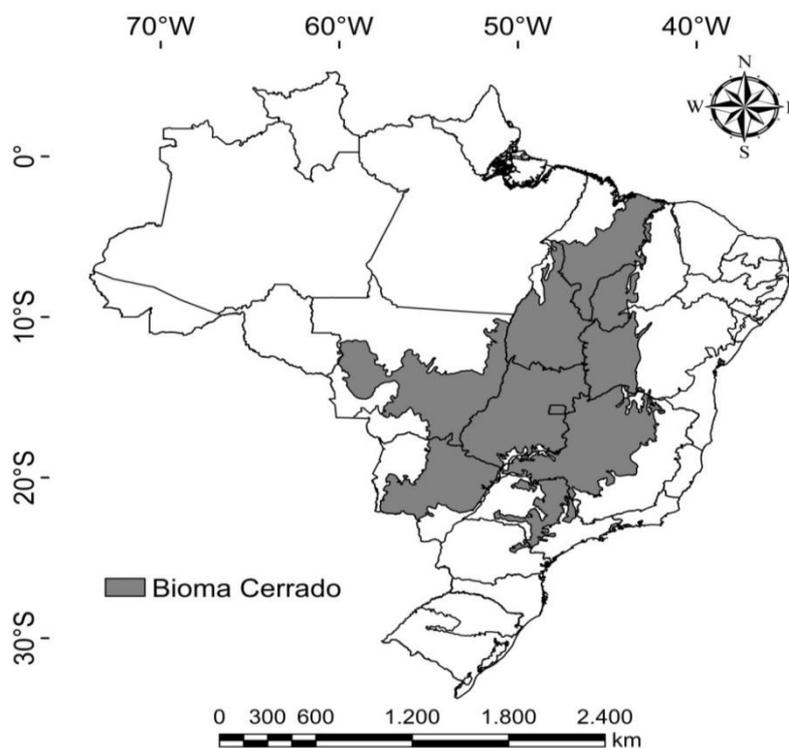


Figura 1: Mapa da distribuição do bioma Cerrado.

Fonte: IBGE (2016) adaptado do Autor (2017).

Outra peculiaridade é que o Cerrado faz limite com outros quatro biomas brasileiros: ao norte, encontra-se com a Amazônia, a leste e a nordeste com a Caatinga, a leste e a sudeste com a Mata Atlântica e a sudoeste com o Pantanal. Nas áreas de contato, estão situadas as faixas de transição ou ecótonos, em que nenhum

outro bioma sul-americano possui tantas zonas de contatos biogeográficos tão distintos, o que confere um aspecto ecológico único ao Cerrado (MMA, 2009).

A diversidade biológica e de fitofisionomia do Cerrado está relacionada a inúmeros fatores, muitos dos quais relacionados à sua extensão geográfica. Considerando todas as suas fisionomias, o Cerrado apresenta pelo menos 10 mil espécies de plantas, das quais pelo menos 44% são endêmicas (KIER et al., 2005; MENDOÇA et al., 2008). Apesar do reconhecimento de sua importância ecológica, cerca de metade da área original do Cerrado foi transformada em pastagens plantadas e culturas anuais (KLINK e MACHADO, 2005).

A manutenção da biodiversidade do Cerrado possui relação com uma diversidade de fatores, inclusive o uso do fogo em virtude da relação dependência deste bioma com o fenômeno (HARDESTY et al., 2005; PIVELLO, 2011). Neste sentido, segundo Sarmiento e Monastério (1975) e Solbring et al. (1996) o fogo é considerado um dos responsáveis pela riqueza de habitats e de características nas fisionomias encontradas nas savanas, como o Cerrado brasileiro.

Neste bioma, o fogo é um método bastante utilizado para a limpeza terrenos e o manejo de pastagens para a atividade de pecuária extensiva. No entanto, a frequência do uso do fogo e sua forma de utilização, podem comprometer a manutenção deste ambiente e a sua diversidade. Segundo Tansey et al. (2004), cerca de 67% da área queimada no Brasil em 2000 estava localizada no Cerrado e pode ter relação com danos ambientais imensuráveis para a fauna e a flora brasileira.

## **2.2 Incêndios florestais**

A terminologia incêndios florestais foi usada por Soares (1985), para definir um fogo incontrolável que se propaga livremente e consome os diversos tipos de materiais combustíveis existentes em uma floresta. Um incêndio não deve ser confundido com a queima controlada ou prescrita, a qual se trata da utilização do fogo em uma área sobre determinadas condições de clima, umidade do combustível, umidade do solo e outras produzindo a intensidade de calor e a taxa de propagação do fogo desejada para se alcançar determinado objetivo de manejo.

Os incêndios florestais têm se tornado algo preocupante, pois a cada ano vêm crescendo devido as extensas áreas com vegetação nativa que são queimadas para conversão em áreas agrícolas ou em pastagens. No Brasil, registrou-se um aumento de 65% das áreas queimadas entre 2015 e 2016, com mais de 53 mil incêndios no

país (INPE, 2016). Além disso, a ação indiscriminada dos incendiários e de acidentes ou descuidos tem contribuído com a destruição arbórea arbustiva, interferindo muitas vezes no processo de sucessão (RIBEIRO, 2010).

Segundo Santos (2004), o fogo é considerado um dos principais responsáveis por provocar prejuízos humanos, ambientais e conseqüentemente econômicos no Brasil e no mundo. A destruição da fauna e flora, prejuízos florestais, perda de casas e bens, custos para o combate do fogo e a reconstrução são alguns dos problemas que os incêndios florestais trazem para a sociedade.

A ocorrência de incêndios florestais constitui-se em uma preocupação que mobiliza grande soma de esforços e recursos nas operações de combate no mundo. Assim, a previsão do nível de perigo de incêndios constitui-se um elemento fundamental para a proteção das florestas contra esta ameaça. Como visto, incêndios provocam prejuízos ao homem e ao ambiente, tendo também conseqüências econômicas consideráveis (LORO e HIRAMATSU, 2004).

Os incêndios são uma das importantes fontes de danos aos ecossistemas florestais nas regiões em desenvolvimento. Com o fim de estabelecer uma política adequada de prevenção e combate aos incêndios torna-se necessário conhecer as estatísticas referentes aos mesmos, ou seja, saber onde, quando e porque eles ocorrem (SOARES e SANTOS, 2002).

### **2.3 Efeitos do fogo sobre a vegetação do Cerrado**

Sabe-se que a maioria das espécies arbóreas do Cerrado apresenta tronco fortemente impermeáveis, resultando em um efetivo isolante térmico das partes vivas do organismo durante o fogo (GUEDES, 1993). Apesar disso, o fogo frequentemente reduz a densidade de árvores, através da mortalidade de pequenos indivíduos, e altera a taxa de regeneração das espécies arbóreas (HOFFMANN, 1996; HIGGINS et al., 2000; HOFFMANN, 2000; MEDEIROS e MIRANDA, 2005), beneficiando a vegetação herbácea.

Nesse sentido, na maioria das vezes, quando o homem utiliza o fogo sem os cuidados devidos, como o preparo de aceiros, pode acarretar na propagação para áreas vizinhas (PIVELLO, 1992; RAMOS-NETO et al., 2000). Ainda independente da forma de ocorrência do fogo, seja natural ou humana (voltada para limpeza de restos culturais, controle de pragas e de combustíveis), serão observados efeitos diretos/indiretos na sobrevivência, no crescimento e na reprodução das plantas.

Os efeitos diretos ocorrem imediatamente após o fogo e a intensidade desse efeito (ou seja, a mortalidade causada por ele) vai depender dos danos causados do fogo. É de se esperar que a mortalidade não atinja uniformemente todas as populações de diferentes espécies. Os efeitos indiretos do fogo tendem a ser mais amplos, tardios e diversos do que os diretos (VASCONCELOS et al., 2009).

Estas respostas aos impactos do fogo apresentam grande variação que se relaciona a intensidade, frequência e duração dos incêndios florestais (FIEDLER et al., 2004; HOFFMANN e MOREIRA, 2002), bem como das queimas controladas. A constante alteração dos ecossistemas tem levado a uma grande modificação do comportamento do fogo, principalmente quando ele não ocorre de forma natural, em que o homem já é considerado como a principal causa de incêndios florestais em áreas rurais (SOARES, 1995).

#### **2.4 Importância dos estudos de comportamento do fogo**

De acordo com Souza et al. (2003) estudos relacionados sobre comportamento do fogo são importantes tanto para o manejo, como também, para o planejamento e execução de operações de combate a incêndios, pois as informações obtidas possibilitam entender os fatores importantes do início, da propagação e das dificuldades de extinção das chamas.

Neste sentido é importante ter conhecimento do comportamento do fogo, principalmente sobre as condições que influenciam na ignição, combustão e propagação do fogo. Segundo Motta (2008), os principais fatores que contribuem para a propagação dos incêndios florestais são os fatores meteorológicos: velocidade do vento, temperatura, umidade do ar e radiação solar; associados às características do material combustível como qualidade, compactação e disposição espacial das partículas.

A realização de estudos de comportamento do fogo é parte fundamental para entender a relação que existe entre o fogo e o ambiente em diversos ecossistemas florestais que é a base como instrumento no manejo do fogo. Em muitos países, os modelos/equações utilizadas para a estimativa do comportamento do fogo são baseados na experiência a partir de experimentos de queima (BILGILI e SAGLAM, 2003; FERNANDES, 2004; KÜÇÜK et al., 2008; MENDES-LOPES et al., 2003).

As pesquisas são desenvolvidas com a intenção de relacionar características dos combustíveis e as condições meteorológicas com as variáveis do comportamento

do fogo, e dessa forma estabelecer modelos das características dos incêndios, queimadas e os efeitos sobre o ambiente florestal, que servem para o desenvolvimento de simuladores do comportamento do fogo que são utilizados no manejo do fogo (ANDREWS, 1986; BURGAN e ROTHERMEL, 1984; CATCHPOLE et al., 1998; FERNANDES, 2001; ROTHERMEL, 1972; VEGA et al., 1998).

## 2.5 Material combustível

O material combustível por formar parte do triângulo do fogo, se converte em indispensável fator para que um incêndio se propague. O combustível florestal é considerado qualquer material orgânico, vivo ou morto, no solo ou acima deste, suscetível de participação no processo de combustão (BATISTA, 1990; SOARES, 1985).

A quantidade de material combustível pode variar em uma área de capim ou de Cerrado *Sensu Stricto* de centenas de quilos a dezenas de toneladas por hectare o que irá depender do tipo de espaçamento e idade da vegetação entre outros parâmetros relacionados com o material combustível (SOARES, 1985).

A estimativa da quantidade de combustível, geralmente expressa em termos de peso seco por unidade de área, é fator importante em planos de prevenção e controle de incêndios, especialmente em programas de queima controlada. Segundo McArthur e Cheney (1966), a quantidade de material combustível afeta todos os aspectos do comportamento do fogo, tais como velocidade de propagação, intensidade, altura das chamas, altura de crestamento, formação de incêndio de copa, lançamento de fagulhas e também o conjunto de danos resultantes da ação do fogo.

Devem existir no mínimo  $1,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  de material combustível fino, seco, disperso em uma área para que um fogo superficial possa se propagar. Nesse sentido, grande quantidade ou volume de combustível aumenta a dificuldade de controle do incêndio, não apenas pelo aumento de produção de calor e comprimento das chamas, como também pela dificuldade operacional de quebrar a continuidade do material pela abertura de aceiros (MOLEIRO, 2007).

Segundo CHANDLER et al. (1983), a avaliação do estoque ou carga de material combustível florestal pode ser feita por estimativa direta (métodos destrutivos) ou indireta (métodos não destrutivos). Para essa estimativa de material combustível é necessário o conhecimento de informações sobre uniformidade e densidade da

vegetação, hábito de crescimento, perfilhamento e altura da planta e a composição botânica da vegetação (AMARAL, 2001).

Os métodos diretos de estimativa do material combustível são metodologias que empregam o corte de amostra a ser avaliada, enquanto, os métodos indiretos correlacionam várias medidas de mensuração dos combustíveis.

Uma desvantagem que possuem os métodos indiretos é a dificuldade de realização em áreas extensas, principalmente quando a variabilidade da vegetação é grande e o número de amostras não é o apropriado (CÓSER et al., 1998; CÓSER et al., 2002; MANNETJE, 1987). De acordo com Shaw (1987), o número certo de amostras será aquele que incorpora toda a variabilidade existente na pastagem e que ao mesmo tempo não remova quantidade excessiva de forragem, já que isso também acarretaria em problemas no processamento dessas amostras.

Outra característica importante relaciona-se com os locais para a retirada das amostras, que devem ser determinados de forma aleatória e respeitando os processos de casualização, uma vez que esse procedimento assegura a independência dos erros de avaliação (MANNETJE, 1987). Neste sentido, Hodgson et al. (2000), relata que em razão da pequena área de amostragem torna-se necessária a tomada de 10 a 20 pontos por hectare. Ainda, Mannetje (2000), recomenda que antes do início de qualquer procedimento de amostragem deve ser realizada uma análise de custo-benefício, em que seja considerado o tempo gasto para realização do trabalho, o nível de precisão das avaliações e a demanda por mão de obra e recursos.

## **2.6 Classificação dos materiais combustíveis**

De acordo com o local, os combustíveis florestais podem ser classificados em aéreos e superficiais e cada uma dessas classes pode ainda ser subdividida segundo a quantidade, tipo e arranjo (CANDIDO e COUTO, 1980). Os combustíveis superficiais são todos aqueles localizados sobre, acima ou no piso da floresta, sendo considerados tanto os materiais vivos como mortos, tais como folhas, galhos e troncos caídos, gramíneas, ervas arbustos, húmus e turfas (SOARES e BATISTA, 2007). Os combustíveis aéreos compreendem as copas e galhos das árvores, troncos, musgos e arbustos altos acima de 1,80 m que podem ser vivos ou mortos, estando fisicamente separados do solo, formando o dossel da floresta.

Os tipos e quantidades de combustível influenciam de modo distinto no potencial de propagação dos incêndios, e nesse sentido, Trabaud (1974), reconhece

que a avaliação precisa do comportamento provável de um eventual incêndio florestal depende, em parte, de reconhecer e descrever qualitativa e quantitativamente certas características físicas e químicas do material.

Segundo Soares (1985), quanto ao tipo, os materiais combustíveis podem ser divididos em perigosos, semi-perigosos e verdes. Os materiais combustíveis perigosos são constituídos de material vegetal seco com diâmetro igual ou inferior a 1,0 cm constituído de pequenos galhos, folhas, líquens, musgos e gramíneas. Esses materiais, por apresentarem menor temperatura de ignição, facilitam o início do fogo e aceleram a propagação, queimando rapidamente com muito calor e chamas intensas, sendo a principal matéria consumida pelo fogo.

Os materiais combustíveis semi-perigosos são os materiais secos com diâmetro acima de 1,0 cm e são compostos de galhos, troncos caídos, húmus e turfa decorrentes da vegetação lenhosa ou em decomposição e compactada que, por suas características, queimam lentamente. Apesar de apresentarem uma ignição mais lenta e difícil, podem manter uma combustão latente, o que pode provocar o reinício de incêndios dados como controlados. Por fim, os combustíveis verdes são constituídos pela vegetação viva existente na floresta e como apresentam alto teor de umidade podem ser considerados não inflamáveis.

Ao considerar que os combustíveis podem ser classificados em função do tamanho e de acordo com seu estado fisiológico (secos ou verdes), Melo et al. (2006), em estudo de quantificação do material combustível no Parque Nacional de Iguaçu – PR, dividiram o material em quatro classes: combustíveis mortos com diâmetro  $\leq 0,7$  cm; combustíveis mortos com diâmetro  $> 0,7$  cm; combustíveis vivos com diâmetro  $\leq 0,7$  cm e combustíveis vivos com diâmetro  $> 0,7$  cm.

Outro tipo de material combustível encontrado na superfície do solo é o combustível fino morto, comumente chamado de serapilheira, que é composto por folhas secas, gravetos e pequenas lascas de arvores de diâmetro inferior a 6 mm. Em contato com o ar quente e seco num período superior a uma hora, a umidade passa de 50% para valores inferiores a 12%, que em contato com o sol forte e a baixa umidade do ar, poderá estar pronta para propagar intensamente um incêndio na vegetação (FREIRE et al., 2004).

## 2.7 Variáveis utilizadas para estimativa do comportamento do fogo

A ocorrência do fogo depende de fatores que permitirão o início da reação da combustão e a sua continuação dependerá principalmente das características do material combustível e das condições meteorológicas (RIBEIRO e SOARES, 1998).

Em estudos de comportamento do fogo, um dos importantes parâmetros é a velocidade de propagação, que pode ser medida em metros por segundo, metros por minuto ou quilômetros por hora. Conforme relata Batista (1990), a velocidade de propagação do fogo indica o progresso do fogo em um local determinado, e corresponde à velocidade que o fogo avança em uma área e que pode ser classificada como lenta, média, alta e extrema (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação da velocidade de propagação

Velocidade de propagação (m.s <sup>-1</sup> )	Classificação
< 0,033	Lenta
0,033-0,166	Media
0,166-1,166	Alta
>1,166	Extrema

Fonte: Classificação proposta por Botelho e Ventura (1990) *apud* Soares e Batista (2007).

Existem programas de simulação do comportamento do fogo e de manejo, para a estimativa da velocidade de propagação (ROTHERMEL, 1972), tendo sua viabilidade fundamentada no fato de que sistemas de manejo do fogo requerem poucas variáveis de entrada que podem ser transformados em tabelas (FERNANDES, 2001).

Segundo Soares (1979), a intensidade do fogo relaciona-se diretamente à proporção da quantidade de material combustível disponível e é responsável pela magnitude de danos às florestas e pelo grau de dificuldade no combate aos incêndios. De acordo com Byram (1959), é definida como “a taxa de energia ou calor liberado por unidade de tempo e por unidade de comprimento da frente de fogo” que pode ser estimada através de sua relação com o comprimento médio das chamas. Batista et al. (2013), em estudos sobre estimativa da intensidade do fogo, verificou-se a associação entre a intensidade e comprimento de chamas, fato comprovado e observado por vários pesquisadores, sendo possível obter uma boa estimativa da intensidade do fogo por meio das dimensões das chamas.

De acordo com Fernandes e Cruz (2012), as dimensões da chama são importantes para descrever alguns fenômenos, como a probabilidade de o fogo atingir

as copas. O comprimento das chamas é a distância entre a ponta da chama e a superfície do solo, medida no meio de sua zona ativa e, embora o comprimento da chama proporcione uma boa estimativa da intensidade do fogo, sua obtenção é dificultada pelo fato da chama ser um fenômeno pulsante, ocasional e extremamente transitório. Esta variável pode ser estimada no próprio incêndio ou por meio de gravações de vídeo analisadas posteriormente em laboratório, desde que se tenha alguma referência no local para servir de escala.

O australiano McArthur, reconhecido como o "pai" da previsão do comportamento do fogo e da classificação de perigo de incêndio, foi um dos primeiros pesquisadores em estabelecer empiricamente relações entre variáveis e fatores do comportamento do fogo. O mesmo desenvolveu tabelas e gráficos que permitem estimar a velocidade de propagação do fogo e o comprimento das chamas através do peso do material combustível fino (diâmetro <0,6 cm), conteúdo de umidade do material morto e velocidade do vento no interior da floresta (McARTHUR, 1962; McARTHUR, 1967; GOULD, 1994).

## **2.8 Fatores de influência no comportamento do fogo**

Através das variáveis meteorológicas pode-se identificar épocas de maior probabilidade de ocorrência de incêndios e, com essas informações tomar medidas e técnicas para reduzir o potencial de danos que podem ocorrer (SOARES e BATISTA, 2007). Nesse sentido, o comportamento do fogo é fortemente afetado pelas condições meteorológicas, motivo pelo qual se faz necessária a abordagem das principais variáveis meteorológicas associadas ao potencial de ocorrência e propagação dos incêndios florestais.

Segundo Santos (2009), a temperatura age diretamente sobre um combustível, para elevar à temperatura de ignição, e quanto mais elevada for a temperatura do ambiente mais seca estará a vegetação, e que facilitará a propagação do fogo. Para Lemos et al. (2010), a umidade relativa do ar refere-se à quantidade de água existente no ar, em que a baixa umidade é responsável pelo ressecamento da vegetação, facilitando o início do incêndio e a sua propagação.

Batista (1984) considera o fato de que o ar é mais seco durante o dia, e assim torna-se mais fácil controlar um grande incêndio no período noturno, quando os materiais combustíveis estão úmidos, o que dificulta a propagação do fogo. Isso se relaciona com o fato de que o material seco absorve água quando a atmosfera está

úmida, e quando seca, o material perde água. Entretanto, na vegetação verde, este processo não ocorre desta forma, pois as plantas estão, constantemente, absorvendo água do solo. Segundo Soares e Batista (2007), o tempo de resposta do combustível em relação à umidade do ar varia principalmente com o tamanho do material e muitos outros fatores que tem interferência neles. O tempo de resposta do combustível morto pode ser dividido em várias classes, de acordo com seu diâmetro médio, conforme apresentando na tabela 2.

Tabela 2. Classes de material combustível e tempo de resposta médio em relação à umidade de equilíbrio

Classe de material combustível (Diâmetro em cm)	Tempo médio de resposta (Horas)
<0,7	1
0,7 a 2,4	10
2,5 a 7,6	100
>7,6	>100

Fonte: Soares e Batista (2007).

O vento é um dos fatores que se constituem como de difícil de prognóstico pela possibilidade de agir de forma positiva ou negativa durante o controle e extinção de incêndios florestais, pois o mesmo está diretamente relacionado com a direção e velocidade do fogo (ESPANHA, 2001).

De acordo com Nunes (2005), a velocidade do vento normalmente é expressa em: metros por segundo ( $m.s^{-1}$ ) e quilômetros por hora ( $km.h^{-1}$ ). Motta (2008), relata que o material combustível seco recebendo influência do vento, propicia que as chamas passem de um material combustível para outro, transformando-se em um incêndio de grandes proporções e difícil controle. Os materiais combustíveis pré-aquecidos pelo sol queimam com maior facilidade do que aqueles que estão frios. Assim, como a temperatura do solo aumenta com a corrente de ar aquecida pelo sol que ao mesmo tempo seca o material combustível, faz que a queima seja facilitada, ou seja, quanto mais forte for o vento, mais rápido o fogo se difundirá.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

Os experimentos de queima foram realizados nas cidades de Gurupi e Dueré. As cidades estão situadas no sul do Estado do Tocantins, próximos da BR-153 (Rodovia Belém-Brasília) a 223 km de Palmas, a capital do Estado (Figura 2).

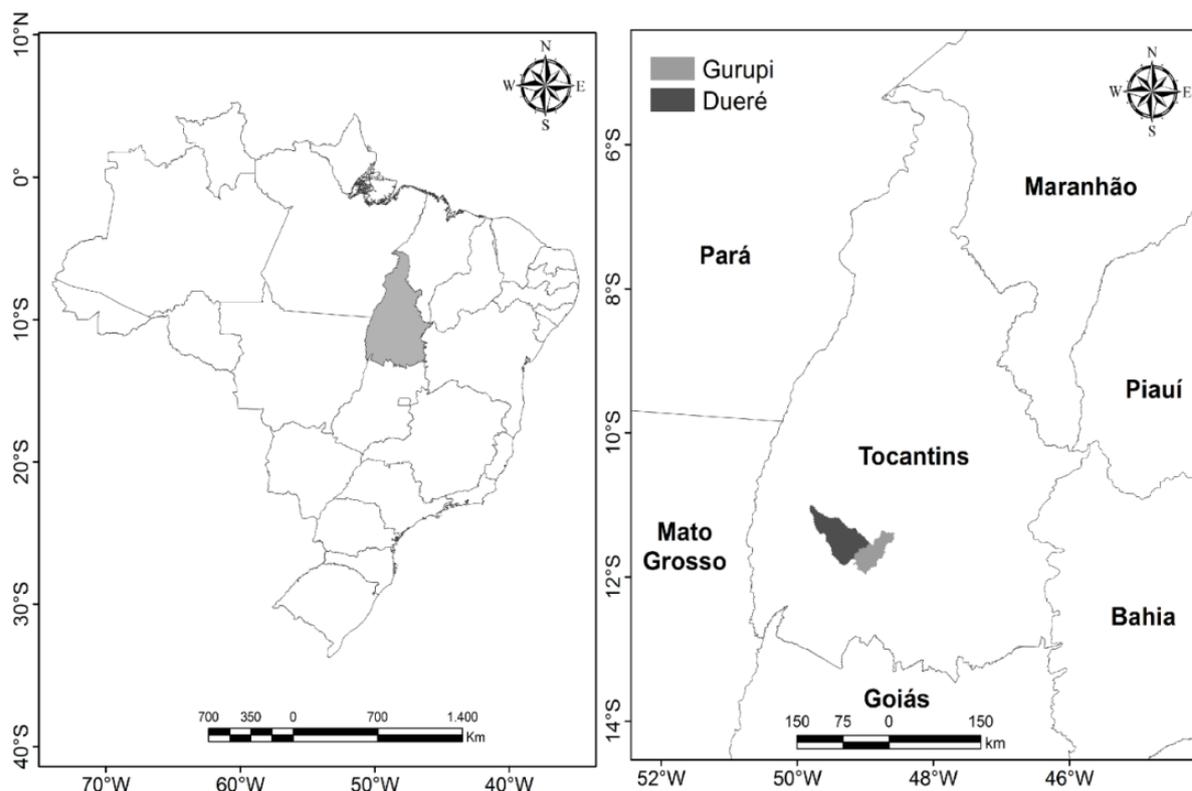


Figura 2: Localização do Estado do Tocantins e dos municípios Dueré e Gurupi- TO.

Fonte: Autor (2017) adaptado de IBGE (2016).

O estudo foi desenvolvido em diferentes áreas denominadas e caracterizadas da seguinte maneira:

**Gurupi I** - Distante a 3 km da sede do município de Gurupi-TO com a seguinte coordenada do ponto central:  $11^{\circ} 46' 19,65''\text{S}$  e  $49^{\circ} 02' 52,40''\text{O}$ , tendo a presença do *Andropogon gayanus* (altura média de 1,80 cm) como a cobertura vegetal predominante. Esta é uma gramínea forrageira de ciclo perene, de porte alto, que forma touceiras e possui excelente adaptação a regiões de secas prolongadas. A área total amostrada neste local foi de 4.400 m<sup>2</sup>.

**Gurupi II** – Distante a 4 km da sede do município de Gurupi-TO, com *Andropogon gayanus* (altura média entre 40-60 cm) como cobertura vegetal e com as seguintes coordenadas do ponto central: 11° 46' 08,60" S e 49° 03' 19,87" O. A área total amostrada compreendeu 2.852 m<sup>2</sup>.

**Dueré** – Distante a 40 km da sede do município de Gurupi-TO, com vegetação de típica de Cerrado *sensu stricto* e coordenadas do ponto central sendo: 11° 26' 57.79" S e 49° 06' 12.77" O. A área total amostrada foi de 6.000 m<sup>2</sup>.

### 3.2 Parcelas experimentais

As parcelas foram demarcadas com dimensões de 10 x 20 m, as quais foram utilizadas para caracterização do material combustível e realização das queimas controladas para coleta de dados do comportamento do fogo. Em Gurupi I e II foram instaladas 12 parcelas em cada uma e, em Dueré, 15 parcelas.

### 3.3 Amostragem de material combustível

As técnicas de amostragem adotadas quanto à coleta e classificação do material foram feitas com base nas pesquisas realizadas por diferentes autores (e.g. BATISTA, 1984; 1995; BEUTLING et al., 2005, BEUTLING et al., 2012; BROWN et al., 1982; SCHEIDER e BELL, 1985; SOARES, 1979; SOUZA et al., 2003).

A amostragem para coleta de material combustível foi feita a partir da lateral de cada parcela, determinando um transecto de cinco e três metros adentrando na parcela e fazendo a demarcação do ponto, com a coleta de seis pontos por parcela. Na coleta, foi empregado gabarito de cano PVC de 1m<sup>2</sup> (100 x 100 cm).

A metodologia de coleta empregada foi a de “amostragem destrutiva” de parcelas, tradicionalmente empregada em levantamentos de material combustível como apresentado na literatura (e.g. BEUTLING et al., 2005; BEUTLING et al., 2012; GOULD et al., 2011; SOARES e BATISTA, 2007). O material combustível foi dividido em material combustível vivo (verde) e morto (seco), e classificado de acordo com as seguintes classes diamétricas: material vivo e morto com diâmetro menor ou igual a 0,7 cm; material vivo e morto com diâmetro maior que 0,7 cm e menor ou igual a 2,5 cm e; material vivo e morto com diâmetro maior do que 2,5 cm; material vivo e morto com diâmetro maior do que 7,6 cm.

A determinação da massa do material combustível em estado fresco foi feita com uso de uma balança digital em gramas com capacidade máxima de 10 kg e com precisão de 0,1 g, com a retirada de sub-amostras das classes de material observadas em cada o ponto de coleta. Essas sub-amostras foram imediatamente acondicionadas em sacos de papel, identificadas com etiquetas contendo informações referentes à classe do material e ao ponto de amostragem proveniente e o número da parcela.

Posteriormente, as sub-amostras foram levadas ao laboratório e em seguida, colocadas para secar em estufas elétricas de circulação e renovação de ar em temperatura constante de 75 °C, com o material permanecendo por 48 horas. Após a secagem, fez-se a determinação da massa do material seco com a utilização de balança com capacidade de 1.200 g e precisão de 0,01 g. Para isso, em todas as amostras foram subtraídas as massas dos sacos de papel e determinado o teor de umidade do material combustível. Com os dados da massa inicial (material fresco) e a massa final (material seco) das sub-amostras, foi determinado o teor de umidade presente no material através da fórmula apresentada a seguir (BATISTA, 1990).

$$U\% = \left( \frac{Mf - Ms}{Ms} \right) * 100$$

Onde:

U% = teor de umidade do material combustível em %;

Mf = massa do material fresco no momento da coleta, em gramas;

Ms = massa do material combustível seco em estufa, em gramas.

Com a determinação da umidade das sub-amostras, fez-se o cálculo para determinação da massa total do material combustível coletado (em estado seco) para todas as classes em cada ponto de amostragem, expressa em gramas por metro quadrado ( $g.m^{-2}$ ). Com esses valores foram estimadas as quantidades de material em quilogramas por hectare ( $kg.ha^{-1}$ ), convertidos depois em toneladas por hectare ( $t.ha^{-1}$ ).

### 3.4 Comportamento do fogo

Com a intenção de fazer comparação entre as características do fogo, as queimas foram divididas em três períodos do dia (1- manhã; 2 - tarde e; 3 – noite), e realizadas no sentido predominante do vento para cada área de estudo. Em Gurupi I

e Gurupi II, foram queimadas quatro parcelas pela manhã, quatro pela tarde e quatro pela noite. Em Dueré, foram seis parcelas queimadas pela manhã, cinco pela tarde e o restante á noite. Antes das queimadas, foram feitos aceiros que seguiu procedimentos de segurança para a realização das queimas controladas e que estão descritos no APÊNDICE I.

Para realizar a queima das parcelas, primeiramente foram estabelecidos pontos de observações com a fixação de estacas de madeira no sentido longitudinal das parcelas. Essas marcações consistiam de balizas com 1,20 até 5,00 m de altura que eram fixadas com intervalo de 2 em 2 metros, respeitando os 20 cm iniciais da linha de ignição. Para o acendimento das parcelas foi utilizado “pinga fogo”, contendo líquido inflamável composto de mistura de óleo diesel com gasolina, sendo a proporção de três litros de diesel para um de gasolina.

Para o monitoramento dos dados do comportamento do fogo, foram adotados procedimentos descritos e recomendados por diversos autores (e.g. BATISTA et al., 2013; RIBEIRO, 1997). Desta maneira, em cada parcela foram realizadas 10 observações sobre as variáveis do comportamento do fogo (descritas a seguir), sempre por três pessoas, duas para observação e uma para registro dos dados em ficha de campo:

- **Velocidade de propagação:** obtida com auxílio de cronômetros e registrada visualmente, determinando-se o tempo necessário para a linha de fogo percorrer a distância compreendida entre as balizadas fixas (2 m), previamente instaladas no sentido do comprimento da parcela (20 m), com valores expressos em  $m.s^{-1}$ ;

- **Altura das chamas:** obtida visualmente e com o auxílio de uma régua graduada (cm) que foi posicionada próximo ao fogo por um auxiliar, com anotação da média alcançada pelas chamas a cada dois metros com o avanço da linha de fogo, com valores expressos em metros;

- **Intensidade do fogo:** estimada pela adaptação da equação proposta por Byram (1959) que também definiu a intensidade como “a taxa de energia ou calor liberado por unidade de tempo e por unidade de comprimento da frente do fogo”:

$$I = 62,08. A_c^{2,17}$$

Onde:

I = intensidade do fogo ( $kcal.m^{-1}.s^{-1}$ );

$A_c$ = altura das chamas em metros (m).

Durante a realização das queimas, as variáveis climáticas foram monitoradas com uso de estação meteorológica portátil (marca Kestrel, modelo 4000), fixada a um tripé à altura de 1,50 m do solo e distância aproximada de 20 metros dos locais das áreas experimentais, para que a queima das parcelas não interferisse nas leituras da estação meteorológica.

Foram coletados os seguintes dados: velocidade média do vento ( $m.s^{-1}$ ), temperatura ( $^{\circ}C$ ) e a umidade relativa do ar (%) sempre no início e no final da queima de cada parcela, sendo utilizada a média das leituras para aplicação nas análises do comportamento do fogo.

Para a estimativa da biomassa restante após a queima, fez-se em todas as parcelas a coleta do material residual ao lado dos pontos onde foram retiradas as amostras para determinação da carga e do teor de umidade de material combustível. Para a coleta do material residual utilizou-se um gabarito quadrado de cano PVC de  $1m^2$  (100 x 100 cm), retirando todo o material dentro do quadrante, pesando e registrando nas fichas de campo.

### 3.5 Processamento e análise dos dados

Na tabela 3 estão relacionadas às variáveis que foram mensuradas em cada uma das áreas de estudo relacionadas ao material combustível, comportamento do fogo e clima.

Os dados coletados durante o trabalho de campo foram processados em planilhas eletrônicas para posterior análise de variância e teste de médias de Tukey ( $p>0,05$ ) para: i) comparação das cargas de material combustível; ii) comparação dos resultados dos períodos, dentro de cada área e; iii) influência do período da queima no comportamento do fogo em cada uma das três áreas de estudo.

Tabela 3. Variáveis meteorológicas e de comportamento do fogo obtidas durante a queima controlada de parcelas em três locais distintos no Estado do Tocantins.

Variáveis	Descrição	Unidade
U%	Umidade do material combustível antes da queima*	%
MCA	Biomassa do material combustível antes da queima*	$t.ha^{-1}$
ACH	Altura das chamas durante a queima	M
$V_{PROP}$	Velocidade de propagação do fogo	$m.s^{-1}$
INT	Intensidade do fogo	$Kcal.m^{-1} s^{-1}$
MCD	Massa material combustível depois da queima	$t.ha^{-1}$
$M_{CONS}$	Material combustível consumido pelo fogo	$t.ha^{-1}$

Tabela 4. Variáveis meteorológicas e de comportamento do fogo obtidas durante a queima controlada de parcelas em três locais distintos no Estado do Tocantins (continuação)

Variáveis	Descrição	Unidade
%M <sub>CONS</sub>	Percentual de material combustível consumido pelo fogo	%
TEMP	Temperatura do ar durante a queima da parcela	°C
UR	Umidade relativa do ar durante a queima da parcela	%
VV	Velocidade média do vento durante queima da parcela	m.s <sup>-1</sup>
P <sub>PERÍODO</sub>	Horários em que foram divididas as queimas	1-3

\* = separados por classe diamétrica (< 0,7 cm; 0,7 – 2,5 cm; 2,5 – 7,6 cm; > 7,6 cm) e por “vivo” e “morto”. Períodos 1- Manhã 2- Tarde 3- Noite.

Posteriormente foi realizada análise de correlação (coeficiente de *Pearson*;  $p > 0,05$ ) entre as variáveis de material combustível e as variáveis climáticas e de comportamento do fogo, para verificar a relação entre as mesmas. Por fim, foi realizada as análises de regressão, pelos métodos *stepwise* e *backward*, considerando-se as variáveis do comportamento do fogo como dependentes e as variáveis meteorológicas e do material combustível como independentes. A seleção dos modelos foi baseada nos critérios de maior coeficiente de determinação ajustado e no menor erro padrão da estimativa, em percentagem, segundo critérios estabelecidos por Beutling (2009). Estas últimas análises foram realizadas utilizando o banco de dados geral (todos os dados coletados nas três áreas); e o banco de dados da área de Dueré e de Gurupi de forma separada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização do material combustível (pré-fogo)

Os resultados da análise estatística para umidade do material combustível indicaram que houve diferença significativa apenas para o material vivo na classe diamétrica < 0,7 cm, com o maior valor (62,8 %) observado em Gurupi II (Tabela 4). Cabe destacar que o material combustível com diâmetro acima de 0,7 cm somente foi encontrado na área de Dueré que tem relação com a vegetação nativa do Cerrado neste local, enquanto que em Gurupi I e II são áreas de pastagens com capim *Andropogon*.

Tabela 5. Umidade do material combustível em cada local de queima no Cerrado Tocantinense, 2016.

Classe diamétrica	Local		
	Dueré	Gurupi I	Gurupi II
<b>Material Vivo</b>			
< 0,7 cm	51,9% b	50,0% b	62,8% a
0,7 – 2,5 cm	26,4%	-	-
<b>Material Morto</b>			
< 0,7 cm	18,8% a	20,3% a	22,0% a
0,7 – 2,5 cm	9,7%	-	-
2,5 – 7,0 cm	7,2%	-	-
> 7,6 cm	5,4%	-	-

Médias seguidas de mesmas letras na linha não apresentam diferença significativa pelo teste Tukey ( $p > 0,05$ ). Presença de hífen (-) significa a não observação de material combustível da respectiva classe diamétrica.

Ao comparar os teores de umidade do material combustível vivo na classe <0,7 cm deste estudo com resultados da literatura, verifica-se que a média dos valores (54,9 %) é diferente dos observado em outros trabalhos. Fidelis et al. (2010), observaram valores entre 37,80 e 44,49 % para o material combustível em experimento de queima realizado em área de vegetação de campo na região de Porto Alegre-RS. Pivello e Coutinho (1992), em vegetação do cerrado no interior de São Paulo, observaram teores de umidade com variação entre 21 e 44 %. Miranda, Silva e Miranda (1996) registraram variação entre 8 e 23% de teor de umidade do material combustível fino ( $\leq 0,7$  cm) em vegetação de campo de sujo de Cerrado na região do Brasília.

Tais diferenças possuem relação com o fato de que a umidade pode variar em função das condições meteorológicas verificadas no dia ou no período pré-

queimas e também da época do ano numa determinada região (SOARES e BATISTA, 2007).

Um fator que faz diferença na umidade do material é a relação entre a quantidade de material vivo e morto, em que quanto maior a proporção de material vivo presente do combustível maior será o teor de umidade médio do material combustível. De forma geral, o material morto, é mais seco e o teor de umidade sofre alterações mais bruscas devido às condições do tempo, enquanto que o material vivo é mais úmido e mais estável com o teor de umidade.

Na tabela 5, estão representados as médias obtidas e os resultados do teste de comparação que mostram diferença significativa entre as áreas, sendo Gurupi I a área com maior quantidade da carga de material combustível vivo e morto com diâmetro < 0,7 cm (3,789 t.ha<sup>-1</sup>; 9,912 t.ha<sup>-1</sup>, respectivamente).

Tabela 6. Carga de material combustível pré-fogo em cada local de queima no Cerrado Tocantinense, 2016.

Biomassa	Local		
	Dueré	Gurupi I	Gurupi II
Material Vivo			
< 0,7 cm	0,451 b	3,789 a	0,420 b
0,7 – 2,5 cm	0,441	-	-
Material Morto			
< 0,7 cm	3,492 b	9,912 a	3,755 b
0,7 – 2,5 cm	1,022	-	-
2,5 – 7,6 cm	2,052	-	-
> 7,6 cm	0,879	-	-
Vivo/Morto	0,21 b	0,40 a	0,10 b
Biomassa pré-fogo	8,338 b	13,700 a	4,175 b

Biomassa média em toneladas por hectare. Médias seguidas de mesmas letras na linha não apresentam diferença significativa pelo teste Tukey ( $p > 0,05$ ). Materiais combustíveis categorizados por classe diamétrica. Presença de hífen (-) significa que a não observação de material combustível da respectiva classe diamétrica.

Cabe destacar que o material combustível morto com diâmetro acima de 0,7 cm foi observado somente em Dueré, com um total de 0,879 t.ha<sup>-1</sup> na classe de diâmetro > 7,6. Outro comparativo que pode ser feito é a relação entre o material vivo e morto, pois dependendo do ano e da época em que são feitas as amostragens, pode haver maior carga de material vivo, ou então, maior carga de material morto.

No caso deste estudo, o elevado percentual de material combustível morto em relação ao vivo tem relação com o fato das coletas terem sido realizadas em período de estiagem com predomínio de vegetação arbustiva morta, que fez com que as classes de material morto apresentassem as maiores cargas.

Com relação à carga total de material combustível pré-fogo, os valores obtidos em Dueré (8,338 t.ha<sup>-1</sup>) e Gurupi I (13,700 t.ha<sup>-1</sup>) foram estatisticamente superiores ao observado em Gurupi II (4,175 t.ha<sup>-1</sup>). Segundo Ottmar et al. (2001), para diferentes fisionomias de cerrado os valores de biomassa variam de 3,78 t.ha<sup>-1</sup> no campo limpo, e 71,89 t.ha<sup>-1</sup> no cerrado denso.

Em pesquisas realizadas em chaco, vasta região natural no norte da Argentina com floresta e savanas, Kunst et al. (2012), encontraram em duas áreas distintas de experimentos de comportamento do fogo, valores de 2,89 t.ha<sup>-1</sup> e 6,32 t.ha<sup>-1</sup> de material combustível com diâmetros ≤ 0,7 cm.

Em trabalho realizado por Melo et al. (2006), no Parque Nacional do Iguaçu, (PNI), Unidade de Conservação de Proteção Integral, foram identificadas cargas de material combustível de 11,51 t.ha<sup>-1</sup>. Ribeiro et al. (2008), em savanas do sul de África em julho de 2004, encontraram um valor médio de 14,78 t.ha<sup>-1</sup> de carga total em pastagens compostas por *Brachiaria decumbens*. As cargas de material combustível avaliadas por estes autores são semelhantes às encontradas no presente estudo, isso se deve provavelmente a área em que foi coletado o material e ao tipo de vegetação do Cerrado *sensu stricto* e o *Andropogon*, também como a época do ano, entre outros fatores que são significativos da carga de material combustível.

## 4.2 Comportamento do fogo e variáveis meteorológicas

Os resultados do comportamento do fogo serão apresentados e discutidos de forma separada em cada local em função das diferenças na carga e tipo de material combustível, descritas anteriormente. Conforme os dados dispostos na tabela 6, observa-se que estatisticamente não houve diferença na altura das chamas entre os períodos de queima em Dueré, que apresentou média geral 0,53 m. Quanto à velocidade da propagação também não houve diferença estatística entre os resultados dos períodos das queimas, que apresentou média geral de 0,004 m.s<sup>-1</sup>, considerada como lenta de acordo com a classificação de Soares e Batista (2007).

Tabela 7. Variáveis coletadas e estimadas a partir de queima controlada realizada em remanescente de Cerrado *Sensu Stricto*, em três períodos do dia em Dueré-TO, 2016.

Variável	Período		
	Manhã	Tarde	Noite
Altura das chamas (m)	0,57 a	0,48 a	0,56 a
Velocidade de propagação (m.s <sup>-1</sup> )	0,03 a	0,03 a	0,02 a

Tabela 8. Variáveis coletadas e estimadas a partir de queima controlada realizada em remanescente de Cerrado *Sensu Stricto*, em três períodos do dia em Dueré-TO, 2016 (continuação).

Variável	Período		
	Manhã	Tarde	Noite
Umidade relativa do ar (%)	74,6 a	54,1 b	79,1 a
Temperatura do ar (° C)	26,4 b	33,3 a	26,5 b
Velocidade do vento (m.s <sup>-1</sup> )	0,19 ab	0,65 a	0,01 b
Intensidade do fogo (kcal.m <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )	30,48 a	17,93 a	25,05 a
Biomassa pós-fogo (t.ha <sup>-1</sup> )	1,32 a	4,13 a	3,44 a
Consumo de biomassa (t.ha <sup>-1</sup> )	7,41 a	3,23 a	5,19 a
Consumo de biomassa (%)	77 a	43 a	59 a

Médias seguidas de mesmas letras na linha não apresentam diferença significativa pelo teste Tukey ( $p > 0,05$ ).

Em geral, duas condicionantes atuam diretamente para a eficiência de queima: a primeira, relacionada ao tipo de vegetação e suas características (diâmetro, arranjo e teor de umidade) e, a segunda, os fatores meteorológicos no momento da queima (SOARES e BATISTA, 2007). Com relação às variáveis climáticas no início da queima de cada parcela, umidade relativa do ar e temperatura do ar, o período da tarde apresentou os menores (54,1%) e maiores (33,3° C) valores, respectivamente. Segundo, Soares e Batista (2007), a temperatura do ar influi direta e indiretamente na combustão e propagação dos incêndios, pois a temperatura necessária para elevar o combustível depende da própria temperatura inicial do combustível e também da temperatura do ar. Neste local, tal influencia não foi observada em virtude dos efeitos diretos na inflamabilidade dos combustíveis florestais, em geral as baixas temperaturas e alta umidade relativa são condições para que o fogo não se propague.

Com relação à velocidade média do vento, os valores variaram de 0,65 m.s<sup>-1</sup> (período da tarde) a 0,01 m.s<sup>-1</sup> (período da noite). Na intensidade do fogo, esta variação ficou entre 25,0 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup> (noite) e 30,48 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup> (manhã). Fidelis et al. (2010), determinaram médias de intensidade do fogo de 22,35 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup> em datas de dezembro do 2006 e janeiro de 2007 para uma área com queima frequente e de 42,79 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup> numa área com mais de cinco anos sem queima. Bidwell e Engle (1990), para a região de pradarias do centro-oeste dos Estados Unidos obtiveram valores de intensidade variando entre 17,93 e 663,96 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>.

Para biomassa pós-fogo, o maior valor foi observado no horário da tarde (4,13 t.ha<sup>-1</sup>) e menor no horário da manhã (1,32 t.ha<sup>-1</sup>). Com relação ao consumo da biomassa, os valores variaram de 3,23 t.ha<sup>-1</sup> (tarde) a 7,41 t.ha<sup>-1</sup> (manhã), com uma

média de consumo de 59% que se encontra um pouco abaixo do observado na literatura para condições de Cerrado. Por exemplo, estudos realizados na região da savana brasileira (Cerrado), foram observados valores de consumo de material combustível de 63% a 77% (PIVELLO e COUTINHO, 1992), 81% a 94% (MIRANDA et al., 1996), e de 88% a 94% (SILVA e MARINHO, 2013).

Na tabela 7, estão expressos os resultados obtidos para a área Gurupi I, em que a altura das chamas apresentou diferença estatística, sendo na queima do período da manhã observado menor valor (1,12 m) e que está dentro das alturas médias das chamas registradas para vegetação de campos no Cerrado, que segundo Frost e Robertson (1987) fica entre 0,80 e 2,80. No período da tarde e da noite as alturas das chamas foram respectivamente de 3,47 e 2,62 m. Segundo Pivello et al. (2010), o fogo com chamas mais quentes ocorre em queimadas bienais no meio da estação seca e em queimadas quadrienais, em que as linhas de fogo mais intensas e a propagação do fogo mais ampla estão associadas à maiores temperaturas do ar durante o mês da queimada.

Tabela 9. Variáveis coletadas e estimadas a partir de queima controlada realizada em área de pastagem com *Andropogon* (altura média 1,80 cm), em três períodos do dia em Gurupi-TO, 2016.

Variável	Período		
	Manhã	Tarde	Noite
Altura das chamas (m)	1,12 b	3,47 a	2,62 a
Velocidade de propagação (m.s <sup>-1</sup> )	0,01 b	0,09 a	0,03 b
Umidade relativa do ar (%)	50,4 b	40,9 c	67,2 a
Temperatura do ar (°C)	33,9 a	36,9 a	28,0 b
Velocidade do vento (m.s <sup>-1</sup> )	0,19 b	0,55 a	0,38 b
Intensidade do fogo (kcal.m <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )	87,87 c	1.032,2 a	538,89 b
Biomassa pós-fogo (t.ha <sup>-1</sup> )	4,57 a	2,82 a	3,27 a
Consumo de biomassa (t.ha <sup>-1</sup> )	8,73 a	10,98 a	10,72 a
Consumo de biomassa (%)	63 a	79 a	72 a

Médias seguidas de mesmas letras na linha não apresentam diferença significativa pelo teste Tukey ( $p > 0,05$ ).

Foi verificada diferença significativa entre médias de velocidade de propagação do fogo, com maior valor observado no horário da tarde (0,09 m.s<sup>-1</sup>) que pode ser considerada como média, de acordo com a classificação de Soares e Batista (2007). Estudos realizados em diferentes partes do mundo demonstram as variações que podem ocorrer na velocidade de propagação, segundo a literatura, pode variar

significativamente de acordo com as características do material combustível e das condições meteorológicas.

Fidelis et al. (2010), realizando experimentos de queimas somente a favor do vento, registraram velocidades de propagação de  $0,015 \text{ m.s}^{-1}$  e  $0,013 \text{ m.s}^{-1}$ . Miranda et al. (1996) observaram  $0,038 \text{ m.s}^{-1}$  de velocidade média de propagação do fogo, com variação de  $0,013$  a  $0,064 \text{ m.s}^{-1}$ , em queimas a favor do vento em vegetação de campo sujo de Cerrado. Segundo Soares e Batista (2007), a velocidade de propagação é um dos mais importantes parâmetros na previsão do comportamento do fogo e ressaltam que a velocidade de propagação é um dos parâmetros mais difíceis de ser estimado, devido à diversidade de fatores ambientais associados à propagação do fogo.

A umidade relativa apresentou diferença estatística entre os três horários com a maior umidade no horário da noite com 67,2%. Soares e Batista (2007) observaram que os combustíveis florestais vivos levam maior tempo para absorver ou perder umidade do ar e varia bastante dependendo do tipo e tamanho do material. Ainda, esta variável é um dos mais importantes fatores na propagação dos incêndios florestais principalmente nas regiões onde os incêndios ocorrem com maior frequência no inverno e início da primavera.

Com relação à temperatura do ar, o menor valor foi registrado nas queimas realizadas no período da noite ( $28,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Miranda et al. (1993), concluíram que o calor despreendido pelo fogo durante as queimadas afeta, principalmente, os indivíduos situados na faixa de 60 cm de altura, onde ocorre a zona crítica de temperatura.

Em relação na velocidade do vento, foram registrados ventos maiores no horário da tarde ( $0,55 \text{ m.s}^{-1}$ ), enquanto no horário da manhã os valores mais baixos ( $0,19 \text{ m.s}^{-1}$ ). A intensidade do fogo apresentou no período da manhã o menor valor ( $87,87 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ), com o maior valor no período da tarde ( $1,032 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ).

Em trabalhos realizados em áreas de campo sujo, em Brasília, Pivello et al. (2010) verificaram que, no início da estação seca, quase 30% do material combustível era composto por biomassa morta de graminóides (fino), levando a queimas de baixa intensidade ( $300 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ). Por outro lado, no final da estação seca, a quantidade de material fino morto praticamente duplicou, levando a um aumento significativo médio da intensidade do fogo ( $867,48 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ).

Para biomassa pós-fogo, foi observado no horário da manhã o maior valor ( $4,57 \text{ t.ha}^{-1}$ ) e no período da tarde o menor ( $2,82 \text{ t.ha}^{-1}$ ) em que estas variações podem ter relação com as condições climatológicas durante a realização das queimas.

No consumo da biomassa, o período da tarde apresentou o maior consumo ( $10,98 \text{ t.ha}^{-1}$ ), com o menor consumo observado no período da manhã ( $8,73 \text{ t.ha}^{-1}$ ). A média do percentual de biomassa consumida foi de 71%, ficando dentro dos valores de queima para vegetação de campo como se apresenta na literatura. Por exemplo, Levine (1996), realizando experimentos para queimas de vegetação herbácea de Campo e Savana, encontraram valores situados de 65 a 95%.

Na tabela 8, estão expressos os resultados obtidos nas queimas realizadas na área Gurupi II, com a altura das chamas não apresentando diferença estatística, com os valores variando de 0,71 m (período da tarde) a 0,37 m (período da noite).

Tabela 10. Variáveis coletadas e estimadas a partir de queima controlada realizada em área de pastagem com *Andropogon* (altura média 40-60 cm), em três períodos em Gurupi-TO, 2016.

Variável	Horário		
	Manhã	Tarde	Noite
Altura das chamas (m)	0,51 a	0,71 a	0,37 a
Velocidade de propagação ( $\text{m.s}^{-1}$ )	0,02 a	0,04 a	0,00 a
Umidade relativa do ar (%)	39,4 a	17,0 b	37,2 a
Temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )	28,8 a	37,4 b	27,2 a
Velocidade do vento ( $\text{m.s}^{-1}$ )	1,02 a	0,75 a	0,00 b
Intensidade do fogo ( $\text{kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ )	14,69 a	31,64 a	7,04 a
Biomassa pós-fogo ( $\text{t.ha}^{-1}$ )	1,75 a	1,71 a	3,90 a
Consumo de biomassa ( $\text{t.ha}^{-1}$ )	2,46 a	2,41 a	0,28 a
Consumo de biomassa (%)	57 a	53 ab	7 b

Médias seguidas de mesmas letras na linha não apresentam diferença significativa pelo teste Tukey ( $p>0,05$ ).

A velocidade média de propagação foi maior nas queimas realizadas no período da tarde ( $0,04 \text{ m.s}^{-1}$ ) e de manhã ( $0,02 \text{ m.s}^{-1}$ ). A diferença de velocidade de propagação entre os períodos de manhã e da noite provavelmente está relacionada à alta umidade relativa do ar e a nula velocidade do vento no período da noite. A temperatura e a umidade relativa do ar foram, respectivamente, maiores e menores no período da tarde com os seguintes valores:  $37,4^{\circ}\text{C}$  e 17,0 %.

Estes resultados são importantes para avaliar os limites de velocidade de propagação que se pode esperar do fogo, podendo ser aplicados para prática de queimas prescritas em atividades de manejo de material combustível ou na prevenção

e combate aos incêndios (PEREIRA, 2015). Em relação à intensidade do fogo foi observado o maior valor no período da tarde ( $31,64 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ), enquanto que o menor valor foi observado pela noite ( $7,04 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ). Em queimas realizadas contra o vento, Bidwell e Engle (1991), determinaram um valor médio de intensidade do fogo de  $23,18 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ , com variação de  $7,41$  a  $34,89 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  para as pradarias norte americanas.

O consumo médio de biomassa nesse local foi 39% e que está abaixo de outros experimentos descritos na literatura. Por exemplo, em experimentos realizados por Fidelis et al. (2010), em áreas de dois e seis anos sem a ocorrência de queimadas em vegetação de Estepe, no Rio Grande do Sul, foram observados valores acima de 90% do material consumido. Em estudos realizados na Reserva Natural Serra do Tambor no mês de agosto em campo sujo foi apresentada eficiências parecidas ao presente estudo com 89 % de material consumido (RISSI, 2016).

O fator de combustão nem sempre é fácil de comparação, uma vez que dependem da composição do combustível (vivo e morto), do teor de umidade do combustível, e do clima local, principalmente dias sem chuva (JOHNSON e MIYANISHI, 2001), dados estes que muitas vezes não são apresentados nos estudos publicados. Miranda et al. (1996) encontraram valores entre 91 e 95% para a área de campo sujo (Cerrado) independentemente da estação de queima, em que o fogo pode consumir mais de 90% do combustível disponível (PIVELLO et al., 2010).

De acordo com Batista et al. (2013), os experimentos sobre o comportamento do fogo em ambiente natural aberto são difíceis de serem realizados, pela dificuldade em controlar e visualizar as variáveis envolvidas no processo de combustão. No entanto, esse é um dos meios indispensáveis para o entendimento das relações entre o ambiente florestal e a combustão.

### **4.3 Correlação entre as variáveis**

Na tabela 9, 10, 11 e 12 estão apresentados os coeficientes de correlação entre as variáveis do comportamento do fogo (altura da chama, velocidade de propagação e intensidade do fogo), meteorológicas (umidade relativa do ar, temperatura do ar e velocidade do vento) e do material combustível (Material vivo e morto), considerando os dados gerais e os dados separados por área (Dueré, Gurupi I e Gurupi II).

Tabela 11. Coeficientes de correlação entre as variáveis meteorológicas, de material combustível e de comportamento do fogo obtidas da queima na área Dueré, no Sul do Estado do Tocantins, 2016

Variáveis	Dueré						
	A <sub>CH</sub>	V <sub>PROP</sub>	INT	U% <sub>I</sub>	U% <sub>II</sub>	M <sub>CONS</sub>	%M <sub>CONS</sub>
A <sub>CH</sub>	-	-	-	-	-	-	-
V <sub>PROP</sub>	<b>0,95**</b>	-	-	-	-	-	-
INT	<b>0,94**</b>	<b>0,93**</b>	-	-	-	-	-
Período	-0,03	-0,26	-0,10	0,42	0,43	-0,18	-0,31
VV	0,39	0,50	0,42	0,44	-0,38	-0,21	-0,42
UR	-0,03	-0,14	0,06	-0,30	<b>0,66*</b>	-0,06	0,28
TEMP	0,29	0,32	0,14	0,36	-0,51	0,12	-0,23
U% <sub>I</sub>	-0,03	-0,03	0,02	-	-0,04	<b>-0,69*</b>	-0,46
MCA <sub>I</sub>	-0,50	-0,39	-0,21	0,29	-0,20	-0,26	-0,15
U% <sub>II</sub>	0,27	0,06	0,25	-0,04	-	-0,26	0,24
MCA <sub>II</sub>	-0,47	-0,49	-0,34	0,51	-0,39	-0,19	<b>-0,68*</b>
MCA <sub>(I/II)</sub>	<b>-0,62*</b>	-0,51	-0,47	-0,26	0,07	-0,28	0,01
MCA	0,04	0,04	0,01	-0,53	-0,42	<b>0,91**</b>	0,23
MCD	-0,49	-0,52	-0,37	0,41	-0,39	-0,24	<b>-0,80**</b>
M <sub>CONS</sub>	0,25	0,25	0,17	<b>-0,69*</b>	-0,26	-	0,56

\* e \*\* significativo a 1% e 5% pelo teste t. A<sub>CH</sub>: Altura das chamas durante a queima; V<sub>PROP</sub>: Velocidade de propagação do fogo; VV: Velocidade média do vento durante a queima da parcela; PERÍODO: Horário em que foram divididas as queimas; UR: Umidade relativa do ar no início da queima; TEMP: Temperatura do ar no início da queima; INT: Intensidade do fogo; U%<sub>I</sub>: Umidade combustível vivo; MCA<sub>I</sub>: Biomassa material combustível vivo; U%<sub>II</sub>: Umidade combustível morto; MCA<sub>II</sub>: Biomassa material combustível morto; MCA: Biomassa do material combustível antes da queima; MCD: Massa Material Combustível depois da queima; M<sub>CONS</sub>: Material combustível consumido pelo fogo; %M<sub>CONS</sub>: Percentual de material combustível consumido pelo fogo.

Os resultados obtidos no presente estudo demonstram a existência da correlação entre variáveis descritas na tabela 9, com a altura da chama (A<sub>CH</sub>) fortemente correlacionada com a V<sub>PROP</sub> e a MCA<sub>(I/II)</sub> com  $r = 0,95^{**}$ ;  $-0,62^{*}$ , resultados que permitem inferir sobre a relação positiva/negativa de características que influenciam na altura das chamas.

A velocidade de propagação (V<sub>prop</sub>) apresentou correlação positiva com a intensidade do fogo (INT), com  $r = 0,93^{**}$ . Desta maneira, a maior intensidade esteve relacionada com a maior velocidade de propagação. Na literatura é encontrada que a intensidade do fogo é influenciada principalmente pela quantidade de biomassa fina (especialmente graminóides e ramos finos) acumulada na área (KAUFFMAN et al., 1994; MIRANDA et al., 1996; CASTRO e KAUFFMAN, 1998; FIDELIS et al., 2010).

Outra variável que cabe ressaltar é a umidade do material morto, que esteve diretamente relacionada com a umidade relativa (UR) com um coeficiente de  $0,66^{*}$ , ou seja, pode-se dizer que quanto maior umidade relativa a umidade do material morto tende a ser maior.

Os resultados na tabela 10 demonstram a existência de correlação de quatro das quatorze variáveis avaliadas com a altura das chamas (A<sub>CH</sub>): V<sub>prop</sub> e INT ( $0,84^{**}$ ;  $0,98^{**}$ , respectivamente), relação entre material combustível vivo e morto ( $0,60^{*}$ ) e material combustível depois da queima ( $-0,66^{*}$ ).

Tabela 12. Coeficientes de correlação entre as variáveis climáticas, de material combustível e de comportamento do fogo obtidas da queima na área Gurupi I no Sul do Estado do Tocantins, 2016

Variáveis	Gurupi I						
	A <sub>CH</sub>	V <sub>PROP</sub>	INT	U% <sub>I</sub>	U% <sub>II</sub>	M <sub>CONS</sub>	%M <sub>CONS</sub>
A <sub>CH</sub>	-	-	-	-	-	-	-
V <sub>PROP</sub>	<b>0,84**</b>	-	-	-	-	-	-
INT	<b>0,98**</b>	<b>0,90**</b>	-	-	-	-	-
Período	0,50	0,12	0,36	-0,01	0,26	0,22	0,31
VV	0,31	0,44	0,30	0,26	-0,25	0,03	0,32
UR	-0,07	-0,49	-0,22	-0,21	0,54	-0,05	-0,19
TEMP	0,07	0,47	0,22	0,13	<b>-0,62*</b>	0,14	0,26
U% <sub>I</sub>	0,21	0,36	0,23	-	-0,16	-0,07	-0,01
MCA <sub>I</sub>	0,52	0,23	0,47	-0,04	-0,26	<b>0,72**</b>	<b>0,65*</b>
U% <sub>II</sub>	-0,19	-0,35	-0,28	-0,16	-	-0,57	<b>-0,61*</b>
MCA <sub>II</sub>	-0,18	-0,12	-0,13	0,05	-0,56	<b>0,84**</b>	<b>0,57*</b>
MCA <sub>(I/II)</sub>	<b>0,60*</b>	0,32	0,53	0,03	0,03	0,04	0,23
MCA	0,07	0,00	0,08	0,02	-0,55	<b>0,96**</b>	<b>0,72**</b>
MCD	<b>-0,66*</b>	-0,38	<b>-0,63*</b>	0,31	0,29	-0,50	<b>-0,78**</b>
M <sub>CONS</sub>	0,25	0,11	0,25	-0,07	-0,57	-	<b>0,86**</b>

\* e \*\* significativo a 1% e 5% pelo teste t. A<sub>CH</sub>: Altura das chamas durante a queima; V<sub>PROP</sub>: Velocidade de propagação do fogo; VV: Velocidade média do vento durante a queima da parcela; PERÍODO: Horário em que foram divididas as queimas; UR: Umidade relativa do ar no início da queima; TEMP: Temperatura do ar no início da queima; INT: Intensidade do fogo; U%<sub>I</sub>: Umidade combustível vivo; MCA<sub>I</sub>: Biomassa material combustível vivo; U%<sub>II</sub>: Umidade combustível morto; MCA<sub>II</sub>: Biomassa material combustível morto; MCA<sub>I/II</sub>: Biomassa do material combustível vivo e morto; MCA: Biomassa do material combustível antes da queima; MCD: Massa Material Combustível depois da queima; M<sub>CONS</sub>: Material combustível consumido pelo fogo; %M<sub>CONS</sub>: Percentual de material combustível consumido pelo fogo.

Outro par de variáveis que apresentou correlação positiva foi a velocidade de propagação e a intensidade do fogo com  $r = 0,98^{**}$ , isso significa que quanto maior a velocidade de propagação do fogo para percorrer a área maior tende de ser a intensidade do fogo.

O percentual do material consumido (%M<sub>CONS</sub>) apresentou correlação com seis das quatorze variáveis, sendo todas estas relacionadas ao material combustível com os maiores obtidos com o material consumido depois da queima e o material consumido pelo fogo ( $-0,78^{**}$ ;  $0,86^{**}$ , respectivamente).

Na área Gurupi II (Tabela 11), a altura das chamas foi fortemente correlacionada com a V<sub>prop</sub> e INT com valores de  $r = 0,76^{**}$  e  $r = 0,98^{**}$ , respectivamente e assim, pode-se dizer que a altura das chamas esteve relacionada diretamente com a velocidade de propagação e a intensidade do fogo.

Tabela 13. Coeficientes de correlação entre as variáveis climáticas, de material combustível e de comportamento do fogo obtidas da queima na Gurupi II no Sul do Estado do Tocantins, 2016

Variáveis	Gurupi II						
	A <sub>CH</sub>	V <sub>PROP</sub>	INT	U% <sub>I</sub>	U% <sub>II</sub>	M <sub>CONS</sub>	%M <sub>CONS</sub>
A <sub>CH</sub>	-	-	-	-	-	-	-
V <sub>PROP</sub>	<b>0,76*</b>	-	-	-	-	-	-
INT	<b>0,98**</b>	<b>0,72*</b>	-	-	-	-	-
Período	0,08	0,22	0,15	0,35	0,06	-0,30	-0,39
VV	0,16	0,17	0,11	-0,14	-0,15	0,57	0,46
UR	<b>-0,68*</b>	<b>-0,83**</b>	-0,62	-0,32	0,35	-0,22	-0,14
TEMP	<b>0,71*</b>	<b>0,87**</b>	0,64	0,36	-0,39	0,28	0,23
U% <sub>I</sub>	-0,08	0,32	-0,14	-	0,03	-0,42	-0,37
MCA <sub>I</sub>	0,03	-0,09	0,07	-0,61	-0,23	<b>0,69*</b>	0,53
U% <sub>II</sub>	-0,35	-0,31	-0,31	0,03	-	-0,35	-0,15
MCA <sub>II</sub>	0,42	0,27	0,50	-0,06	-0,56	0,58	0,25
MCA <sub>(I/II)</sub>	-0,09	-0,16	-0,06	-0,67	-0,10	0,63	0,54
MCA	0,34	0,18	0,41	-0,26	-0,51	<b>0,68*</b>	0,38
MCD	-0,42	-0,40	-0,40	0,35	0,02	<b>-0,76*</b>	<b>-0,93**</b>
M <sub>CONS</sub>	0,53	0,41	0,56	-0,42	-0,35	-	<b>0,92**</b>

\* e \*\* significativo a 1% e 5% pelo teste t. A<sub>CH</sub>: Altura das chamas durante a queima; V<sub>PROP</sub>: Velocidade de propagação do fogo; VV: Velocidade média do vento durante a queima da parcela; P<sub>PERÍODO</sub>: Horário em que foram divididas as queimas; UR: Umidade relativa do ar no início da queima; TEMP: Temperatura do ar no início da queima; INT: Intensidade do fogo; U%<sub>I</sub>: Umidade combustível vivo; MCA<sub>I</sub>: Biomassa material combustível vivo; U%<sub>II</sub>: Umidade combustível morto; MCA<sub>II</sub>: Biomassa material combustível morto; MCA<sub>I/II</sub>: Biomassa do material combustível vivo e morto; MCA: Biomassa do material combustível antes da queima; MCD: Massa Material Combustível depois da queima; M<sub>CONS</sub>: Material combustível consumido pelo fogo; %M<sub>CONS</sub>: Percentual de material combustível consumido pelo fogo.

A altura das chamas também esteve fortemente correlacionada com as variáveis meteorológicas, especificamente com a umidade relativa UR (-0,68\*) e com a temperatura (0,71\*).

Os coeficientes observados entre os parâmetros do comportamento do fogo com as variáveis meteorológicas ajudam na explicação das amplas variações que ocorrem nos incêndios florestais, como por exemplo, as diferenças observadas no comportamento do fogo durante o dia e durante a noite e até nos diferentes locais.

Outros pares de variáveis que apresentaram correlações interessantes foram a velocidade de propagação e a intensidade do fogo (INT), com uma correlação positiva (0,72\*) e a V<sub>prop</sub> e a umidade relativa e temperatura (-0,83\*\*; 0,87\*\*, respectivamente). Deste modo, a maior velocidade de propagação esteve diretamente relacionada com a maior temperatura e menor umidade relativa, bem como com a maior intensidade do fogo.

Segundo Cochrane (2003), a propagação do fogo em florestas tropicais é controlada principalmente pela umidade relativa do ar, que são associadas a grandes períodos de altas temperaturas e estiagem, e queimas de esse tipo podem ser mais prejudiciais para plantas e causar maiores taxas de mortalidade do que queimas rápidas (KAYLL, 1968).

Nos resultados da tabela 12, obtidos com o banco de dados de todas as queimas, a altura das chamas apresentou correlação com sete variáveis, com destaque as relações com a  $V_{prop}$  e a INT (0,72\*\*; 0,79\*\*, respectivamente). Deste modo, essas fortes correlações indicam que a altura das chamas esteve diretamente associada com a velocidade de propagação e a intensidade do fogo.

Tabela 14. Coeficientes de correlação entre as variáveis meteorológicas, de material combustível e de comportamento do fogo obtidas de queimadas controladas em três áreas distintas no Sul do Estado do Tocantins 2016

Variáveis	Geral						
	A <sub>CH</sub>	V <sub>PROP</sub>	INT	U% <sub>I</sub>	U% <sub>II</sub>	M <sub>CONS</sub>	%M <sub>CONS</sub>
A <sub>CH</sub>	-	-	-	-	-	-	-
V <sub>PROP</sub>	<b>0,72**</b>	-	-	-	-	-	-
INT	<b>0,96**</b>	<b>0,78**</b>	-	-	-	-	-
Período	0,31	0,07	0,28	0,09	0,21	0,06	-0,12
VV	0,01	0,21	0,01	<b>0,37*</b>	-0,16	-0,17	-0,01
UR	-0,03	-0,25	-0,05	<b>-0,53**</b>	0,20	0,18	0,18
TEMP	0,29	<b>0,47**</b>	0,28	0,24	<b>-0,38*</b>	0,16	0,06
U% <sub>I</sub>	-0,23	0,08	-0,17	-	-0,01	<b>-0,61**</b>	<b>-0,44*</b>
MCA <sub>I</sub>	<b>0,80**</b>	0,30	<b>0,72**</b>	<b>-0,36*</b>	-0,06	<b>0,60**</b>	<b>0,35*</b>
U% <sub>II</sub>	-0,04	-0,18	-0,08	-0,01	-	-0,23	-0,09
MCA <sub>II</sub>	<b>0,56**</b>	0,14	<b>0,49**</b>	-0,24	-0,19	<b>0,57**</b>	0,20
MCA <sub>(I/II)</sub>	<b>0,44*</b>	0,11	<b>0,47**</b>	<b>-0,42*</b>	0,01	0,20	0,27
MCA	<b>0,48**</b>	0,16	<b>0,41*</b>	<b>-0,54**</b>	-0,26	<b>0,94**</b>	<b>0,41*</b>
MCD	0,01	-0,21	0,01	0,07	-0,09	-0,04	<b>-0,57**</b>
M <sub>CONS</sub>	<b>0,50**</b>	0,24	<b>0,43*</b>	<b>-0,61**</b>	-0,23	-	<b>0,63**</b>

\* e \*\* significativo a 1% e 5% pelo teste t. A<sub>CH</sub>: Altura das chamas durante a queima; V<sub>PROP</sub>: Velocidade de propagação do fogo; VV: Velocidade média do vento durante a queima da parcela; P<sub>PERÍODO</sub>: Horário em que foram divididas as queimas; UR: Umidade relativa do ar no início da queima; TEMP: Temperatura do ar no início da queima; INT: Intensidade do fogo; U%<sub>I</sub>: Umidade combustível vivo; MCA<sub>I</sub>: Biomassa material combustível vivo; U%<sub>II</sub>: Umidade combustível morto; MCA<sub>II</sub>: Biomassa material combustível morto; MCA<sub>(I/II)</sub>: Biomassa do material combustível vivo e morto, MCA: Biomassa do material combustível antes da queima; MCD: Massa Material Combustível depois da queima; M<sub>CONS</sub>: Material combustível consumido pelo fogo; %M<sub>CONS</sub>: Percentual de material combustível consumido pelo fogo.

A velocidade de propagação também foi correlacionada positivamente com a intensidade do fogo e a temperatura do ar (0,90\*\*; 0,47\*\*, respectivamente). Assim, estes resultados indicam que quanto maior temperatura a velocidade de propagação será maior.

A intensidade apresentou correlações com material combustível vivo (0,72\*\*) e o material combustível morto (0,49\*\*) e o material consumido pelo fogo (0,43\*), bem como a biomassa do material combustível antes da queima (0,41\*).

A umidade do combustível morto (U%<sub>I</sub>) apresentou correlações com as variáveis meteorológicas em relação a velocidade do vento (VV) e a umidade relativa com valores de  $r = 0,37^*$  e  $r = -0,53^{**}$ , respectivamente. Deste modo, à medida que há redução de umidade relativa do ar a umidade do material combustível vivo começa a ser menor e mais propício para combustão, que possui relação com o fato de que o

material vivo necessita de temperaturas maiores para perder umidade diferente do material combustível morto.

No entanto, as médias da velocidade do vento não variaram significativamente entre os horários analisados, sendo uma das dificuldades verificadas normalmente quando se realiza experimentos de queima em ambiente aberto. Os maiores coeficientes de correlação observados nas tabelas 9, 10, 11 e 12 deixam claro que o fogo é um fenômeno que ocorre em função de diversas variáveis.

#### 4.4 Modelos de regressão

Os modelos matemáticos de regressão foram elaborados em modo Geral uma relação das três áreas em conjunto, e também foi elaborado de forma por local (Dueré, Gurupi I e Gurupi II), isso com a intenção de encontrar uns modelos que possam ser ajustados para cada área.

##### 4.4.1 Altura das chamas

Na tabela 13 estão apresentados os modelos matemáticos de regressão desenvolvidos para estimativa da altura das chamas de acordo com o banco de dados analisados (Geral, Dueré, Gurupi I e Gurupi II).

Tabela 15. Modelos de estimativa da altura das chamas com base nas variáveis de meteorológicas e de material combustível.

Banco de dados	Modelo (s)	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	S <sub>yx</sub> %
Geral	$-5,661 + 0,442 \cdot \text{Período} + 0,024 \cdot \text{UR} + 0,155 \cdot \text{Temp}$	0,18	87,2%
Geral	$-1,500 + 0,082 \cdot \text{Temp} + 0,821 \cdot \text{MCA}_I - 0,200 \cdot \text{MCA}_{II}$	0,74	48,8%
Geral	$0,988 + 0,853 \cdot \text{MCA}_I - 0,152 \cdot \text{MCA}_{II} - 1,070 \cdot \text{MCA}_{(I/II)}$	0,67	55,2%
Dueré	$-13,677 - 0,215 \cdot \text{Período} + 0,352 \cdot \text{VV} + 0,100 \cdot \text{UR} + 0,261 \cdot \text{Temp}$	0,72	35,2%
Dueré	$1,124 - 0,112 \cdot \text{MCA}_{II} - 0,872 \cdot \text{MCA}_{(I/II)}$	0,59	44,4%
Gurupi I	$2,758 + 1,182 \cdot \text{Período} - 0,051 \cdot \text{UR}$	0,31	43,7%
Gurupi I	$-44,546 + 0,667 \cdot \text{Período} + 0,272 \cdot \text{UR} + 0,999 \cdot \text{Temp} + 10,764 \cdot \text{U}\%_I + 2,980 \cdot \text{MCA}_I - 12,927 \cdot \text{MCA}_{(I/II)} - 0,964 \cdot \text{MCA}$	0,78	24,6%
Gurupi I	$7,719 + 6,090 \cdot \text{U}\%_I + 2,708 \cdot \text{MCA}_I - 9,684 \cdot \text{U}\%_{II} - 12,081 \cdot \text{MCA}_{(I/II)} - 0,864 \cdot \text{MCA}$	0,36	42,1%
Gurupi II	$0,856 - 0,009 \cdot \text{UR}$	0,39	22,4%

Legenda: TEMP: Temperatura do ar no início da queima, MCA<sub>I</sub>: Biomassa material combustível vivo, MCA<sub>II</sub>: Biomassa material combustível morto, Período: horário em que foram divididas as queimas; VV: Velocidade média do vento durante a queima da parcela; UR: Umidade relativa do ar no início da queima; MCA<sub>I/II</sub>: Biomassa do material combustível vivo e morto, U%<sub>I</sub>: Umidade combustível vivo, MCA: Biomassa do material combustível antes da queima; R<sup>2</sup><sub>adj</sub>: Coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub>?: Erro padrão da Estimativa em porcentagem.

De acordo com os modelos, as variáveis que apresentam mais interação com a altura das chamas, em ambos os bancos de dados (Geral, Dueré e Gurupi) foram a temperatura (Temp), o período (Período) e a umidade do material combustível vivo ( $U\%_I$ ), ou seja, a estimativa da altura das chamas leva principalmente em consideração o horário da queima e a quantidade de umidade que o material combustível tem para poder propagar o fogo.

Em experimentos realizados em três unidades de conservação do Cerrado que envolveram queimas prescritas entre maio e julho de 2014, com vegetações predominantemente campestres e savânicas, foram observadas regressões com ajuste de 0,981 para a altura de chamas (SCHMIDT et al., 2016). Pereira (2015), em experimentos de comportamento do fogo em *Pinus taeda*, realizou ajuste de modelos regressão para altura das chamas com coeficientes de determinação de 0,949 a 0,951.

#### 4.4.2 Velocidade de propagação

Na tabela 14, estão apresentados os modelos gerais de regressão desenvolvidos para estimativa da velocidade de propagação de acordo com o banco de dados analisados (Geral, Dueré, Gurupi I e Gurupi II).

Tabela 16. Modelos de estimativa de velocidade de propagação com base nas variáveis meteorológicas e de material combustível.

Banco de dados	Modelo (s)	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	S <sub>yx</sub> %
Geral	$-0,128 + 0,004*Temp$	0,21	66,6%
Geral	$-0,082 + 0,004*Temp + 0,016*MCA_I - 0,008*MCA_{II}$	0,44	66,6%
Geral	$0,026 + 0,005*MCA_I$	0,06	100%
Dueré	$-0,564 + -0,014*Período + 0,021*VV + 0,004*UR + 0,011*Temp$	0,68	50%
Dueré	$0,054 - 0,005*MCA_{II} - 0,034*MCA_{(I/II)}$	0,43	50%
Gurupi I	$0,134 + 0,030*Período - 0,003*UR$	0,33	75%
Gurupi I	$-2,624 + 0,055*VV + 0,017*UR + 0,056*Temp + 0,583*U\%_I + 0,131*MCA_I - 0,651*MCA_{(I/II)} - 0,044*MCA$	0,93	25%
Gurupi II	$-0,059 + ,003*Temp$	0,74	35%

Legenda: TEMP: Temperatura do ar no início da queima, MCA<sub>I</sub>: Biomassa material combustível vivo, MCA<sub>II</sub>: Biomassa material combustível morto, Período: horário em que foram divididas as queimas; VV: Velocidade média do vento durante a queima da parcela; UR: Umidade relativa do ar no início da queima; MCA<sub>I/II</sub>: Biomassa do material combustível vivo e morto, U%<sub>I</sub>: Umidade combustível vivo, MCA: Biomassa do material combustível antes da queima; R<sup>2</sup><sub>adj</sub>: Coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub>%; Erro padrão da Estimativa em porcentagem.

Os melhores modelos matemáticos desenvolvidos para estimar a velocidade de propagação do fogo apresentaram coeficientes de determinação com R<sup>2</sup><sub>aj</sub> de 0,44 no banco de dados geral, e para as áreas de Duere e Gurupi de 0,68 e 0,93,

respectivamente. O material combustível vivo e morto foi a variável observada em todos os modelos, bem como as variáveis climatológicas (TEMP, UR) e a umidade do material combustível vivo e morto (U%).

No entanto, como diversos trabalhos têm sido desenvolvidos por diversos autores em diferentes condições de queima, resultados distintos são esperados. Por exemplo, Schmidt et al., (2016), realizaram queimas prescritas na vegetação do Cerrado em três unidades de conservação, encontraram coeficientes de determinação de 0,53, ou seja, parecidos com os encontrados no nosso experimento. Batista et al. (2013), trabalhando em campo com parcelas nas mesmas dimensões, desenvolveram modelos para estimativa da velocidade de propagação, com coeficientes de determinação de 0,82 a 0,87 para povoamentos de *Pinus elliottii*.

Beutling (2009), obteve modelos para estimar a velocidade de propagação com coeficientes de determinação de 0,53 a 0,76 em ensaios laboratoriais com acículas de *Pinus spp.* Baeza et al. (2002), em queimas de pastagem realizadas em Valencia no Leste da Espanha, em parcelas de 33 x 33 m, na primavera e no outono, encontraram coeficientes de 0,48. Beutling (2009), em experimentos de campo sobre povoamentos de pinus encontrou-se coeficiente de determinação de 0,87. Desse modo, diversas são as pesquisas que têm sido realizadas tentando encontrar um modelo ideal para descrever a velocidade de propagação do fogo para cada condição.

#### **4.4.3 Intensidade do fogo**

Na tabela 15, estão apresentados os modelos gerais de regressão desenvolvidos para estimativa da intensidade do fogo de acordo com o banco de dados analisados (Geral, Duere, Gurupi I e Gurupi II).

Tabela 17. Modelos de estimativa de intensidade do fogo com base nas variáveis meteorológicas e de material combustível.

Banco de dados	Modelo (s)	R <sup>2</sup> adj	S <sub>yx</sub> %
Geral	-1.880, + 132,44*Período + 6,94*UR + 47,84*Temp	0,13	192%
Geral	-705,06 + 29,04*Temp + 267,63*MCA <sub>I</sub> -72,54*MCA <sub>II</sub>	0,62	127%
Geral	-47,30 + 159,06*MCA <sub>I</sub>	0,51	144%
Dueré	-878,66 + -14,81*Período + 46,73*VV + 6,80*UR + 15,40*Temp	0,60	74%
Gurupi I	1034,68 + 444,10*Período + -25,94*UR	0,27	81%
Gurupi I	-4978,57 + 290,70*Período -728,43*VV + 132,73*Temp + 2117,27*U% <sub>I</sub> + 527,39*MCA <sub>I</sub> - 161,19*MCA	0,81	41%
Gurupi II	43,05 + -0,74*UR	0,30	69%

Legenda: TEMP: Temperatura do ar no início da queima, MCA<sub>I</sub>: Biomassa material combustível vivo, MCA<sub>II</sub>: Biomassa material combustível morto, Período: horário em que foram divididas as queimas; VV: Velocidade média do vento durante a queima da parcela; UR: Umidade relativa do ar no início da queima; MCA<sub>I/II</sub>: Biomassa do material combustível vivo e morto, U%<sub>I</sub>: Umidade combustível vivo, , MCA: Biomassa do material combustível antes da queima; R<sup>2</sup>adj: Coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub>%; Erro padrão da Estimativa em porcentagem.

Os modelos com melhor ajuste para estimativa da intensidade do fogo apresentaram coeficientes de determinação de 0,62 (Geral), 0,60 (Dueré) e 0,81 (Gurupi I), de acordo as variáveis de temperatura do ar (TEMP), Umidade Relativa (UR) velocidade do vento (VV) e variáveis de material combustível mais presentes nos modelos ajustados. Trabalhos realizados nas savanas da África, em três áreas diferentes de os principais ecossistemas de savana senegalesa, foi ajustado um modelo para intensidade do fogo com coeficiente de determinação de 0,54, em que os autores relatam que as variáveis que mais afetaram foram a carga de combustível, velocidade do vento e a cobertura do capim (SOW et al., 2013).

Com relação à intensidade do fogo, Schmidt et al. (2016), em vegetação do Cerrado entre maio e julho de 2014, ajustaram modelos com coeficiente de determinação de 0,531 e 0,332. Trollope et al. (2002) em experimentos realizados na África em áreas de savanas e pastagem em estudos do comportamento do fogo e seus efeitos sobre o ecossistema no ano de 2002, ajustaram modelo com coeficiente de determinação de 0,600.

## 5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo foi possível apresentar as seguintes conclusões:

- Independente da vegetação, se observou que o percentual de carga de combustível morto é composto principalmente por material fino e gramínea, sendo uma das variáveis mais importantes em relação com a intensidade do fogo e a altura das chamas no cerrado.
- O material combustível fino  $<0,7\text{cm}$  e o material combustível lenhoso  $>0,7$  apresentaram maiores quantidades da carga total, sendo os valores do material morto sempre maiores em ambos os locais.
- Sobre o comportamento do fogo e as características para os períodos em que foram divididos do dia (manhã, tarde e noite), pode-se concluir uma propagação mais lenta em alguns locais Dueré e Gurupi II que ocorreu em função dos fatores meteorológicos e de combustível.
- As variáveis do comportamento do fogo apresentaram correlações significativas com as variáveis meteorológicas e de material combustível sendo a umidade relativa e temperatura com maiores influências, viabilizando o desenvolvimento de modelos matemáticos para estimativa do comportamento do fogo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A.P.A. Técnicas de medição da produção da pastagem para planejamento alimentar nos períodos de baixa e alta produção de forragem. In: Encontro terra nova de pecuária. **Anais...** São Jose do Rio Preto: Terra nova consultoria, Ed.5, 2002.

AMARAL, G.C.DO. **Metodologias para avaliação de produção das pastagens para bovinos em pastejo rotacionado**. Seminário apresentado como parte das exigências do Curso de Zootecnia Faculdade de Agronomia e Zootecnia de Uberaba, p.25, 2001.

ANDREWS, P.L. Behave: fire behavior prediction and fuel modeling system - **BURN subsystem**. Part 1. Ogden: USDA Forest Service, General Technical Report INT-194, p.130, 1986.

BAEZA, M.J.; LUIS, DE.; RAVENTÓS, J.; ESCARRÉ, A. Factors influencing fire behavior in shrublands of different stand ages and the implications for using prescribed burning to reduce wildfire risk. **Journal of Environmental Management**, v.65, p.199-208, 2002.

BATISTA, A.C. **Determinação de umidade do material combustível sob povoamentos de *Pinus taeda***. 61f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1984.

BATISTA, A.C. **Incêndios florestais**. Recife: UFRPE, p.115, 1990.

BATISTA, A.C. **Avaliação da queima controlada em povoamentos de *Pinus taeda* L. no norte do Paraná**. 108f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

BATISTA, A.C; BEUTLING, A; PEREIRA, J.F. Estimativa do comportamento do fogo em queimas experimentais sob povoamentos de *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, v.37, n.5, p 779-787, 2013.

BEAUFIT, W.R.; HARDY, C.E.; FISCHER, W.C. Broadcast burning. In **Larch-Fir clearcuts: the Miller creek-Newman ridge study**. U.S. Forest Service, Research Paper INT-175, p.53, 1975.

BEUTLING, A.; BATISTA, A.C.; SOARES, R.V.; VITORINO, M.D. Quantificação de material combustível superficial em reflorestamentos de *Araucaria Angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Floresta**, v.35, n.3, p. 465-472, 2005.

BEUTLING, A. **Modelagem do comportamento do fogo com base em experimentos laboratoriais e de campo**. 141f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BEUTLING, A.; BATISTA, A.C.; STOLLE, L.; TETTO, A.F.; ALVES, M.V.G. Caracterização e modelagem de material combustível superficial em povoamentos de *Pinus elliottii*. **Floresta**, v.42, n.3, p.443-452, 2012.

BIDWELL, T.G.; ENGLE, D. M.; CLAYPOOL, P.L. Effects of spring headfires and backfires on tallgrass prairie. **Journal of Range Management**, v.43, n.3, p.209-212, 1990.

BIDWELL, T. G.; ENGLE, D. M. Behavior of headfires and backfires on tallgrass prairie. In: International symposium fire and environment: ecological and cultural perspectives. **Annals...** Knoxville, USDA Forest Service, p.344-350, 1991.

BILGILI, E.; SAGLAM, B. Fire behavior in maquis fuels in Turkey. **Forest Ecology and Management**, v.184, p.201-207, 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Amazônia sem fogo: programa de formação técnica sobre as alternativas ao uso do fogo no desenvolvimento sustentável da Região Amazônica**. Módulo IV- Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais, 2008.

BRASIL; Ministério do Meio Ambiente-MMA; Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade –ICMBio. **Manual para formação de brigadista de prevenção e combate aos incêndios florestais**. Brasília, p.90, 2010.

BROWN, A. A.; DAVIS, K.P. **Forest fire: control and use**. 2<sup>o</sup> ed. New York, McGraw-Hill Boo Company, p.686, 1973.

BROWN, J. K.; OBERHEU, R. D.; JOHNSTON, C. M. **Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the interior west**. US Department of Agriculture – Forest Service, 1982.

BURGAN, R. E.; ROTHERMEL, R. C. Behave: fire behavior prediction and fuel modeling system - **FUEL subsystem**. Ogden: USDA Forest Service, General Technical Report INT-167, p.126, 1984.

BYRAM, G. M. Combustion of forest fuels. In: DAVIS, K. P. (ed.). **Forest fire: control and use**. New York, Mc Graw Hill, p.77-84, 1959.

CÂNDIDO, J.; COUTO, E. A. **Incêndios florestais**. Universidade Federal de Viçosa/ Minas Gerais, p.101,1980.

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 Biology**, v.14, p.263-283, 1998.

CATCHPOLE, W. R. et al. Cooperative development of equations for heathland fire behaviour. In: VIEGAS, D. X., ed. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOREST FIRE RESEARCH, 3, **Luso Proceedings**, Coimbra: University of Coimbra, p.631-645, 1998.

CHANDLER, C.; CHENEY, P.; THOMAS, P.; TRABAUD, L; WILLIAMS, D. **Fire in forestry: forest fire behavior and effects**. New York: Wiley & Sons, v.1, p.450, 1983.

COCHRANE, M.A. Fire science for rainforests. **Nature**, v.42, p.913-919, 2003.

COSER, A.C.; MARTINS, C.E.; ALVIM, M.J.; TEIXEIRA, F.V. Altura da planta e cobertura do solo como estimadores da produção de forragem em pastagem de capim- elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.4, p.676-680, 1998.

COSER, A.C.; MARTINS, C.E.; CARVALHO, C.A.B.; GERONIMO, O.J.; FREITAS, V.P.; SALVATI, J.A. Avaliação de metodologias para estimativa da disponibilidade de forragem em pastagem de capim- elefante. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.26, n.3, p.589-597, 2002.

COUTINHO, L.M. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: Goldammer, J.G. (Ed.). **Fire in the tropical biota**, p.85-105, 1990.

CUNHA, W.F. **Métodos indiretos para estimativa de massa de forragem em pastagens de *Cynodon spp.*** 71f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, 2002.

ESPAÑA. Ministério del Medio Ambiente. **Manual para Jefes de Brigadas Forestales**. Agencia Colombiana de Cooperacion Internacional. 2001.

FELFILI, J.M.; FAGG, C.W. Floristic composition, diversity and structure of the "Cerrado" sensu stricto on rocky soils in northern Goiás and southern Tocantins, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.30, p.375-385, 2007.

FERNANDES, P. Fire spread prediction in shrub fuels in Portugal. **Forest Ecology and Management**, v.144, n.1, p.67-74, 2001.

FERNANDES, P.; BOTELHO, H.; LOUREIRO, C. **Manual de formação para a técnica do fogo controlado**. Vila Real: UTAD, p.144, 2002.

FERNANDES, P.; LOUREIRO, C. A.; BOTELHO, H. S. Fire behavior and severity in a maritime pine stand under differing fuel conditions. **Annals of Forest Science**, v.61, p.537-544, 2004.

FERNANDES, P.; LOUREIRO, C. **Handbook to plan and use prescribed burning in Europe**. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real-Portugal, p.37, 2010.

FERNÁNDEZ, C.; VEGA, J. A.; FONTURBEL, T. Shrub resprouting response after fuel reduction treatments: comparison of prescribed burning, clearing and mastication. **Journal of Environmental Management**, v.117, p.235- 241, 2013.

FERRAZ-VICENTINI, K.R. **História do fogo no Cerrado: uma análise palinológica**. 207f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

FIDELIS, A.T.; GODOY, S.A.P. Estrutura de um Cerrado *stricto sensu* na Gleba Cerrado Pé-de-Gigante, Santa Rita do Passa Quatro. **Acta Bot. Bras**, v.7, n.4, p.531-539, 2003.

FIDELIS, A.; DELGADO-CARTAY, M.D.; BLANCO, C.C.; MÜLLER, C.S.; PILLAR, V.D.; PFADENHAUER, J. Fire intensity and severity in brazilian campos grassland. **Interciencia**, v.35, n.10, p.739-745, 2010.

FIEDLER, N.C.; AZEVEDO, I.N.C.; RESENDE, A.V.; MEDEIROS, M.B.; VENTUROLI, F. Efeito de incêndios florestais na estrutura e composição florística de uma área de cerrado sensu stricto na Fazenda Água Limpa - DF. **Revista Árvore**, v.28, p.129-138, 2004.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **State of the world's forests**. Romr, p.60, 2012.

FRAME, J. Herbage mass. In: HODGSON, J.; BAKER, R.D.; DAVIES, A.; LAIDLAW, A.S.; LEAVER, J.D (Eds), **Sward mensurament handbook**. Berkshire, UK. Cap.3, p.39-67, 1981.

FREIRE, S.; CARRÃO, H.; CAETANO, M.R. Produção de cartografia de risco de incêndio florestal com recurso a imagens de satélite e dados auxiliares. **Instituto Geográfico Português**, Lisboa, Portugal, p.15, 2004.

FROST, P.H.G.; ROBERTSON, F. The ecological effects of fire in savannas. In B.H. Walker (Ed.). **Determinants of Tropical Savannas**, Oxford, p.93-141, 1987.

GARDNER, A.L. Técnicas de pesquisa em pastagens e aplicabilidade de resultados em sistemas de produção. **INCA/EMBRAPA**, v.1, p.197, 1986.

GOULD, J.S. Evaluation of McArthur's control burning guide in regrowth Eucalyptus sieberi forest. **Australian Forestry**, v.57, n.2, p.86-93, 1994.

GOULD, J.S.; McCAW, W.L.; CHENEY, N.P. Quantifying fine fuel dynamics and structure in dry eucalypt forest (*Eucalyptus marginata*) in western Australia for fire management. **Forest Ecology and Management**, v.262, p.531-546, 2011.

GUEDES, D.M. **Resistência das árvores do cerrado ao fogo: papel da casca como isolante térmico**. 99f. Dissertação (Mestrado em ecologia). Universidade de Brasília. Brasília, DF, 1993.

GRODZKI, L. **Efeitos do fogo sobre variáveis micrometeorológicas em uma floresta de bracatinga (*Mimosa scabrella*, Benth) manejada sob o sistema agroflorestal em Colombo, PR**. 130f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

HARDESTY, J.; MYERS, R.; FULKS, W. **Fire ecosystems, and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue**. The George Wright Forum, p.78-87, 2005.

HIGGINS, S.I.; BOND, W.J.; TROLLOPE, W.S.W. Fire, resprouting and variability: a recipe for grass-tree coexistence in savanna. **Journal of Ecology**, v.88, p. 213-229, 2000.

HODGSON, J., MATTHEW, C., HARRINGTON, K.C. Pasture measurement. In: HODGSON, J.; WHITHE, J.; **Pasture and crop science**. Auckland, New Zeland, OXFORD, p. 59-66, 2000.

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.

HOFFMANN, W.A. Post-establishment seedling success in the Brazilian Cerrado: A comparison of savanna and forest species. **Biotropica**, v.32, p.62-69, 2000.

HOFFMANN, W.A.; MOREIRA, A.G. The role of fire in population dynamics of woody plants. In: Oliveira, P.S.; Marquis, R.J. (Eds.). **Cerrados of Brazil**. New York, Columbia University Press, p.159-177, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Ecosistemas brasileiros**. Brasília: Edições IBAMA, p.49, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA- IBGE. **Cidades@**. IBGE: Brasília-DF, 2016. Disponível em <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=17&search=tocantins>. Acesso em: 16 mar. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Brasil registra 65% a mais de queimadas em 2016**. 2016. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2016/08/brasil-registra-65-a-mais-de-queimadas-em-2016>. Acesso em: 12 abr. 2017.

JOHNSON, E.A.; MIYANISHI, K. **Forest Fires: Behavior and ecological effects**. New York, Academic Press, p.594, 2001.

KAUFFMAN, J.B.; CUMMINGS, D.L.; WARD, D.E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. **The Journal of Ecology**, v.82, p. 519-531, 1994.

KIER, G.; MUTKE, J.; DINERSTEIN, E.; RICKETTS, T.H.; KUPER, W.; KREFT, H.; BARTHLOTT, W. Global patterns of plant diversity and floristic knowledge. **Journal of Biogeography**, v.32, p.1107-1116, 2005.

KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v.19, p.707-713, 2005.

KÜÇÜK, O.; BILGILI, E.; SAGLAM, B.; BAŞKAYA, S.; DINC DURMAZ, B. Some parameters affecting fire behavior in Anatolian Black Pine Slash. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.32, n.1, p. 121-129, 2008.

KUNST, C.; LEDESMA, R.; BRAVO, S.; DEFOSSÉ, G.; GODOY, J.; NAVARRETE, V. Fire behavior in an ecotonal grassland of the Chaco region, Argentina. **RIA: Revista de Investi-gaciones Agropecuarias**, v.38, n.1, p.4-9, 2012.

LAZIA, B. **Saiba como as condições climáticas interferem em incêndios florestais.** 2012. Portal Agropecuário. Disponível em: <http://www.portalagropecuario.com.br/meio-ambiente/saiba-como-as-condicoes-climaticas-interferem-em-incendios-florestais/> Acesso em: 07 Mar. 2017.

LEVINE, J.S. Biomass burning in South America, Southeast Asia, and temperate and boreal ecosystems, and the oil fires of Kuwait. **Biomass burning and global change**, Cambridge, v.2, p.561-568, 1996.

LORO, L.V. de; HIRAMATSU, N.A. Comportamento do fogo, em condições de laboratório, em combustíveis provenientes de um povoamento de (*Pinus elliottii* L.). **Floresta**, v.34, p.127-130, 2004.

MANNETJE, L.´t. Measuring biomass of grassland vegetation. In: MANNETJE, L.´t. **Measurement of grassland vegetation and animal production**. Berkshire, CAB International, cap.4, p. 63-95, 1987.

MANNETJE, L.´t. Measuring biomass of grassland vegetation. In: MANNETJE, L.´t.; JONES, R.M. **Field and laboratory methods for grassland and animal production research**. CABI Publishing, CAB International, Wallingford, UK, Cap.7, p.151-177, 2000.

MCARTHUR, A.G. Control burning in eucalypt forest. **Canberra: Commonwealth of Australia Forestry and Timber Bureau**, Leaflet n.80, p.33, 1962.

MCARTHUR, A.G.; CHENEY, N.P. The characterization of fire in relation to ecological studies. **Australian Forest Research**, East Melbourne, n.3, v.2, p 36-45, 1966.

MCARTHUR, A. G. Fire behavior in eucalypt forest. **Canberra: Commonwealth of Australia Forestry and Timber Bureau**, Leaflet n.107, v.107, p. 36, 1967.

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

MELO, L.A.M.N.; SOARES, R.V.; SIQUEIRA, J:D.P.; KIRCHNER, F.F Modelagem do combustível florestal no Parque Nacional do Iguaçu, PR, Brasil. **Floresta**, v.36, n. 3, p. 415-424, 2006.

MENDES-LOPES, J. M. C.; VENTURA, J. M. P.; AMARAL, J. M. P. Flame characteristics, temperature-time curves, and rate of spread in fire propagating in a bed of *Pinus pinaster* needles. **International Journal of Wildland Fire**, v.12, n.1, p.67-84, 2003.

MENDONÇA, R.C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E. N. Flora vascular do Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Eds), **Cerrado: ambiente e flora**. Embrapa: Cerrados, p. 287-556, 1998.

MENDOÇA, R.C.; FELFILI, J.M.; WALTER, B.M.T.; SILVA-JUNIOR, M. C. Flora vascular do Bioma Cerrado: Checklist com 12.356 espécies. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. (Eds) **Cerrado: ecologia e flora**, Embrapa Cerrados, p 423-1279, 2008.

MÉXICO. Norma Oficial Mexicana, NOM-015-SEMARNAT-SAGARPA de 13 de Julio de 2007, Que establece las especificaciones técnicas de métodos de uso del fuego en los terrenos forestales y en los terrenos de uso agropecuario. **Diario Oficial de la Federación**. México, D.F., 2007.

MIRANDA, H. S.; ROCHA E SILVA, E. P.; MIRANDA, A. C. Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo. In: MIRANDA, H. S.; SAITO, C. H.; DIAS, B. F. de S. (Org.) **Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga**. Brasília: UnB - ECL, p.1-10, 1996.

MOLEIRO, P, M. **Análise do perigo de incêndio em municípios do estado de mato grosso por meio da fórmula de monte alegre**. 103f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, 2007.

MOTTA, D.S. **Identificação dos fatores que influenciam no comportamento do fogo em incêndios florestais**. 32 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

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

NATIONAL WEATHER SERVICE. **The Beaufort wind force scale**. 2002. Disponível em: <<http://www.crh.noaa.gov/lot/webpage/beaufort>>. Acesso em: 29 mar. 2017.

OTTMAR, R. D.; VIHANEK, R. E. MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; ANDRADE, S. M. A. **Stereo photo series for quantifying cerrado fuels in central Brazil** - volume I. Brasília, USDA - UNB, 2001.

NUNES, J. R. S, SOARES, R. V; BATISTA, A. C. Estimativa da umidade relativa das 13:00 h, com base nos dados das 9:00 h e das 15:00 h, para o estado do Paraná. **Revista Floresta**, v. 35, n. 2 p. 247 – 258, 2005.

PEDREIRA, C.G. S, Avanços metodológicos na avaliação de pastagens. IN: Reuniao Anula da sociedade Brasileira de Zootecnia, **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Zootecnia, v.39, p.100-150, 2002.

PEREIRA, J. F. **Comportamento do fogo em função da FMA+ em queimas prescritas sob povoamentos de *Pinus taeda* L.** 115f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

PIVELLO, V. R. **An expert system for the use of prescribed fires in the management of Brazilian savannas**. 238f. Tese (PhD in Ecology). Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London, 1992.

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, n.4, p.487-497,1992.

PIVELLO, V.R. **Estudos para a conservação dos recursos biológicos do cerrado – e exemplo da “Gleba Cerrado Pé-de-gigante” (Parque Estadual de Vassununga, Santa Rita do Passo Quatro, SP)**. 107f. Tese (Livre-Docência) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2003.

PIVELLO, V.R.; OLIVERAS, I; MIRANDA, H.S.; HARIDASAN, M.; SATO, M.N.; MEIRELLES, S.T. Effect of fires on soil nutrient availability in an open savanna in Central Brazil. **Plant and Soil**, v.337, n.1, p.111-123, 2010.

PIVELLO, V.R. The use fire in the Cerrado and Amazonian rainforest of Brazil: Past and Present. **Fire Ecology**, v.7, p.24 -39, 2011.

RAMOS-NETO, M.B.; PIVELLO, V.R. Lightning fires in a Brazilian savanna National Park: rethinking management strategies. **Environmental Management**, v.26, p.675-684, 2000.

RIBEIRO, G. A. **Estudo do comportamento do fogo e de alguns efeitos da queima controlada em povoamentos de *Eucalyptus viminalis* Labill em Três Barras, Santa Catarina**. 145f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Eds.), **Cerrado: ambiente e flora**, EMBRAPA – CPAC, Planaltina, p.89-166, 1998.

RIBEIRO, A.R.; BONFIM, V.R. Incêndio florestal x queimada. **Revista Ação Ambiental**, Viçosa, v.2, n.12, p.8-11, 2000.

RIBEIRO, G.A.; LIMA, G.S.; OLIVEIRA, A.L.S.; CAMARGOS, V.L.; MAGALHÃES, M.U. Eficiência de um retardante de longa duração na redução da propagação do fogo. **Revista Árvore**, v.30, n. 6, p.1025-1031, 2006.

RIBEIRO, N.S.; SHUGART, H.H.; SWAP, R.J; OKIN, G.S. Five-years period of fire regime in the Miombo woodlands of Niassa Reserve, Mozambique. **International Journal of Wildland Fire**, p. 101-103, 2008.

RIBEIRO, T. O. **Quantificação do material combustível superficial em unidade de conservação no semiárido da Paraíba**. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2010.

RISSI, M.N. **Efeito da época da queima na dinâmica de campo sujo de Cerrado**. 141 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2016.

ROSSITER, N.A.; SETTERFIELD, S.A.; DOUGLAS, M.M.; HUTLEY, L.B. Testing the grass-fire cycle: alien grass invasion in the tropical savannas of northern Australia. **Diversity and Distributions**, v.9, p.169-176, 2003.

ROTHERMEL, R. C.; DEEMING, J. E. **Measuring and interpreting fire behavior for correlation with fire effects**. Gen. Tech. Report INT-93. Ogden, UT, USDA Forest Service, Int. Forest and Range Exp. Station, p.4, 1980.

SANTOS, M.V.F. **Métodos agronômicos para estimativa de consumo e de disponibilidade de forragem na Zona da Mata Viçosa**. 155f. Tese (Doutorado em Zootecnia) Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 1997.

SANTOS, J. F. **Estatísticas de incêndios florestais em áreas protegidas no período de 1998 a 2002**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SARMIENTO, G.; MONASTERIO, M.A. critical consideration of the environmental conditions associated with the occurrence of savanna ecosystem in tropical America. In: GOLLEY, F. B.; MEDINA, E., **Tropical Ecological Systems**, p. 223-250, 1975.

SCHEIDER, B.H.; BELL, D. T.A simple, effective technique for rapid measurement of fuels in low shrub communities. **Australian Forest Research**, v.15, n. 1, p. 84 - 92 1985.

SCHMIDT, I.B.; FONSECA, C.B.; FERREIRA, M.C.; SATO M.N.; Implementação do programa piloto de manejo integrado do fogo em três Unidades de Conservação do Cerrado **Biodiversidade Brasileiro**, v.6, p.55-70, 2016.

SHAW, N.H.; MANNETJE, L. ´t.; JONES, R.M. Pasture mensuraments, In: MANNETJE, L. ´t. **Mensurament or grassland vegetation and animal production**. Berkshire: CAB international. v.10, p.63-95, 1987.

SILVA, J.M.C.; BATES, J.M. Biogeographic Patterns and Conservation in the South American Cerrado: A Tropical Savanna Hotspot. **BioScience**, v.52, n.3, p.225-233, 2002.

SILVA MARINHO, M. **Efeito do fogo anual na mortalidade e no banco de sementes de *Andropogon gayanus* (Kunth) e *Melinis minutiflora* (Beauv) no Parque Nacional de Brasília**. 85f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SILVEIRA, E.D. **Florística e estrutura da vegetação de cerrado *sensu stricto* em terra indígena no noroeste do Estado de Mato Grosso**. 62f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2010.

SISTEMA NACIONAL DE PREVENÇÃO E COMBATE AOS INCÊNDIOS FLORESTAIS. **Diferença entre incêndio e queimada**. 2013. Disponível em: <http://prevfogofloresta.blogspot.com.br/2013/07/diferenca-entre-incendio-e-queimada.html> Acesso em: 02 mar. 2017.

SOARES, R.V. Determinação da quantidade de material combustível acumulado em plantios de *Pinus spp* na região de Sacramento (MG). **Revista Floresta**, Curitiba, v. 10, n.1, p.48-62, 1979.

SOARES, R.V. **Incêndios Florestais: Controle e uso do fogo**. Curitiba, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, p.213, 1985.

SOARES, R. V. Queimas controladas: prós e contras. In: I Fórum Nacional e III Reunião Técnica Conjunta IPEF/FUPEF/SIF sobre Incêndios florestais. **Anais...** Piracicaba, SP. v.1, p.06-10, 1995.

SOARES, R.V.; BATISTA, A.C. **Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba, p.250, 2007.

SOLBRIG, O.T; MEDINA, E.; SILVA, J. F. Determinants of tropical savannas. In: O.T. Solbrig, E. Medina & J.F. Silva (ed) **Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes** – A Global Perspective. Ecological Studies v.121. Springer – Verlag, 1996.

SOUZA, L.J.B. **Secagem de material combustível em plantações de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden**. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

SOUZA, L.J.B.; SOARES, R.V.; BATISTA, A.C. Modelagem de material combustível em plantações de *Pinus taeda* no norte de Santa Catarina. **Floresta**, v.33, n.2, p.157-168, 2003.

SOW, M.; HÉLY, C.; MBOW, C.; SAMBOU, B. Fuel and fire behavior analysis for early-season prescribed fire planning in Sudanian and Sahelian savannas. **Journal of Arid Environments**, v.89, p.84-93, 2013.

TRABAUD, L. Apport des etudes ecologiques dans la lute contre le feu. **Revue Forestiere Française**, p.140-153, 1974.

TROLLOPE, W.S.W.; TROLLOPE, L.A.; HARTNETT, D.C. **Fire behaviour a key factor in the fire ecology of african grasslands and savannas**. Millpress. Rotterdam, Holland. p.1-17, 2002.

USDA. **Fire management response to wildfires in Mexico**. Disponível em: <https://www.fs.fed.us/about-agency/international-programs> Acesso em: 08 mar. 2017.

VASCONCELOS, H.L.; PACHECO, R.; SILVA, R.C.; VASCONCELOS, P.B.; LOPES, C.T.; COSTA, A.L.; BRUNA, E.M. Dynamics of the leaf-litter arthropod fauna following fire in a Neotropical Woodland Savanna. **PLoS ONE**, v.4, n.11, p.1-9, 2009.

VEGA, J.A.; CUIÑAS, P.; FONTÚRBEL, T.; PÉREZ-GOROSTIAGA, P.; FERNÁNDEZ, C. Predicting fire behaviour in Galician (NW Spain) shrubland fuel complexes. In: VIEGAS, D.X. (Ed.), **Proc. 3rd Int. Conf. Forest Fire Research & 14th Fire and Forest Meteorology**. Conf. ADAI, Coimbra, p.713-728, 1998.

WOODWARD, S.L. **Introduction to biomes**. Greenwood, Westport. 2008.

## APENDICE I

### MEDIDAS DE SEGURANÇA PARA REALIZAÇÃO DA QUEIMA

A queimas das parcelas foi iniciada sempre a partir das 07:00 horas até 20:00 horas, horário mais adequado para a realização das queimas e quando as condições climáticas na área eram as mais favoráveis. Para evitar o alastramento do fogo no entorno das parcelas foram feitos aceiros, sendo que na área Gurupi I foi de 5 m (pela altura do *Andropogon*); na área Gurupi II de 2 metros e; em Dueré, com 1 metro de aceiro entre as parcelas. Ainda, foram feitos aceiros de 3 a 5 metros de largura ao redor de cada uma das áreas.

Além dessa prevenção, equipes de apoio composta por estagiários e colaboradores do Centro Monitoramento Ambiental e Manejo do Fogo (CeMAF) acompanharam os experimentos, ficando sempre alertas para entrar em ação com os equipamentos manuais de combate a incêndios florestais para não ocorrer perda do controle do fogo.

