

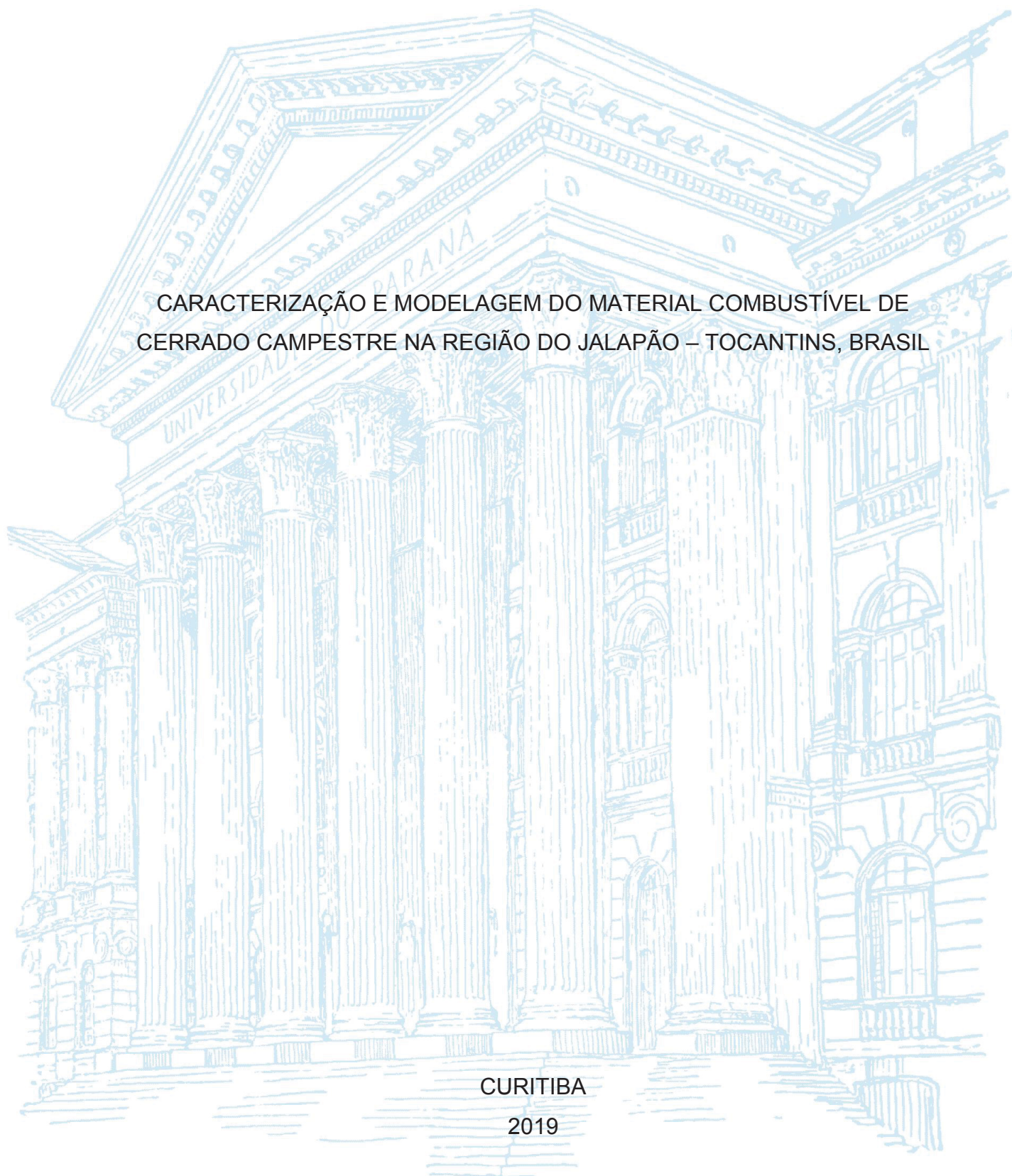
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MICAEL MOREIRA SANTOS

CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DO MATERIAL COMBUSTÍVEL DE  
CERRADO CAMPESTRE NA REGIÃO DO JALAPÃO – TOCANTINS, BRASIL

CURITIBA

2019



MICAEL MOREIRA SANTOS

CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DO MATERIAL COMBUSTÍVEL DE  
CERRADO CAMPESTRE NA REGIÃO DO JALAPÃO – TOCANTINS, BRASIL

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Batista  
Coorientador: Prof. Dr. Marcos Giongo

CURITIBA

2019

Ficha catalográfica elaborada pela  
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Santos, Micael Moreira

Caracterização e modelagem do material combustível de cerrado  
campestre na região do Jalapão – Tocantins, Brasil / Micael Moreira  
Santos. – Curitiba, 2019.  
85 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Batista

Coorientador: Prof. Dr. Marcos Giongo

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de  
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.  
Defesa: Curitiba, 28/02/2019.

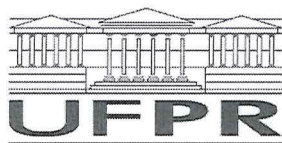
Área de concentração: Conservação da Natureza.

1. Incêndios florestais – Prevenção e controle - Tocantins. 2. Resíduos  
como combustível. 3. Cerrados - Tocantins. 4. Resíduos como combustível  
– Umidade. 5. Teses. I. Batista, Antonio Carlos. II. Giongo, Marcos. III.  
Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.43(811.7)

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRARIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA  
FLORESTAL - 40001016015P0

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **MICAEL MOREIRA SANTOS** intitulada: **CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DO MATERIAL COMBUSTÍVEL DE CERRADO CAMPESTRE NA REGIÃO DO JALAPÃO - TOCANTINS, BRASIL**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Fevereiro de 2019.



ANTONIO CARLOS BATISTA  
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)



ALEXANDRE BEUTLING  
Avaliador Externo (UFMS)



ALEXANDRE FRANÇA TETTO  
Avaliador Interno (UFPR)



## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pelas infinitas bênçãos e por toda a sabedoria a mim outorgada durante toda minha vida acadêmica.

Aos meus pais, Orcina Moreira da Cruz Santos e Lindomar Rumão dos Santos pelo apoio, sustento e atenção a mim concedido em todos os momentos da minha vida, e a minha irmã Milena Moreira Santos pela companhia e irmandade. Amo vocês.

À minha esposa Thyeirly Winny dos Santos Silva Moreira e sua família, que sempre esteve ao meu lado me apoiando, amando, confortando e me ajudando a enfrentar os momentos difíceis. Te amo.

A todos os familiares e amigos, que fizeram parte da minha vida e me apoiaram até aqui. Muito obrigado.

Ao meu Orientador, professor Dr. Antonio Carlos Batista pela ampla atenção, pelos ensinamentos e orientações durante a execução do meu trabalho de mestrado. Expresso aqui minha admiração pelo grande profissional que é. Muito obrigado.

Ao meu coorientador e amigo, professor Dr. Marcos Giongo, por todas as oportunidades a mim concedidas, aos ensinamentos e orientações, durante boa parte da minha graduação e na execução de meu mestrado. Grande parcela do meu conhecimento profissional, eu devo ao Sr. Muito obrigado por ser esse grande exemplo de profissional para minha pessoa.

Aos meus amigos e parceiros de trabalho Eduardo Ganassoli, Allan Deyvid e Jader Nunes Cachoeira, por todos as experiências e conhecimentos adquiridos nos trabalhos de campo realizados na ESEC, e pelo companheirismo no dia-a-dia das atividades do CeMAF. Muito obrigado.

A todos os integrantes do Centro de Monitoramento Ambiental e Manejo do Fogo (CeMAF).

Aos gestores da ESEC Serra Geral do Tocantins, Ana Carolina Sena Barradas, Marco Assis Borges e Máximo Menezes Costa, pela autorização e abertura das portas da estação ecológica e pelo amplo apoio no planejamento e execução dos trabalhos de campo. Muito obrigado.

Enfim, a todos que de alguma maneira, colaboraram e apoiaram na execução desta pesquisa, o meu MUITO OBRIGADO!!!

“O Senhor firma os passos de um homem, quando a conduta deste o agrada.

Ainda que tropece, não cairá, pois o Senhor o toma pela mão”.

Salmos 37:23-24

## RESUMO

O conhecimento da dinâmica e características do material combustível é de suma importância para as tomadas de decisão nas ações de prevenção e manejo do fogo, pois, representa um fator que é passível de controle pela ação humana. O presente estudo teve como objetivo geral realizar a caracterização e analisar a dinâmica do material combustível superficial de Cerrado campo sujo durante estação seca, bem como verificar as relações existentes entre seus parâmetros e entre variáveis meteorológicas para o ajuste de modelos, estabelecendo também a influência do tipo de combustível na eficiência da combustão. O experimento foi realizado na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (TO), durante estação seca (maio, junho, agosto e setembro), em áreas com diferentes períodos sem ocorrência de queima (PSQs) de 1 a 4 anos. Desta forma, foram estabelecidas 128 repetições designadas de unidade de amostragem de dados (UAD), nas quais foram instaladas através de sorteio 8 subamostragens de 0,25 m<sup>2</sup> para coleta de características destrutivas e não destrutivas. Nestas subamostras foram coletadas as seguintes variáveis: altura das herbáceas (Hth), altura da manta (Htm), o número de espécies (NDE) e a quantidade de indivíduos (QTI) como variáveis obtidas por método não destrutivo, e como características destrutivas a separação nas diferentes classes (*time-lag*) do material combustível: 1-h, 10-h, 100-h e 1000-h. Com relação à dinâmica da carga de combustível em áreas com diferentes períodos sem queima, o comportamento da carga de material combustível herbáceo morto (HM), em coletas realizadas nos dois primeiros meses da estação seca, foi o único que corroborou com a hipótese de diferentes incrementos nos distintos anos sem queima. A altura do estrato herbáceo se estabilizou a partir do PSQ 2 e o número de espécies diminuiu em áreas com maiores períodos sem queima e em coletas realizadas nos meses finais da estação seca. Quanto às relações entre as variáveis do material combustível, encontrou-se melhores correlações entre as variáveis de carga de material morto com as características não destrutivas do estudo, possibilitando então o ajuste de equações de regressão com R<sup>2</sup>aj variando de 0,12 a 0,73. Tendo em vista a não expressividade nas relações entre o conteúdo de umidade do combustível e as variáveis de temperatura e umidade relativa no momento das coletas, não foi possível elaborar modelos para estimativa do conteúdo de umidade do material combustível em função das variáveis meteorológicas avaliadas. A análise dos componentes principais possibilitou verificar a maior influência na taxa de consumo, após ocorrência de queima, da vegetação herbácea morta. Os resultados obtidos são informações de grande importância, servindo como subsídio para implementação de ações de manejo do fogo, que são frequentemente realizadas na região do Jalapão.

Palavras-chave: Carga do combustível. Manejo do combustível. Período sem queima. Umidade do combustível. Modelagem do combustível.

## ABSTRACT

The knowledge of the dynamics and characteristics of the combustible material is of paramount importance for decision-making in fire prevention and management actions since it is a factor that can be controlled by human action. The present study had the general objective of characterizing and analyzing the dynamics of the superficial combustible material of Cerrado field during the dry season, as well as to verify the existing relationships between its parameters and between meteorological variables for the adjustment of models, also establishing the influence of the type of fuel in the combustion efficiency. The experiment was carried out in the Serra Geral do Tocantins Ecological Station (TO) during the dry season (May, June, August and September) in areas with different periods without burning (PSQs) of 1 to 4 years. In this way, 128 replications were chosen, designated as a unit of data sampling (UAD), in which 8 sub-samples of 0.25 m<sup>2</sup> were collected through a draw for the collection of destructive and non-destructive characteristics. In these subsamples the following variables were collected: herbaceous height (Hth), litter height (Htm), number of species (NDE) and number of individuals (QTI) as variables obtained by non-destructive method, and as destructive characteristics separation in the different classes (time-lag) of the combustible material: 1-h, 10-h, 100-h and 1000-h. Regarding the dynamics of the fuel load in areas with different periods without burning, the behavior of the load of dead herbaceous combustible material (HM), in collections made in the first two months of the dry season, was the only one that corroborated with the hypothesis of different increments in the different years without burning. The height of the herbaceous stratum stabilized from the PSQ 2 and the number of species decreased in areas with higher periods without burning and in collections made in the final months of the dry season. As for the relationships between the variables of the combustible material, better correlations were found between the load variables of the dead material and the non-destructive characteristics of the study, allowing the adjustment of regression equations with R<sup>2</sup>aj ranging from 0.12 to 0.73. Considering the non-expressivity in the relationship between the fuel moisture content and the variables of temperature and relative humidity at the time of collection, it was not possible to elaborate models to estimate the moisture content of the combustible material as a function of the evaluated meteorological variables. The analysis of the main components made it possible to verify the greater influence on the rate of consumption, after burning, of the dead herbaceous vegetation. The results obtained are information of great importance, serving as a subsidy for the implementation of fire management actions, which are often carried out in the Jalapão region.

Keywords: Fuel load. Fuel management. Period without burning. Fuel moisture. Fuel modeling.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

FIGURA 1.1 -	ÁREA DE ESTUDO .....	22
FIGURA 1.2 -	VEGETAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO DEMONSTRANDO ÁREAS COM DIFERENTES PERÍODOS SEM OCORRÊNCIA DE QUEIMA .. .....	24
FIGURA 1.3 -	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL UTILIZADO PARA AS COLETAS DE MATERIAL COMBUSTÍVEL.....	25
FIGURA 1.4 -	AMOSTRAS DE MATERIAL COMBUSTÍVEL EM DIFERENTES IDADES.....	27
FIGURA 1.5 -	GRÁFICOS DE CAIXA REPRESENTANDO OS VALORES DAS INTERAÇÕES PARA ALTURA DAS HERBÁCEAS.....	30
FIGURA 1.6 -	GRÁFICOS DE CAIXA REPRESENTANDO OS VALORES DAS INTERAÇÕES PARA ALTURA DA MANTA .....	31
FIGURA 1.7 -	GRÁFICOS DE CAIXA REPRESENTANDO OS VALORES DAS INTERAÇÕES PARA O NÚMERO DE ESPÉCIES.....	32
FIGURA 1.8 -	GRÁFICOS DE CAIXA REPRESENTANDO OS VALORES DAS INTERAÇÕES PARA COMBUSTÍVEL HERBÁCEO VIVO.....	33
FIGURA 1.9 -	GRÁFICOS DE CAIXA REPRESENTANDO OS VALORES DAS INTERAÇÕES PARA COMBUSTÍVEL HERBÁCEO MORTO .....	33
FIGURA 1.10 -	GRÁFICOS DE CAIXA REPRESENTANDO OS VALORES DAS INTERAÇÕES PARA COMBUSTÍVEL LENHOSO MORTO DE 1-H... .....	34
FIGURA 1.11 -	GRÁFICOS DE CAIXA REPRESENTANDO OS VALORES DAS INTERAÇÕES PARA COMBUSTÍVEL TOTAL MORTO.....	35
FIGURA 1.12 -	GRÁFICOS DE CAIXA REPRESENTANDO OS VALORES DAS INTERAÇÕES PARA COMBUSTÍVEL TOTAL.....	36
FIGURA 1.13 -	GRÁFICOS DE CAIXAS COM VALORES MÉDIOS DE QUANTIDADE DE INDIVÍDUOS EM CADA PERÍODO SEM QUEIMA E MÊS DE COLETA .....	37
FIGURA 1.14 -	GRÁFICOS DE CAIXAS COM VALORES MÉDIOS DE COMBUSTÍVEL LENHOSO VIVO DE 1-H EM CADA PERÍODO SEM QUEIMA E MÊS DE COLETA.....	38

FIGURA 1.15 - GRÁFICOS DE CAIXAS COM VALORES MÉDIOS DE COMBUSTÍVEL TOTAL VIVO EM CADA PERÍODO SEM QUEIMA E MÊS DE COLETA.....	38
FIGURA 1.16 - BIPLOTS RELATIVOS À ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS UTILIZANDO AS CARACTERÍSTICAS DESTRUTIVAS E NÃO DESTRUTIVAS DE MATERIAL COMBUSTÍVEL .....	40
FIGURA 1.17 - GRÁFICOS DE BARRA COM AS PROPORÇÕES PARA CADA CLASSE DO COMBUSTÍVEL CONSIDERANDO O PERÍODO SEM QUEIMA E O MÊS DE COLETA.....	41

## **CAPÍTULO 2**

FIGURA 2.1 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DE CARGA DAS VARIÁVEIS DE COMBUSTÍVEL .....	63
FIGURA 2.2 - BILOT RELATIVO À ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS LEVANDO-SE EM CONSIDERAÇÃO O CONSUMO DE MATERIALCOMBUSTÍVEL .....	67

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

TABELA 1.1 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO DA UMIDADE DO COMBUSTÍVEL POR CLASSE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL.....	29
TABELA 1.2 - MÉDIAS DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR DURANTE AS COLETAS DE COMBUSTÍVEL.....	30

### CAPÍTULO 2

TABELA 2.1 - CORRELAÇÕES LINEARES DE ENTRE CARGA DO MATERIAL COMBUSTÍVEL E AS CARACTERÍSTICAS NÃO DESTRUTIVAS .	61
TABELA 2.2 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DE CARGA DE COMBUSTÍVEL.....	62
TABELA 2.3 - DESCRIÇÃO ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS OBTIDAS DO MOMENTO DAS COLETAS E DAS CLASSES DE COMBUSTÍVEL .....	65
TABELA 2.4 - CORRELAÇÕES ENTRE A UMIDADE DAS CLASSES DO COMBUSTÍVEL E AS VARIÁVEIS DE TEMPERATURA DO AR E UMIDADE RELATIVA .....	65

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

EESGT	- Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins
HV	- Combustível herbáceo vivo
HM	- Combustível herbáceo morto
PSQ	- Período sem queima
MCC	- Mês de coleta de combustível
UAD	- Unidade de amostragem de dados
PMC	- Parcela de material combustível
Hth	- Altura das herbáceas
Htm	- Altura da manta
QTI	- Quantidade de indivíduos
NDE	- Número de espécies
LV1	- Combustível lenhoso vivo de 1-h
LV2	- Combustível lenhoso vivo de 10-h
LV3	- Combustível lenhoso vivo de 100-h
LM1	- Combustível lenhoso morto de 1-h
LM2	- Combustível lenhoso morto de 10-h
LM3	- Combustível lenhoso morto de 100-h
TV	- Combustível total vivo
TM	- Combustível total morto
Total	- Combustível total
U%	- Umidade do combustível em porcentagem
CV%	- Coeficiente de variação percentual
COS	- Material combustível consumido
MR	- Material residual
R <sup>2</sup> aj	- Coeficiente de determinação ajustado
Sy <sub>x</sub>	- Erro padrão da estimativa absoluto
Sy <sub>x</sub> %	- Erro padrão da estimativa percentual
Dp	- Desvio padrão
Ep	- Erro padrão

## SUMÁRIO

	<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	15
	<b>CAPÍTULO 1 - CARACTERIZAÇÃO E DINÂMICA DE COMBUSTÍVEL SUPERFICIAL DE CERRADO CAMPESTRE NA REGIÃO DO JALAPÃO - TOCANTINS, BRASIL</b> .....	16
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	18
1.1	HIPÓTESES .....	19
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	21
2.1	OBJETIVO GERAL .....	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	22
3.1	ÁREA DE ESTUDO .....	22
3.2	TRATAMENTOS E PROCEDIMENTOS DE COLETA DAS VARIÁVEIS .....	23
3.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....	28
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	29
4.1	UMIDADE DO COMBUSTÍVEL .....	29
4.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS DE MATERIAL COMBUSTÍVEL .....	30
4.3	VARIÁVEIS QUE NÃO APRESENTARAM INTERAÇÃO .....	36
4.4	ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS .....	39
4.5	PROPORÇÕES DAS CLASSES DE MATERIAL COMBUSTÍVEL .....	40
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	42
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	46
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	47
	<b>CAPÍTULO 2 - RELAÇÕES E MODELAGEM DO MATERIAL COMBUSTÍVEL SUPERFICIAL DE CERRADO CAMPESTRE NA REGIÃO DO JALAPÃO - TOCANTINS, BRASIL</b> .....	51

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>53</b>
1.1	HIPÓTESES .....	55
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>57</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	57
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	57
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>58</b>
3.1	INFORMAÇÕES DE CONSUMO DO MATERIAL COMBUSTÍVEL .....	58
3.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....	59
3.2.1	Correlação e regressão entre as variáveis de material combustível .....	59
3.2.2	Relações das características do combustível e seu consumo pelo fogo .....	59
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>61</b>
4.1	RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS DO COMBUSTÍVEL .....	61
4.2	CORRELAÇÕES ENTRE UMIDADE DO COMBUSTÍVEL E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS .....	64
4.3	CONSUMO DE MATERIAL COMBUSTÍVEL .....	66
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>68</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>72</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>73</b>
	<b>APÊNDICE 1 – MÉDIAS DAS VARIÁVEIS DE MATERIAL COMBUSTÍVEL</b> .....	<b>76</b>
	<b>APÊNDICE 2 – FICHA DE MATERIAL COMBUSTÍVEL</b> .....	<b>77</b>
	<b>APÊNDICE 3 – FOTOGRAFIAS DAS ÁREAS COLETADAS NO MÊS DE MAIO</b> .....	<b>78</b>
	<b>APÊNDICE 4 - FOTOGRAFIAS DAS ÁREAS COLETADAS NO MÊS DE JUNHO</b> .....	<b>79</b>
	<b>APÊNDICE 5 - FOTOGRAFIAS DAS ÁREAS COLETADAS NO MÊS DE AGOSTO</b> .....	<b>80</b>

<b>APÊNDICE 6 - FOTOGRAFIAS DAS ÁREAS COLETADAS NO MÊS DE SETEMBRO .....</b>	<b>81</b>
<b>APÊNDICE 7 – FOTOGRAFIAS AÉREAS DAS ÁREAS DE AMOSTRAGEM .....</b>	<b>82</b>
<b>APÊNDICE 8 – MAPA CARTOGRÁFICO DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS .....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO 1 – MAPA DAS ÁREAS COM DIFERENTES PERÍODOS SEM OCORRÊNCIA DE QUEIMAS E INCÊNDIOS NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS .....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO 2 – FITOFISIONOMIAS DO CERRADO QUE OCORREM NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS .....</b>	<b>85</b>

## APRESENTAÇÃO

A dissertação está estruturada em dois capítulos com objetivos distintos. Os capítulos foram escritos em formato de artigo científico, os quais serão publicados em revistas da área da Engenharia Florestal. Desta forma, cada capítulo ficou estruturado com os seguintes itens: resumo; abstract; introdução e as hipóteses do estudo; objetivos gerais e específicos; material e métodos; resultados; discussão; conclusões e referências bibliográficas.

No capítulo 1, intitulado “Caracterização e dinâmica de combustível superficial de Cerrado campestre na região do Jalapão - Tocantins, Brasil”, é apresentado e discutido o primeiro objetivo da dissertação, que foi avaliar as características do combustível superficial, durante a estação seca, em áreas com diferentes períodos sem ocorrência de queima, localizadas em fitofisionomia campestre de Cerrado na região do Jalapão.

No capítulo 2, intitulado “Relações e modelagem do material combustível superficial de Cerrado campestre na região do Jalapão - Tocantins, Brasil”, o objetivo foi verificar as relações existentes entre as distintas variáveis de material combustível, para o desenvolvimento de modelos para a estimativa de carga e umidade do combustível, bem como, analisar as características intrínsecas do material combustível de maior influência no seu consumo pelo fogo, em área campestre de Cerrado, na região do Jalapão.

Espera-se com o presente estudo, o desenvolvimento de conhecimento técnico-científico, visando o melhor entendimento da dinâmica e das características do material combustível campestre do Cerrado, como subsídio para as tomadas de decisão nas ações do manejo integrado do fogo.

# CAPÍTULO 1 - CARACTERIZAÇÃO E DINÂMICA DE COMBUSTÍVEL SUPERFICIAL DE CERRADO CAMPESTRE NA REGIÃO DO JALAPÃO - TOCANTINS, BRASIL

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar as características do combustível superficial, durante a estação seca, em áreas com diferentes períodos sem ocorrência de queima, localizadas em fitofisionomia campestre de Cerrado na região do Jalapão. Para isso, foram realizadas coletas de material combustível em áreas com diferentes períodos sem ocorrência de queima (PSQ), no decorrer de quatro meses da estação seca (maio, junho, agosto e setembro). Foram estabelecidas 128 amostras denominadas de unidade de amostragem de dados (UAD), na qual, foram realizadas coletas de oito subamostragens designadas de parcelas de material combustível (PMC). Em cada PMC foram amostradas variáveis pelo método não destrutivo, tais como, a altura da vegetação herbácea (Hth), altura da manta (Htm), quantidade de espécies (NDE) e quantidade de indivíduos (QTI), além de variáveis amostradas pelo método destrutivo para obtenção de carga. A separação do combustível foi feita de acordo com o seu estado fisiológico e as diferentes classes de diâmetro (*time-lag*). A variável Hth atingiu seu maior porte e se estabilizou já no segundo ano pós-ocorrência de queima e quanto ao NDE observou-se redução na quantidade das áreas com quatro anos sem queima e no último mês da estação seca. O comportamento da carga do combustível herbáceo morto (HM), em coletas realizadas nos dois primeiros meses da estação seca, foi o único que corroborou com a hipótese de diferentes incrementos nos diferentes anos sem queima. Os resultados obtidos são de grande relevância para as ações de manejo do combustível campestre, realizado na região do Jalapão.

Palavras-chave: Variáveis do combustível. Período seco. Combustível acumulado. Classes diamétricas.

## **CHAPTER 1 - CHARACTERIZATION AND DINAMIC OF CAMPESTRAL CERRADO SURFACE FUEL IN JALAPÃO REGION – TOCANTINS, BRASIL**

### **ABSTRACT**

The present study had as objective to evaluate the characteristics of the surface fuel, during the dry season, in areas with different periods without the occurrence of burning, located in Cerrado field phytophysiology in the Jalapão region. For this, fuel samples were collected in areas with different periods without the occurrence of burning (PSQ) during the four months of the dry season (May, June, August, and September). 128 samples were denominated as unit of data sampling (UAD), in which samples were collected from eight sub-samples designated as fuel material plots (PMC). In each PMC, non-destructive variables such as height of herbaceous vegetation (Hth), litter height (Htm), number of species (NDE) and number of individuals (QTI) were sampled, as well as variables sampled by the method destructive to obtain load. The separation of the fuel was done according to its physiological state and the different time-lag classes. The Hth variable reached its greatest size and stabilized already in the second year post-burn, and in NDE a reduction in the number of areas with four years without burning and in the last month of the dry season was observed. The behavior of dead herbaceous fuel (HM), in the first two months of the dry season, was the only one that corroborated the hypothesis of different increases in the different years without burning. The results obtained are of great relevance for the rural fuel management actions carried out in the Jalapão region.

Keywords: Fuel variables. Dry season. Fuel load. Diameter classes.

## 1 INTRODUÇÃO

Apesar do combustível exercer considerável importância na ocorrência e propagação de incêndios florestais, as características do material combustível são temporal e espacialmente complexas (RICCARDI *et al.*, 2007; KEANE, 2013). Tais características são fatores determinantes da intensidade, propagação, duração e das proporções tomadas por um incêndio florestal, estando ainda diretamente associadas à quantidade e às mudanças dos padrões de emissões de gases pelos incêndios (GOODRICK; SHEA; BLAKE, 2010; GOULD; MCCAWE; CHENEY, 2011).

Além disso, Riccardi *et al.* (2007) relatam a importância do conhecimento das características dos combustíveis para o acesso às informações de estoque de carbono, enquanto Stephens; Collins e Roller (2012) destacam que a compreensão de características como a taxa de acúmulo de combustível é de significativa relevância para o entendimento da eficiência de tratamentos de redução da carga de combustível. No entanto, em razão do elevado tempo consumido e dos altos custos demandados (ARROYO; PASCUAL; MANZANERA, 2008), estudos com o objetivo de avaliar as características físicas dos combustíveis superficiais e suas variações temporais no Cerrado são considerados escassos.

O material combustível superficial, o qual representa a parcela de biomassa localizada numa escala vertical de até 2 metros acima do solo mineral (KEANE; GRAY; BACCIU, 2012) é dividido nos componentes: serapilheira, detritos lenhosos mortos de diversas classes de diâmetro (*time-lag* de 1-h, 10-h, 100-h e 1000-h), arbustos e vegetação herbácea classificada em combustíveis vivos e mortos. Ainda, os combustíveis podem ser descritos conforme seus atributos físicos, tais como: carga, profundidade, altura, densidade e quanto ao conteúdo de umidade (SCHROEDER; BUCK, 1970; BROWN; OBERHEU; JOHNSTON, 1982; KEANE, 2013).

Alguns estudos (e.g. VAN de WATER; NORTH, 2011; KEANE; GRAY; BACCIU, 2012), visam a descrição da variabilidade espacial das características do combustível, as diferentes estruturas e suas respectivas cargas bem como a sua influência no comportamento do fogo. Outras pesquisas, como as de Duff; Bell e York (2012) e Parresol; Blake e Thompson (2012), objetivaram a avaliação das relações entre composição e carga de combustível. Alguns trabalhos propõem o desenvolvimento de modelos de predição da taxa de distribuição, do comportamento

dos parâmetros conforme a idade do combustível (GOULD; MCCAWE; CHENEY, 2011), e estimativa de carga de combustível superficial de diferentes componentes em classes distintas (BATTAGLIA *et al.*, 2010; LYDERSEN *et al.*, 2015).

Em um dos poucos trabalhos em ambiente de savana do Cerrado, Hoffmann *et al.* (2012), buscaram quantificar a importância das características dos combustíveis e do microclima na determinação de mudanças no comportamento do fogo, onde a maior inflamabilidade esteve relacionada à presença de vegetação herbácea. Castro e Kauffman (1998) objetivaram determinar o gradiente de biomassa e massa radicular em diferentes fitofisionomias do Cerrado, antes e pós-fogo. Pivello *et al.* (2010), avaliaram os efeitos do fogo em diferentes regimes de queima em Cerrado campo sujo durante 18 anos, avaliando também a composição de combustível fino, e Conceição e Pivello (2011) quantificaram a biomassa vegetal aérea também em campo sujo, dois anos pós-queima.

Estudos envolvendo a quantificação de combustível e demais características pós-distúrbios por queimas ou incêndios florestais, bem como, o conhecimento da dinâmica durante diferentes meses do ano, são fundamentais para a realização de adequadas práticas de manejo do fogo (BATTAGLIA *et al.*, 2010; KEANE, 2013). Pode-se dizer que é praticamente nulo o conhecimento dessa dinâmica em fitofisionomias campestres do Cerrado, os quais exercem considerável influência na ocorrência de incêndios florestais (CASTRO; KAUFFMAN, 1998). Algumas exceções merecem destaque, como os estudos de Schmidt *et al.* (2017), que avaliaram o comportamento do fogo em vegetação de veredas, em áreas sem ocorrência de queimas por um período de dois anos no início e ao final da estação seca, e cinco anos pós-fogo, considerando a variação sazonal do material combustível.

## 1.1 HIPÓTESES

O presente estudo foi baseado nas seguintes hipóteses:

- (i) As características dos combustíveis em seus diferentes estados fisiológicos e classes, bem como nos distintos períodos sem ocorrência de queima, são diferentes entre si, em decorrência do acúmulo de combustível proporcionado ao longo dos anos;

- (ii) As características do combustível variam nos diferentes períodos da estação seca em função da variação da temperatura e umidade relativa do ar.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as características do material combustível superficial durante a estação seca, em áreas com diferentes períodos sem a ocorrência de queima, localizadas em fitofisionomia campestre de Cerrado na região do Jalapão.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

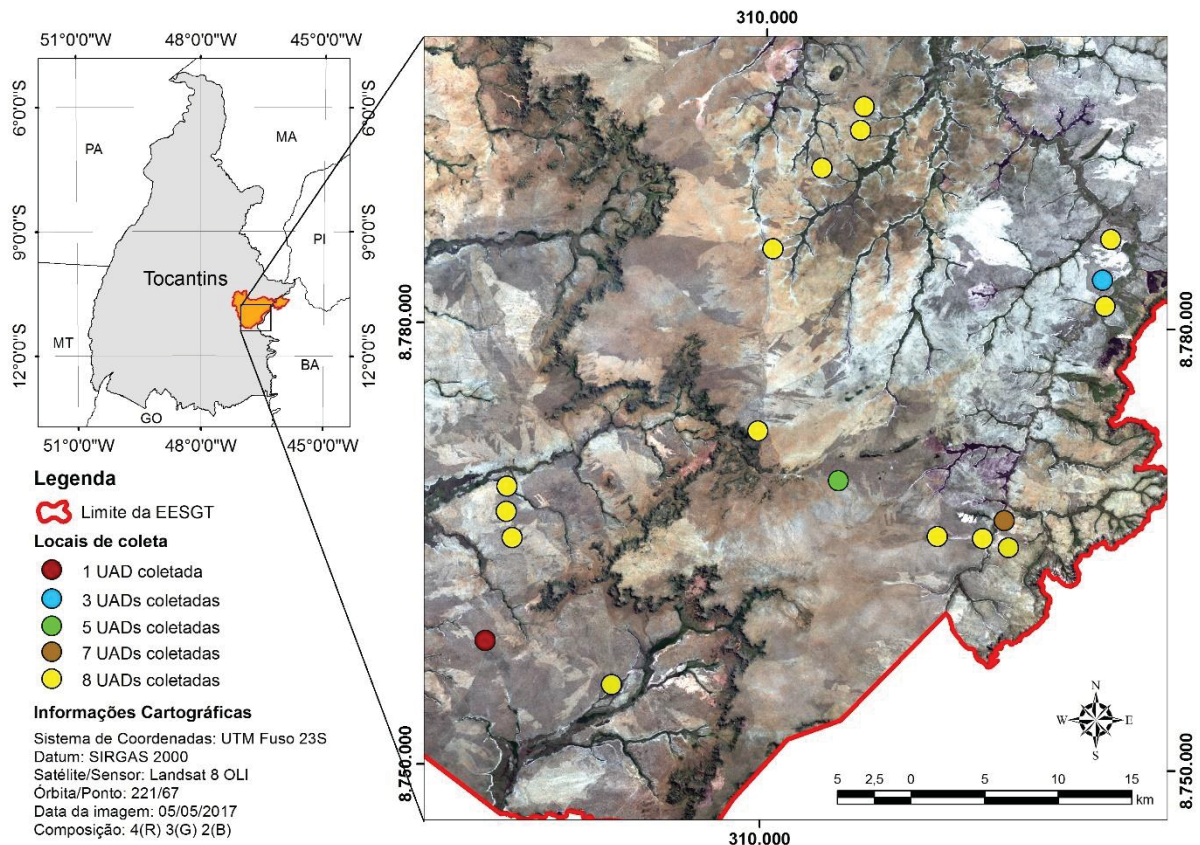
- (i) Avaliar as variações das características dos combustíveis - altura de herbáceas (Hth), altura da manta (Htm), número de espécies (NDE) e quantidade de indivíduos (QTI) - em função dos distintos períodos sem ocorrência de queima, bem como em função dos diferentes meses de coleta de combustível, durante a estação seca;
- (ii) Entender o comportamento da carga de combustível nas diferentes classes e estados fisiológicos, bem como suas interações entre as áreas com diferentes períodos sem queima e os diferentes meses de coleta de combustível durante a estação seca.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido na porção centro-sul da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT) (FIGURA 1.1). A EESGT é uma unidade de conservação de proteção integral, localizada no bioma Cerrado, na região do Jalapão, abrangendo uma área total de 716.306 ha em sua extensão. A Estação ecológica abrange os municípios de Almas, Mateiros, Ponte Alta e Rio da Conceição, pertencentes ao estado do Tocantins, e o município de Formosa do Rio Preto, pertencente ao estado da Bahia. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Aw (clima tropical de savana) com precipitação anual que varia de 1.400 a 1.500 mm (SEPLAN, 2012), sendo superior à evapotranspiração potencial anual. O verão é chuvoso e ocorre entre os meses de outubro a abril, e o inverno seco acontece de maio a setembro (ICMBIO, 2014).

FIGURA 1.1 - ÁREA DE ESTUDO



FONTE: O autor (2019).

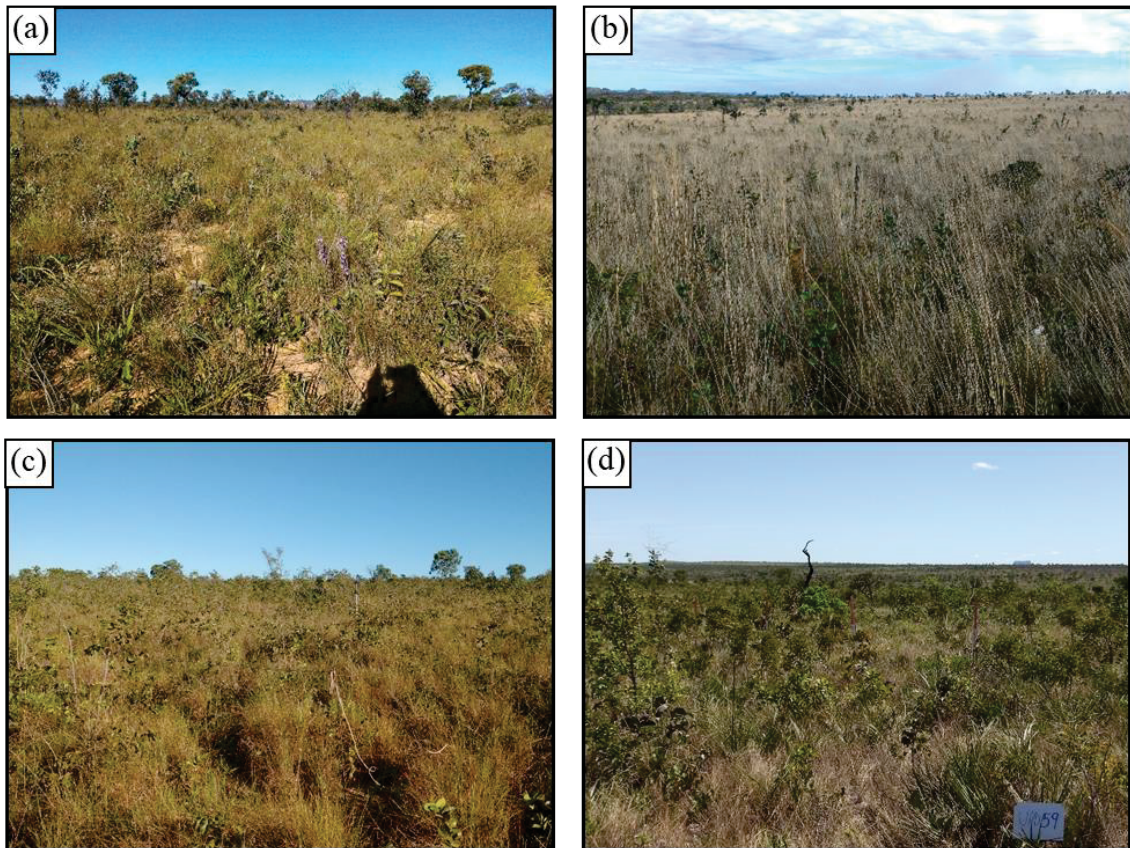
A fitofisionomia de Cerrado predominante é do tipo campestre, abrangendo os tipos campo limpo, campo limpo úmido, campo sujo, campo sujo úmido e campo rupestre (ARRUDA; BEHR, 2002; RIBEIRO; WALTER, 2008). No ANEXO 2 é demonstrado um mapa com classificação das diferentes fitofisionomias do Cerrado ocorrentes nas limitações da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. O solo predominante é de areias quartzosas, ou neossolo quartzarênico, apresentando textura areia ou areia franca a pelo menos dois metros de profundidade, possuindo até 15% de argila. O relevo varia de relativamente plano a suavemente ondulado, com cotas médias de altitude entre 300 e 550 metros (SANTOS *et al.*, 2013).

### 3.2 TRATAMENTOS E PROCEDIMENTOS DE COLETA DAS VARIÁVEIS

Os tratamentos do estudo tiveram como base, a realização de coletas de combustível em quatro meses da estação seca (maio, junho, agosto e setembro), em áreas com 4 períodos sem ocorrência de queima (PSQ), variando de 1 a 4 anos (FIGURA 1.2). As áreas campestres localizadas na EESGT são predominantemente locais com períodos sem queima de 1 até no máximo 4 anos, em decorrência das ações de manejo integrado do fogo (MIF) nela realizada, conforme demonstrado em mapa cartográfico exposto no ANEXO 1.

A definição dos PSQs foi realizada com o auxílio de técnicas de sensoriamento remoto, através da análise das cicatrizes de queima ocorridas na EESGT. Assim, em todo o experimento foram instaladas 128 amostras, denominadas de unidades de amostragem de dados (UAD), sendo que em cada um dos quatro meses de coleta de combustível (MCCs) eram coletadas 32 UADs (32 x 4). Dessas 32 unidades de amostragem, eram distribuídas 8 UADs em áreas com períodos sem queima de 1 a 4 anos (8 x 4). Na FIGURA 1.1, são demonstradas as áreas em que foram instaladas as UADs, não sendo possível observar todas as repetições, tendo em vista a escala do mapa.

FIGURA 1.2 - VEGETAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO DEMONSTRANDO ÁREAS COM DIFERENTES PERÍODOS SEM OCORRÊNCIA DE QUEIMA



FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: (a) Área com 1 ano sem queima; (b) Área com 2 anos sem queima; (c) Área com 3 anos sem queima e; (d) Área com 4 anos sem queima.

Cada UAD possuía dois transectos de 30 metros cada, onde eram distribuídas por meio de sorteio, 8 subamostragens denominadas de parcelas de material combustível (PMCs) com 0,25 m<sup>2</sup> de área. O tamanho das parcelas de material combustível (0,5 x 0,5 cm) foi escolhido tendo em vista uma mais ampla amostragem e conseqüentemente maior variabilidade de combustível amostrado, em um menor tempo consumido. Os transectos eram separados 14 metros um do outro e as marcações das PMCs em cada transecto foram feitas a cada 6 metros, sendo que, as alocações das parcelas possuíam uma distância de dois metros uma da outra (FIGURA 1.3). Sendo assim, tendo em vista as 8 PMCs coletadas em cada UAD, foram coletadas ao final de todo o trabalho 1.024 parcelas de material combustível. Para a obtenção dos valores de carga de combustível, foi realizada transformação de kg/m<sup>2</sup> para Mg ha<sup>-1</sup> de cada UAD, e para a quantificação de espécies e de indivíduos totais não foram realizadas transformações, sendo, portanto, consideradas quanto ao tamanho original da amostra (0,25 m<sup>2</sup>).



campo (APÊNDICE 2) informações de temperatura em graus Celsius (°C) e umidade relativa em porcentagem obtidas de estação meteorológica portátil (Kestrel 4200 *Pocket Air Flow Tracker*), instalada em local próximo às coletas de material combustível.

A amostragem do material combustível para obtenção de carga foi feita de forma destrutiva, separando-se o material de acordo com o seu estado fisiológico (vivo e morto) e conforme diferentes classes de diâmetro (*time-lag*), seguindo a metodologia proposta por Schroeder e Buck (1970) e Brown; Oberheu e Johnston (1982). Assim, a classificação para combustíveis vivos foi realizada de acordo com as seguintes classes: (i) material herbáceo vivo (HV); (ii) material lenhoso vivo de 1-h (LV1); (iii) material lenhoso vivo de 10-h (LV2); e (iv) material lenhoso vivo de 100-h (LV3). Da mesma forma, os combustíveis mortos foram classificados da seguinte maneira: (i) material herbáceo morto (HM); (ii) material lenhoso morto de 1-h (LM1); (iii) material lenhoso morto de 10-h (LM2); e (iv) material lenhoso morto de 100-h (LM3). No entanto, para as classes LV2, LV3, LM2 e LM3, não foram discutidos os valores de carga, pois, apresentaram quantidades insignificantes em relação às demais, inviabilizando a realização das análises estatísticas. Além da análise dessas variáveis, foram analisados também valores de combustíveis totais vivos (TV) e mortos (TM) e carga total de combustível (TV+TM) nas áreas com diferentes períodos sem ocorrência de queima e em distintos meses de coleta do combustível.

De cada classe do combustível, foi separada uma subamostra acondicionada em saco de papel *kraft*, identificada e determinada a massa em balança digital. As subamostras foram encaminhadas para a secagem em laboratório em estufa a 75 °C durante um período de 48 horas, para posterior determinação da massa seca e conteúdo de umidade do combustível. Da resultante da razão entre a diferença da massa úmida com a massa seca, na base seca, foi determinada a umidade do combustível e então transformado para porcentagem, conforme a equação seguinte:

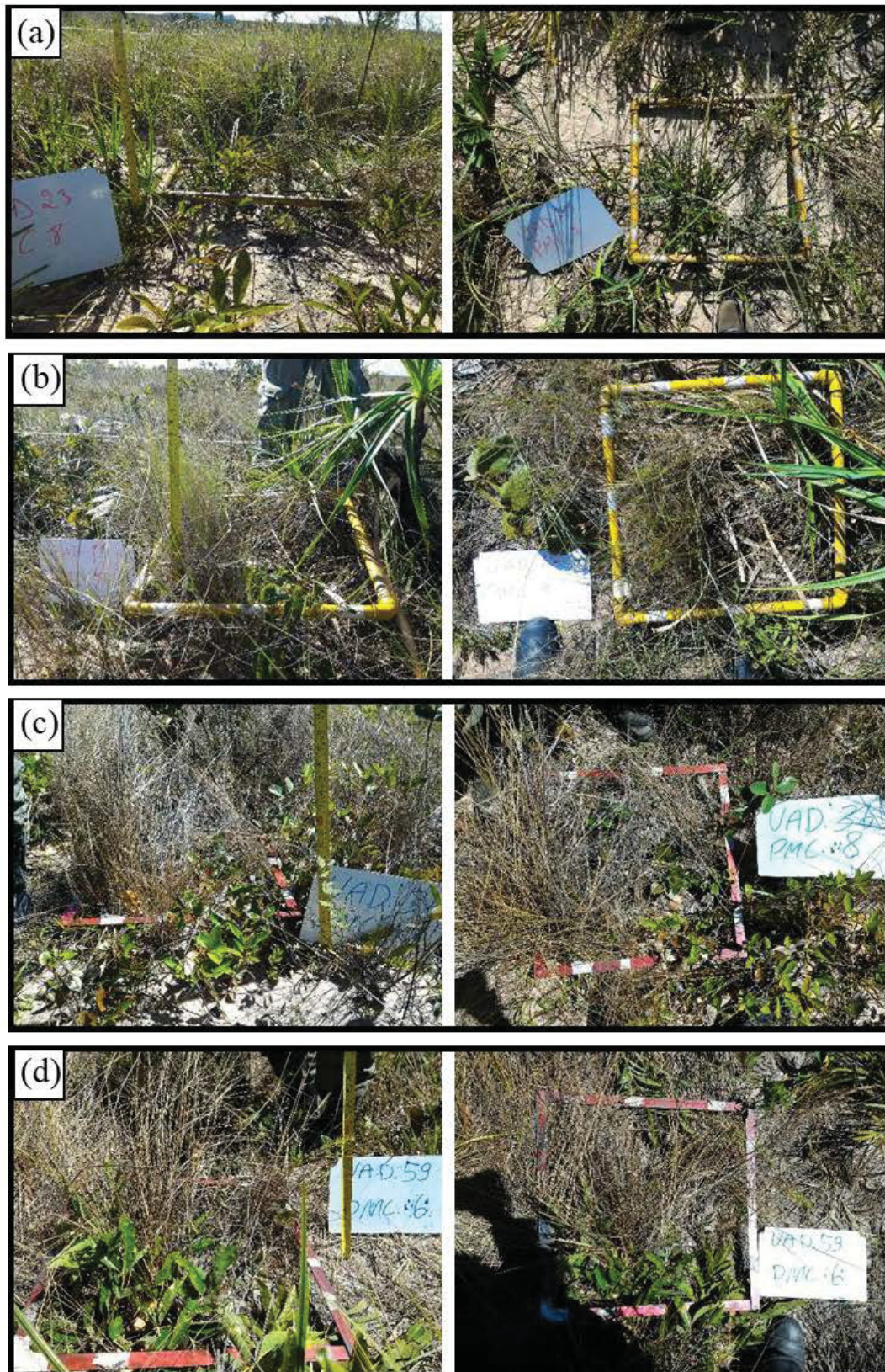
$$U\% = \frac{M_u - M_s}{M_s} * 100$$

onde:  $M_u$  = massa úmida do combustível;

$M_s$  = massa seca do combustível; e

$U\%$  = conteúdo de umidade do combustível em porcentagem.

FIGURA 1.4 - AMOSTRAS DE MATERIAL COMBUSTÍVEL EM DIFERENTES IDADES



FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: (a) Amostra de combustível em área com 1 ano sem queima; (b) Amostra de combustível em área com 2 anos sem queima; (c) Amostra de combustível em área com 3 anos sem queima e; (d) Amostra de combustível em área com 4 anos sem queima.

### 3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Para a análise dos valores de carga de combustível e das características não destrutivas, foi realizada análise de variância fatorial, levando-se em consideração os quatro períodos sem queima e os quatro meses de coleta em delineamento inteiramente casualizado. Para o teste de comparação de médias foi realizado o teste Tukey a 5% de significância e, para o atendimento das premissas de normalidade e homocedasticidade, foram realizadas transformações logarítmicas e raiz quadrada para as variáveis Htm, QTI, HV, LV1, HM, LM1, TV, TM e Total (TV+TM).

Os valores obtidos no trabalho foram apresentados por gráficos de caixa (*boxplots*), em que, os limites das caixas representam os quartis inferior e superior, a linha interior representa o valor mediano e as linhas exteriores correspondem aos valores mínimos e máximos. Assim, para as variáveis que apresentaram interação MCC vs. PSQ a 5% de significância, os gráficos foram apresentados considerando a interação de cada período sem queima, em cada mês de coleta e vice-versa. Para as variáveis que não apresentaram interação MCC vs. PSQ, os resultados foram apresentados separadamente, ou seja, os valores foram discutidos através das médias em cada mês de coleta e período sem queima. Os valores médios e o teste de comparação de médias para as variáveis de material combustível analisadas, são apresentados no APÊNDICE 1. Também foi realizada análise dos componentes principais para complemento do estudo, tendo como base a matriz de correlação.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 UMIDADE DO COMBUSTÍVEL

Na TABELA 1.1 estão apresentados os valores médios e desvio padrão da umidade do combustível nas diferentes classes, considerando-se os distintos períodos sem ocorrência de queima (PSQ), meses de coleta de combustível (MCC) e suas diferenças ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

TABELA 1.1 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO DA UMIDADE DO COMBUSTÍVEL POR CLASSE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL

Classe	Período sem queima (PSQ)			
	1 ano	2 anos	3 anos	4 anos
Herbáceo vivo	57,9 <sup>b</sup> (11,4)	56,2 <sup>b</sup> (12,2)	59,7 <sup>ab</sup> (9,1)	66,4 <sup>a</sup> (12,7)
Lenhoso vivo de 1-h	93,2 <sup>ab</sup> (16,4)	85,0 <sup>c</sup> (13,8)	87,7 <sup>bc</sup> (10,1)	99,1 <sup>a</sup> (13,8)
Herbáceo morto	9,1 <sup>ab</sup> (8,8)	10,1 <sup>ab</sup> (5,2)	8,7 <sup>b</sup> (3,8)	11,1 <sup>a</sup> (3,6)
Lenhoso morto de 1-h	7,1 <sup>b</sup> (4,9)	8,0 <sup>ab</sup> (4,7)	7,8 <sup>ab</sup> (3,9)	9,4 <sup>a</sup> (3,2)
Classe	Mês de coleta			
	Maio	Junho	Agosto	Setembro
Herbáceo vivo	66,6 <sup>a</sup> (11,8)	63,8 <sup>a</sup> (10,7)	54,4 <sup>b</sup> (8,7)	55,4 <sup>b</sup> (12,0)
Lenhoso vivo de 1-h	98,6 <sup>a</sup> (12,6)	98,3 <sup>a</sup> (11,2)	88,2 <sup>b</sup> (11,9)	79,9 <sup>c</sup> (14,1)
Herbáceo morto	12,1 <sup>a</sup> (6,8)	11,7 <sup>ab</sup> (6,2)	8,2 <sup>bc</sup> (4,0)	7,2 <sup>c</sup> (3,8)
Lenhoso morto de 1-h	8,4 <sup>ab</sup> (4,4)	10,7 <sup>a</sup> (3,9)	7,4 <sup>bc</sup> (3,2)	5,9 <sup>c</sup> (4,2)

FONTE: O autor (2019).

NOTA: Médias seguidas por letras iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Entre parênteses são apresentados os valores de desvio padrão.

Quando se considera a umidade do combustível nos diferentes PSQs, observam-se maiores valores de umidade em combustíveis de áreas a mais tempo sem queima, destacando-se o PSQ 4 com valores significativamente superior aos demais ( $p < 0,05$ ). Em relação aos distintos meses de coleta, a umidade do combustível se comportou de maneira diferente comparado ao PSQ, sendo superiores nos primeiros meses de coleta de combustível (maio e junho) e inferiores nos meses de agosto e setembro ( $p < 0,05$ ).

Na TABELA 1.2 estão apresentadas as médias de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidade relativa do ar (%) observadas do momento de cada coleta de combustível a cada mês. A umidade relativa decresce de 41,0% no primeiro mês de coleta (maio) para 27,3% no último mês de coleta (setembro), e a temperatura do ar passa de 30,3 para 31,0  $^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.

TABELA 1.2 - MÉDIAS DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR DURANTE AS COLETAS DE COMBUSTÍVEL

Variável meteorológica	Mês de coleta			
	Maio	Junho	Agosto	Setembro
Média de Temperatura do ar (°C)	30,3 <sup>a</sup> (2,6)	27,4 <sup>b</sup> (3,4)	29,5 <sup>ab</sup> (3,8)	31,0 <sup>a</sup> (3,1)
Média de Umidade relativa do ar (%)	41,0 <sup>a</sup> (11,7)	38,4 <sup>a</sup> (9,3)	29,6 <sup>b</sup> (10,1)	27,3 <sup>b</sup> (9,2)

FONTE: O autor (2019).

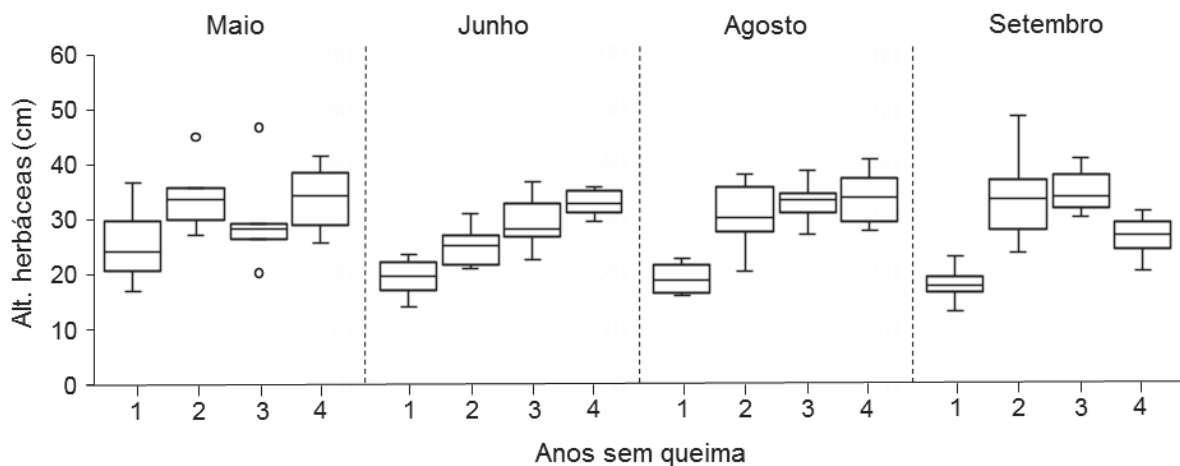
NOTA: Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Os valores médios de temperatura do ar em graus Celsius (°C) e umidade relativa em porcentagem (%) apresentados, são do momento das coletas para os quatro meses de coleta da estação seca. Entre parênteses são apresentados os valores de desvio padrão.

Os resultados mostram a variação das condições de temperatura e umidade relativa do ar durante o período seco, demonstrando as situações mais extremas dos meses de coleta 3 e 4 (agosto e setembro), de condições mais secas e mais quentes da referida estação no bioma Cerrado.

#### 4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS DE MATERIAL COMBUSTÍVEL

A variável altura das herbáceas (Hth) demonstrada na FIGURA 1.5, apresentou valores variando de 13,4 a 49,1 centímetros (cm) (CV% de 16,43). Em relação aos valores médios, notou-se que os maiores valores foram observados no último mês de coleta (setembro), em área com três anos sem queima (PSQ 3 em setembro = 35,3 cm), e os menores no mesmo mês de coleta, porém, em locais com um ano após a passagem de fogo (PSQ 1 em setembro = 18,4 cm).

FIGURA 1.5 - GRÁFICOS DE CAIXA REPRESENTANDO OS VALORES DAS INTERAÇÕES PARA ALTURA DAS HERBÁCEAS

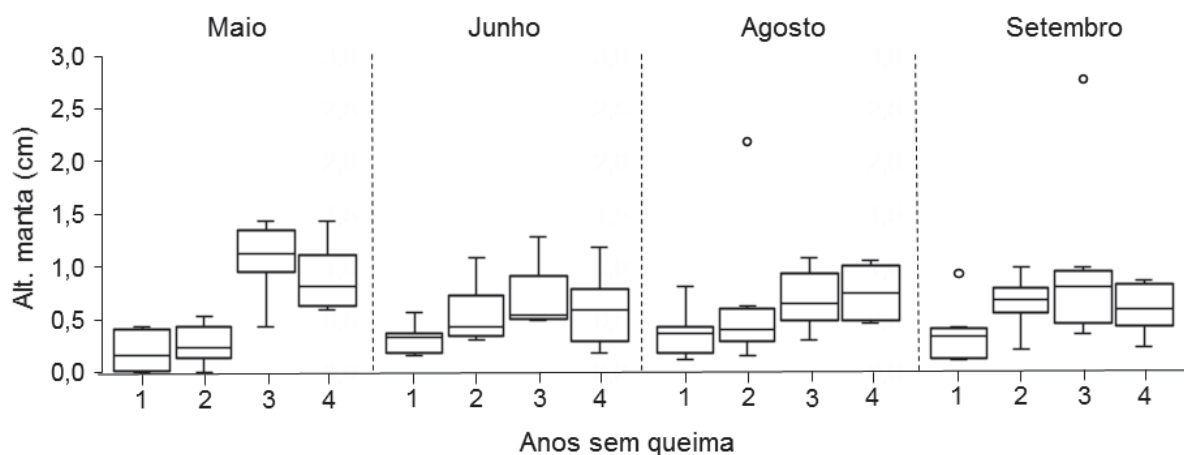


FONTE: O autor (2019).

Analisando-se a interação MCC vs. PSQ, observou-se que dentre os diferentes períodos sem a ocorrência de queima (PSQ), verificou-se, em praticamente todos os meses de coleta de combustível, um aumento nos valores de Hth desde o primeiro (PSQ 1) até o quarto ano sem ocorrência de queima (PSQ 4), não se observando diferença significativa pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ) a partir do PSQ 2. A exceção foi encontrada nas coletas realizadas no mês de setembro nas áreas com quatro anos sem queima (PSQ 4 em setembro), cujos valores foram menores quando comparados às áreas com PSQs de 2 e 3 anos, sendo somente superiores ao período sem queima de 1 ano ( $p < 0,05$ ).

Considerando altura da manta (Htm; CV% = 28,11), os valores tiveram uma variação de 0,0 a 2,8 cm (FIGURA 1.6), sendo observadas as maiores médias no mês de coleta 1 (maio), em área de três anos sem queima (PSQ 3 em maio = 1,1 cm) e menores no PSQ 1 (0,2 cm).

FIGURA 1.6 - GRÁFICOS DE CAIXA REPRESENTANDO OS VALORES DAS INTERAÇÕES PARA ALTURA DA MANTA



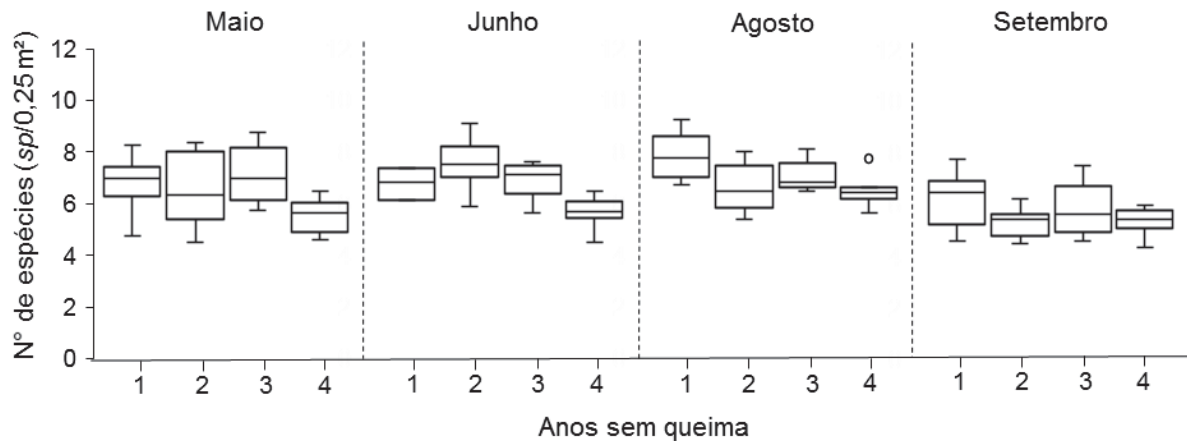
FONTE: O autor (2019).

Na interação MCC vs. PSQ, somente no mês de junho, correspondente ao mês de junho, não ocorreu diferença significativa ( $p < 0,05$ ), sendo que nos demais meses de coleta, foi observado um acréscimo nos valores de Htm. Considerando o primeiro mês de coleta (maio), os PSQs 3 e 4 foram superiores e nos meses de agosto e setembro, apenas as áreas com período sem queima de 1 ano foi inferior aos demais pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

Analisando o número de espécies (NDE; CV% = 13,21), apresentado na FIGURA 1.7, os valores variaram de aproximadamente ( $\approx$ ) 4 a 9 espécies em 0,25 m<sup>2</sup>

(sp/0,25 m<sup>2</sup>), sendo que a média do número de espécies foi maior no mês de agosto em locais com 1 ano pós-queima (PSQ 1 em agosto com  $\approx 8$  sp/0,25 m<sup>2</sup>), e menor no mês de setembro ( $\approx 6$  sp/0,25 m<sup>2</sup>), não ocorrendo diferença significativa entre os PSQs ( $p < 0,05$ ).

FIGURA 1.7 - GRÁFICOS DE CAIXA REPRESENTANDO OS VALORES DAS INTERAÇÕES PARA O NÚMERO DE ESPÉCIES

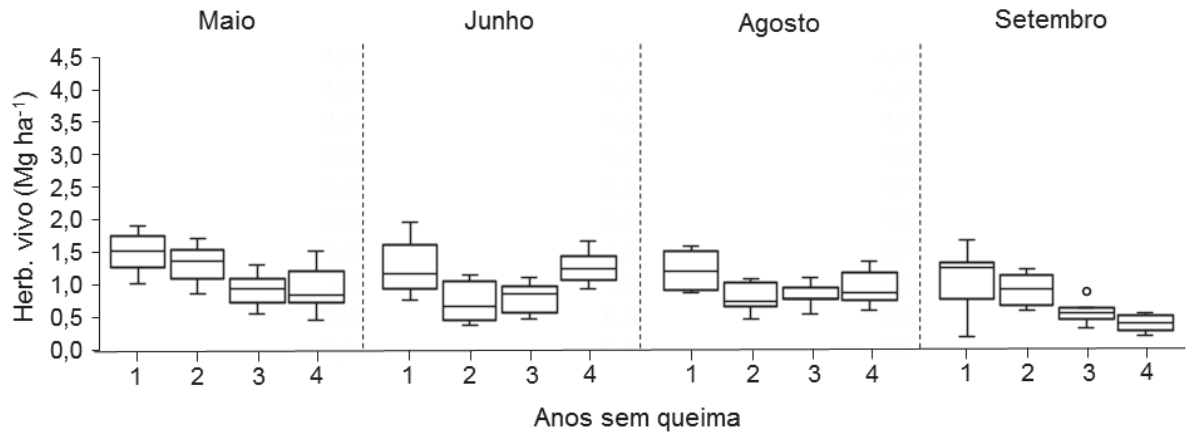


FONTE: O autor (2019).

Em relação à interação MCC vs. PSQ, observou-se que nos meses de coleta 1, 2 e 3, somente no PSQ 4 ocorreu um decréscimo significativo em número de espécies. Quanto ao último mês de coleta do estudo (setembro), não se observam diferenças entre os PSQs, no entanto, é visível o decréscimo na quantidade de espécies quando comparado aos demais meses de coleta.

Analisando os valores de carga de combustível, para material herbáceo vivo (HV; CV% = 7,00), verificou-se uma variação de 0,19 a 1,97 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo que as médias de carga para tal tipo de combustível foram maiores no mês de maio nas áreas com 1 ano sem queima (PSQ 1 em maio = 1,49 Mg ha<sup>-1</sup>) e menores no mês de setembro, em locais com quatro anos sem queima (PSQ 4 em setembro = 0,39 Mg ha<sup>-1</sup>), como ilustrado na FIGURA 1.8.

FIGURA 1.8 - GRÁFICOS DE CAIXA REPRESENTANDO OS VALORES DAS INTERAÇÕES PARA COMBUSTÍVEL HERBÁCEO VIVO

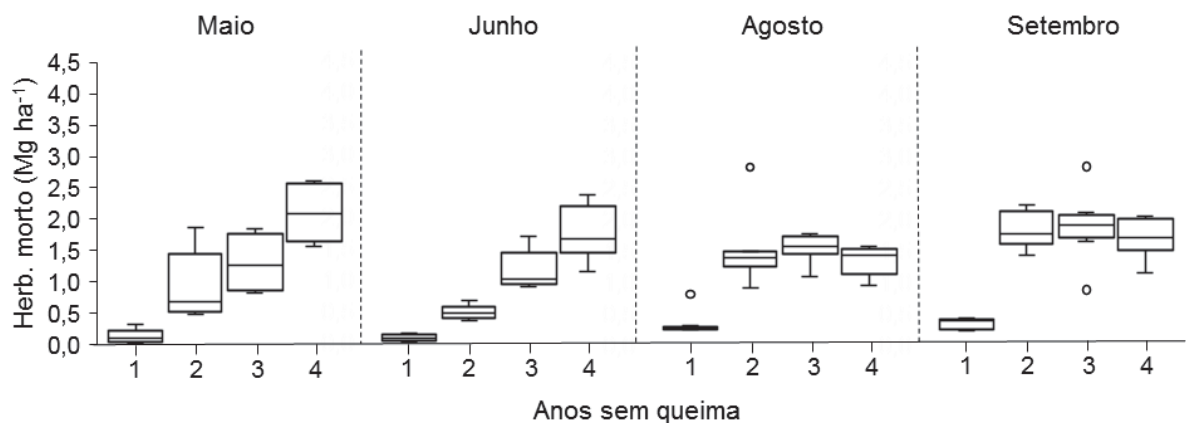


FONTE: O autor (2019).

Quanto à interação MCC vs. PSQ, pode ser observado nos meses de maio e setembro do estudo, uma redução dos valores de carga nas áreas com PSQs de 3 e 4 anos, diferindo dos valores dos PSQs 1 e 2, significativamente superiores ( $p < 0,05$ ). Nas coletas do mês de agosto, os valores foram superiores somente no PSQ 1 ( $p < 0,05$ ).

Considerando a carga de combustível herbáceo morto (HM; CV% = 7,62), os mesmos apresentaram uma escala de variação que foi de 0,0 a 2,8 Mg ha<sup>-1</sup> (FIGURA 1.9). Os valores médios de HM foram maiores no primeiro mês de coleta da estação seca em áreas com quatro anos sem queima (PSQ 4 em maio = 2,10 Mg ha<sup>-1</sup>) e menores no mês de junho em áreas com PSQ de 1 ano (0,07 Mg ha<sup>-1</sup>).

FIGURA 1.9 - GRÁFICOS DE CAIXA REPRESENTANDO OS VALORES DAS INTERAÇÕES PARA COMBUSTÍVEL HERBÁCEO MORTO

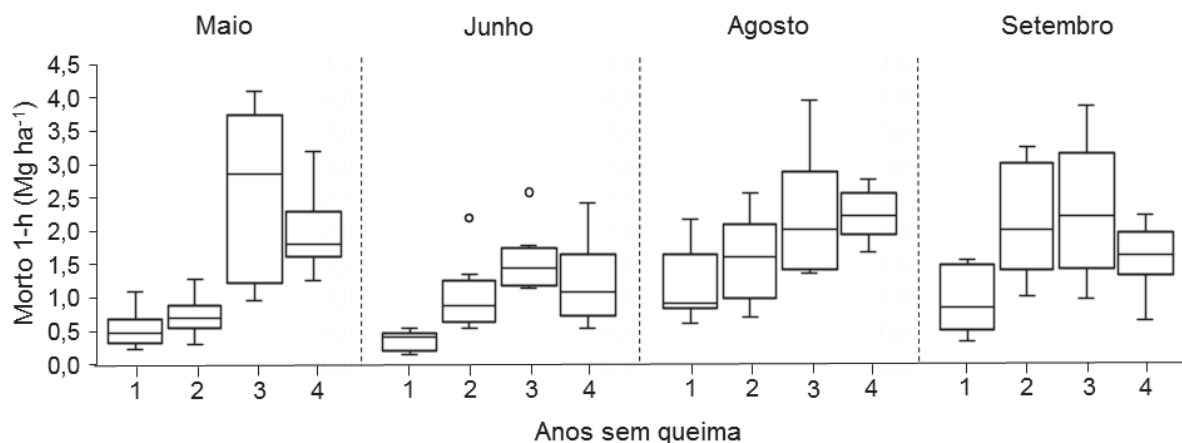


FONTE: O autor (2019).

Na interação MCC vs. PSQ observou-se nos dois primeiros meses de coleta (maio e junho) do estudo que todos os PSQs diferiram entre si, ou seja, o acúmulo de combustível durante os dois primeiros meses da estação seca foi diferente em cada intervalo anual sem queima. Nos meses de agosto e setembro, em áreas com períodos sem queima acima de 2 anos, as médias não diferiram entre si, sendo inferiores, somente, as áreas com 1 ano sem queima ( $p < 0,05$ ).

Para o combustível lenhoso morto de 1-h (LM1; CV% = 27,07), foi observada uma variação de 0,17 a 4,1 Mg ha<sup>-1</sup> (FIGURA 1.10), sendo os maiores valores médios encontrados no mês de maio nas áreas de três anos sem queima (PSQ 3 em maio = 2,62 Mg ha<sup>-1</sup>) e os menores no mês de junho em locais com 1 ano após passagem do fogo (PSQ 1 em junho = 0,37 Mg ha<sup>-1</sup>).

FIGURA 1.10 - GRÁFICOS DE CAIXA REPRESENTANDO OS VALORES DAS INTERAÇÕES PARA COMBUSTÍVEL LENHOSO MORTO DE 1-H



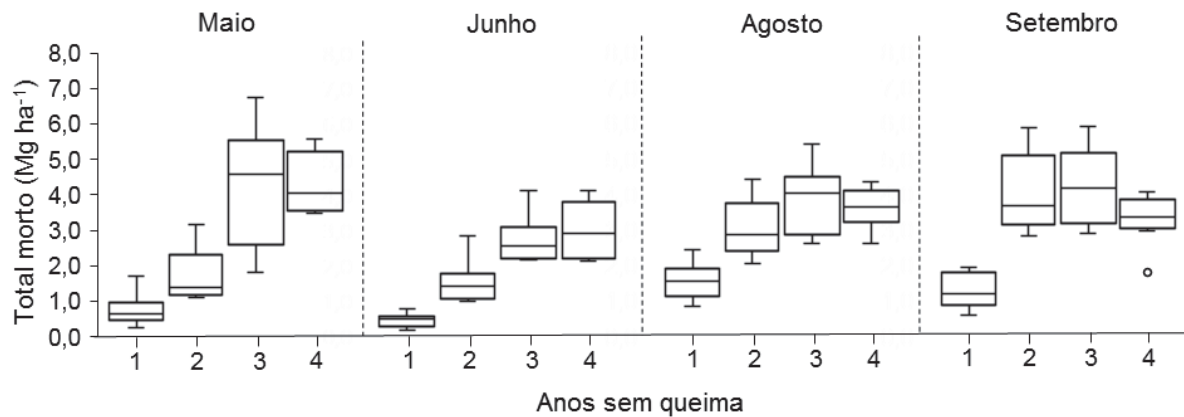
FONTE: O autor (2019).

Nos meses de junho, agosto e setembro, os resultados se comportaram de forma semelhante (considerando a interação MCC vs. PSQ), em que a carga de LM1 não diferenciou entre os PSQs 2, 3 e 4, sendo superiores às das áreas com um ano sem queima. A exceção foi encontrada no primeiro mês de coleta, não sendo observada diferença entre locais com PSQs de 1 e 2 anos (inferiores) e entre PSQs de 3 e 4 anos, os quais foram significativamente superiores ( $p < 0,05$ ).

Para combustível total morto (TM; CV% = 10,80), a carga variou de 0,18 a 6,76 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo que os maiores valores médios foram obtidos em coletas realizadas no mês de maio nas áreas com acúmulo de combustível de 4 anos pós-

queima (PSQ 4 em maio = 4,31 Mg ha<sup>-1</sup>) e menores no mês de junho nas áreas com um ano sem queima (PSQ 1 em junho = 0,45 Mg ha<sup>-1</sup>) (FIGURA 1.11).

FIGURA 1.11 - GRÁFICOS DE CAIXA REPRESENTANDO OS VALORES DAS INTERAÇÕES PARA COMBUSTÍVEL TOTAL MORTO

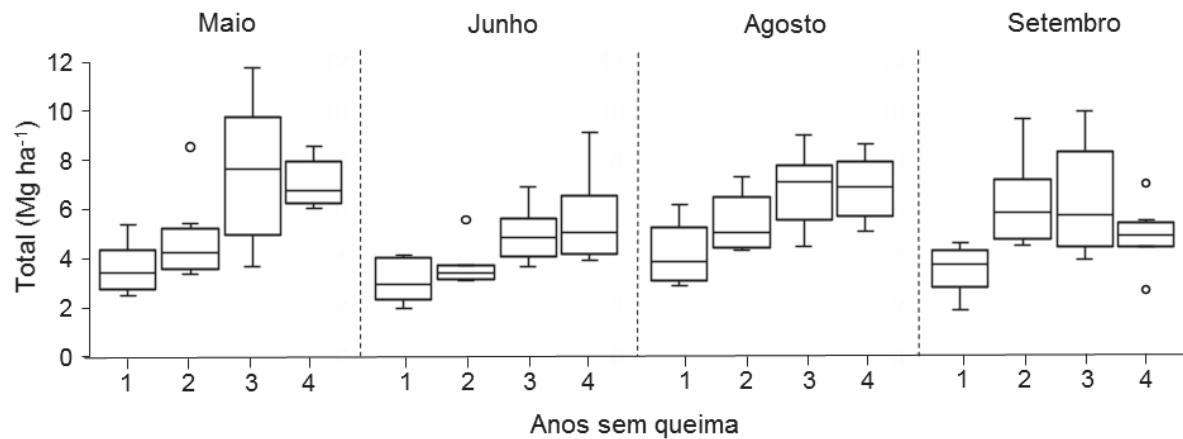


FONTE: O autor (2019).

Com base na interação MCC vs. PSQ, nos meses de maio e junho, observaram-se comportamentos similares, não sendo possível a diferenciação entre os PSQs 3 e 4 (superiores;  $p < 0,05$ ), ocorrendo diferença significativa entre os PSQs 1 (inferior;  $p < 0,05$ ) e 2. No terceiro e quarto mês de coleta (agosto e setembro) a diferença pode ser observada somente em locais com PSQ de 1 ano, em relação aos demais (PSQs 2, 3 e 4), superiores pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

Considerando-se a carga de combustível total ( $CV\% = 12,34$ ), os valores foram de 1,93 a 11,77 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo as maiores médias observadas no primeiro mês de coleta (maio) em locais com 3 anos sem queima (PSQ 3 em maio = 7,54 Mg ha<sup>-1</sup>) e inferiores no segundo mês (junho) em áreas com 1 ano sem queima (PSQ 1 em junho = 3,06 Mg ha<sup>-1</sup>) (FIGURA 1.12).

FIGURA 1.12 - GRÁFICOS DE CAIXA REPRESENTANDO OS VALORES DAS INTERAÇÕES PARA COMBUSTÍVEL TOTAL



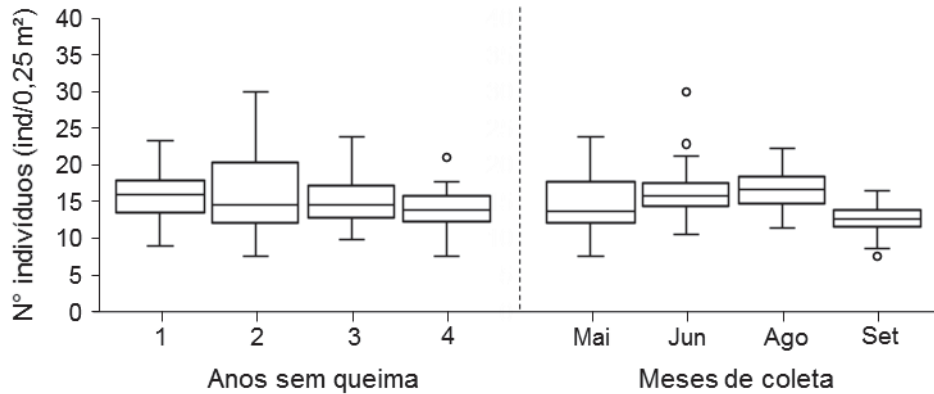
FONTE: O autor (2019).

Quanto à interação MCC vs. PSQ, observou-se em maio e junho que os valores nas áreas com 1 e 2 anos sem queima foram inferiores aos demais (PSQs 3 e 4) e que nos meses de agosto e setembro, somente nas áreas de 1 ano sem queima foram significativamente inferiores, comportamento que se assemelhou ao de combustível herbáceo morto, lenhoso morto de 1-h e total morto.

#### 4.3 VARIÁVEIS QUE NÃO APRESENTARAM INTERAÇÃO

Tendo em vista a não interação MCC vs. PSQ ( $p < 0,05$ ), para as variáveis quantidade de indivíduos (QTI), combustível lenhoso vivo de 1-h (LV1) e combustível total vivo (TV), os valores médios foram apresentados separadamente por mês de coleta e por período sem queima. Em relação à quantidade total de indivíduos (QTI; CV% = 10,26) apresentada na FIGURA 1.13, os valores variaram de aproximadamente ( $\approx$ ) 8 a 30 indivíduos por 0,25 m<sup>2</sup> (ind/0,25 m<sup>2</sup>). No que se refere ao PSQ, os maiores valores médios foram encontrados em áreas com período sem queima de 1 ano ( $\approx$  16 ind/0,25 m<sup>2</sup>) e menores em áreas com 4 anos sem queima ( $\approx$  14 ind/0,25 m<sup>2</sup>), que foi significativamente semelhante aos PSQs 2 e 3 ( $p < 0,05$ ).

FIGURA 1.13 - GRÁFICOS DE CAIXAS COM VALORES MÉDIOS DE QUANTIDADE DE INDIVÍDUOS EM CADA PERÍODO SEM QUEIMA E MÊS DE COLETA

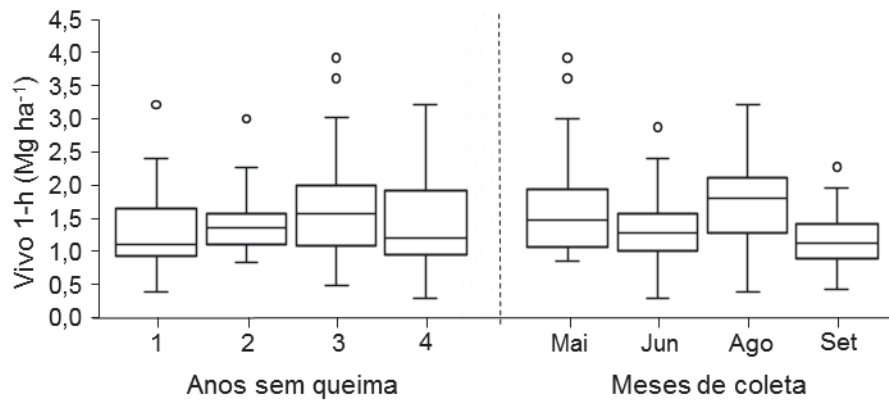


FONTE: O autor (2019).

Concernente ao mês de coleta, foi encontrada maior quantidade média de indivíduos no mês de agosto ( $\approx 17$  ind/0,25 m<sup>2</sup>) e menor em setembro ( $\approx 13$  ind/0,25 m<sup>2</sup>). Pelo teste Tukey, os meses de junho e agosto apresentaram-se superiores e o mês de setembro demonstrou menor significância dentre os demais ( $p < 0,05$ ).

Analisando-se LV1 (CV% = 26,15), os valores variaram de 0,3 a 3,9 Mg ha<sup>-1</sup>. Quanto ao período sem queima, o valor médio entre os PSQs foi de 1,47 Mg ha<sup>-1</sup>, não havendo diferença significativa entre os períodos sem queima pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). No entanto, em relação ao mês de coleta, as maiores médias encontradas foram no mês de agosto (1,76 Mg ha<sup>-1</sup>) e as menores no mês de setembro (1,15 Mg ha<sup>-1</sup>), conforme pode se observar na FIGURA 1.14. Pelo teste Tukey, o material coletado no mês de maio e no mês de agosto apresentaram maiores valores significativos em relação aos demais ( $p < 0,05$ ).

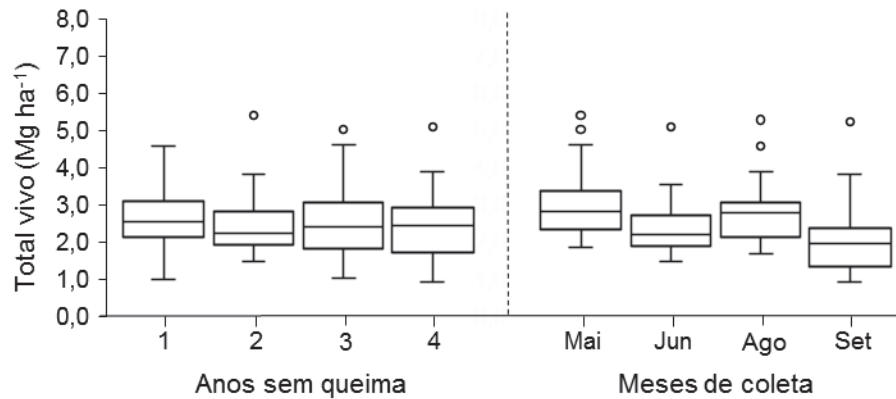
FIGURA 1.14 - GRÁFICOS DE CAIXAS COM VALORES MÉDIOS DE COMBUSTÍVEL LENHOSO VIVO DE 1-H EM CADA PERÍODO SEM QUEIMA E MÊS DE COLETA



FONTE: O autor (2019).

Quanto ao TV (CV% = 17,74), a variação foi de 0,91 a 5,4 Mg ha<sup>-1</sup>, obtendo-se valores semelhantes pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ) entre os PSQs, cujo valor médio foi de 2,54 Mg ha<sup>-1</sup> (FIGURA 1.15).

FIGURA 1.15 - GRÁFICOS DE CAIXAS COM VALORES MÉDIOS DE COMBUSTÍVEL TOTAL VIVO EM CADA PERÍODO SEM QUEIMA E MÊS DE COLETA



FONTE: O autor (2019).

Em relação ao mês de coleta do combustível, foram observados os maiores valores médios no mês de maio (2,95 Mg ha<sup>-1</sup>), e menores no mês de setembro (2,06 Mg ha<sup>-1</sup>). O combustível coletado nos meses de maio e agosto obtiveram superioridade e nos meses de junho e setembro se mostraram significativamente inferiores ( $p < 0,05$ ), assemelhando-se ao comportamento observado em LV1.

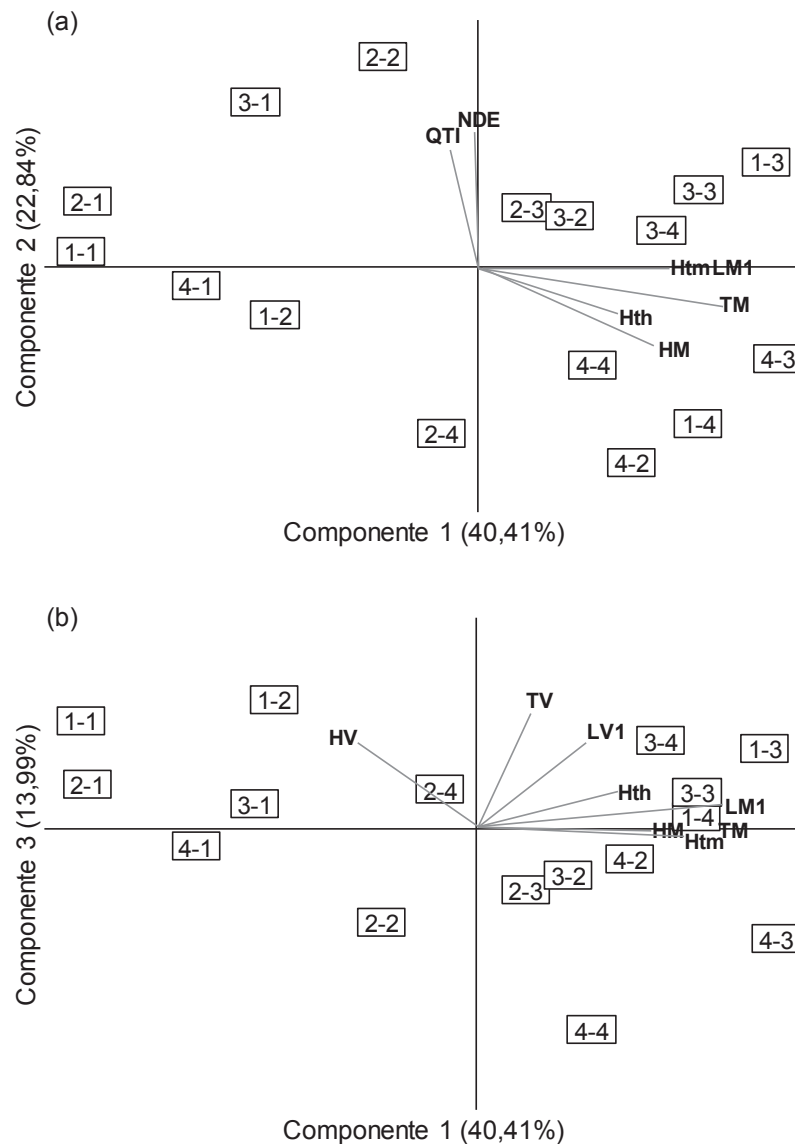
#### 4.4 ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS

Através da análise dos componentes principais apresentada na FIGURA 1.16, realizada com os valores médios dos fatores que representaram os meses de coleta e períodos sem queima, obteve-se a formação de três componentes principais: o componente 1 explicando 41,41% da variação, através das variáveis: Hth; Htm; HM; LM1; e TM; o componente 2 explicando 22,84% da variação com as variáveis: NDE e QTI; e o componente 3 que representou 13,99% com as variáveis: HV; LV1; e TV.

Analisando o primeiro *biplot* (FIGURA 1.16a), observou-se que os valores superiores dos fatores que representaram o primeiro componente (eixo x), foram representados por meses tardios de coleta em áreas com maiores períodos sem a ocorrência de queima. Quanto ao componente 2 (eixo y), representado pelas variáveis NDE e QTI, notou-se que os maiores valores (positivos) das coordenadas y do gráfico foram observados com maior frequência nos meses iniciais de coleta da estação seca em áreas com menores períodos de perturbação por queima. Tais resultados confirmam o que foi apresentado anteriormente, de que à medida que se aumenta o tempo após a ocorrência de queima, em especial as áreas de 4 anos, e quanto mais tardia a coleta de combustível, menor o número de espécies (NDE) bem como a quantidade total de indivíduos (QTI) presentes na área.

No segundo *biplot* (FIGURA 1.16b), analisando o terceiro componente (eixo y), cujas variáveis integrantes foram de combustível vivo (HV, LV1, TV), verificou-se que os valores positivos estão mais associados aos combustíveis coletados no início da estação seca e com menores períodos sem a ocorrência de queima, confirmando o que foi observado nas análises das médias de carga de combustível.

FIGURA 1.16 - *BIPLOTS* RELATIVOS À ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS UTILIZANDO AS CARACTERÍSTICAS DESTRUTIVAS E NÃO DESTRUTIVAS DE MATERIAL COMBUSTÍVEL



FONTE: O autor (2019).

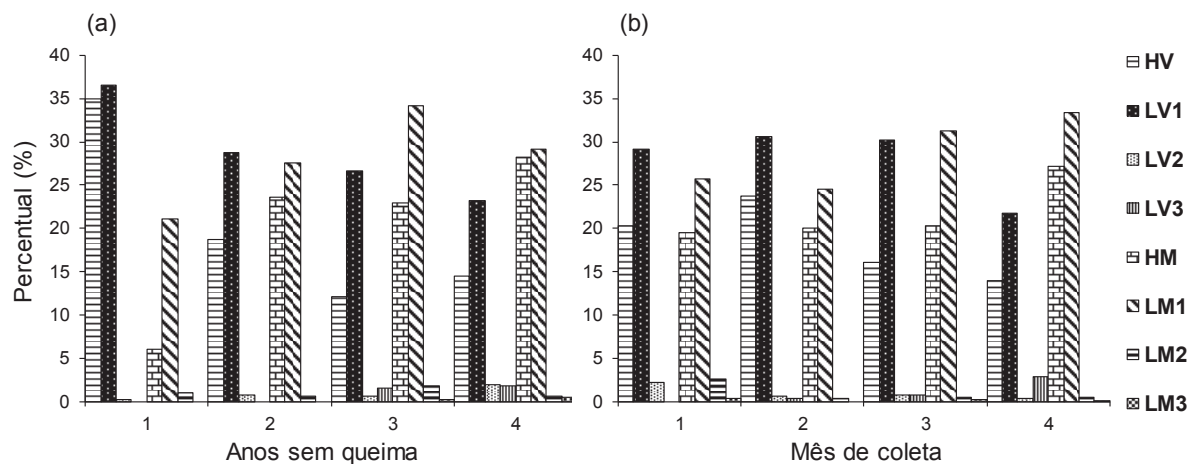
LEGENDA: (a) *Biplot* representando os componentes 1 (eixo x) e 2 (eixo y); (b) *Biplot* representando os componentes 1 (eixo x) e 3 (eixo y). Dentro das caixas estão identificados os tratamentos do estudo na seguinte ordem: MCC-PSQ.

#### 4.5 PROPORÇÕES DAS CLASSES DE MATERIAL COMBUSTÍVEL

Considerando as proporções entre as classes, quanto às áreas nos seus diferentes anos após passagem do fogo (FIGURA 1.17a), no tratamento PSQ 1, as maiores proporções foram observadas para as classes de combustível herbáceo vivo (HV) e lenhoso vivo de 1-h (LV1), com 35,0 e 36,6%, respectivamente. O tratamento PSQ 2 apresentou maiores proporções entre as classes LV1 (28,8%) e lenhoso morto

de 1-h (LM1 - 27,5%), classes que também apresentaram maiores proporções em áreas com PSQ de 3 anos com, respectivamente, 26,7 e 34,1%. Para o PSQ 4, a proporção foi maior entre as classes de combustível herbáceo morto (28,3%) e LM1 (29,2%). Analisando a FIGURA 1.17a, observa-se o decréscimo de combustível HV e aumento de HM e LM1 à medida que se aumenta o período sem queima.

FIGURA 1.17 - GRÁFICOS DE BARRA COM AS PROPORÇÕES PARA CADA CLASSE DO COMBUSTÍVEL CONSIDERANDO O PERÍODO SEM QUEIMA E O MÊS DE COLETA



FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: HV - combustível herbáceo vivo; LV1 – combustível lenhoso vivo de 1-h; LV2 – combustível lenhoso vivo de 10-h; LV3 - combustível lenhoso vivo de 100-h; HM combustível herbáceo morto; LM1 - combustível lenhoso morto de 1-h; LM2 - combustível lenhoso morto de 10-h; LM3 - combustível lenhoso morto de 100-h.

Ao analisar as proporções entre os meses de coleta, observou-se uma menor variação entre as diferentes classes de combustível, sendo as maiores proporções verificadas entre as classes LV1 e LM1 no primeiro (29,1 e 25,8%, respectivamente), no segundo (30,6 e 24,5%, respectivamente) e no terceiro mês de coleta (30,2 e 31,2%, respectivamente). A exceção foi observada no quarto mês de coleta (setembro), atingindo maiores proporções nas classes HM (27,2%) e LM1 (33,3%), como pode ser observado na FIGURA 1.17b.

## 5 DISCUSSÃO

O comportamento da umidade do material combustível nos diferentes períodos sem queima (PSQs), apresentado na TABELA 1.1, pode ser explicado pelo fato de que em locais com maior tempo sem perturbação pelo fogo, a umidade dos combustíveis é mais elevada devido a maior cobertura da vegetação. Já em áreas com vegetações mais esparsas, devido às queimas mais frequentes, a umidade do combustível é geralmente mais baixa (LINDENMAYER *et al.*, 2009; CAWSON *et al.*, 2017). No entanto, estudos em vegetação campestre de Cerrado, envolvendo umidade do combustível em diferentes regimes de queima, precisam ser realizados em maiores proporções para uma completa compreensão desse comportamento.

De maneira esperada, o comportamento da umidade nos diferentes meses de coleta (MCCs) esteve diretamente relacionado às distintas condições meteorológicas (temperatura e umidade relativa do ar) no decorrer da estação seca, principalmente início e final da estação (TABELA 1.1). A umidade do combustível vivo, segundo Chuvieco *et al.* (2002), é influenciada pela interação da fisiologia da planta com as condições de umidade do solo, enquanto a umidade de combustível morto está mais relacionada com os fatores meteorológicos locais. Além disso, Bowyer e Danson (2004) relatam a influência do maior alcance em profundidade das raízes de vegetação arbustiva, a qual consegue ter melhor acesso à umidade do subsolo, fato que não acontece com vegetação herbácea.

A vegetação herbácea predominante na área (família Poaceae), em geral alcança o seu maior porte já no segundo ano de desenvolvimento e mantém essa estatura nos anos posteriores (FIGURA 1.5). Em estudos similares, Gould; Mccaw e Cheney (2011), trabalhando em florestas secas de eucalipto no sul da Austrália, com diferentes períodos sem ocorrência de queimas os quais foram obtidos por modelos de regressão não lineares, observaram que a altura do combustível próximo à superfície se estabilizou em torno dos 20 cm aos 120 meses (10 anos) após a passagem de fogo.

O comportamento da altura da manta (Htm), apresentado na FIGURA 1.6, foi semelhante ao da variável de carga de combustível pertencente à classe LM1, não sendo possível diferenciar Htm de áreas com período pós-fogo acima de 2 anos nos dois últimos meses de coleta de combustível (agosto e setembro), ou seja, a senescência dos indivíduos arbustivos presentes na área se comporta de forma

semelhante em locais com PSQs de 2 anos nos referidos períodos da seca. Por ser uma área campestre (campo sujo e campo limpo), os valores de espessura da manta são bem inferiores às de áreas com florestas. Como exemplo, Hoffman *et al.* (2012), em povoamentos de *Pinus* no estado do Arizona (EUA), obtiveram espessura da manta de 6,3 cm, enquanto Beutling *et al.* (2012), também em cultivo de *Pinus*, apresentaram valores médios de 9,4 cm.

Quanto ao número de espécies (NDE) demonstrado na FIGURA 1.7, observa-se dois comportamentos distintos, sendo um relacionado ao decréscimo do NDE em áreas com 4 anos sem queima (PSQ 4) e o outro ao decréscimo do NDE em todos os PSQs, no último mês da estação seca (setembro). O primeiro provavelmente está relacionado com a incapacidade de determinadas espécies pioneiras de porte arbustivo-herbáceas se regenerarem em decorrência da competição natural que ocorre ao longo do tempo, causando mortalidade de espécies intolerantes ao sombreamento (SOARES; BATISTA; TETTO, 2017). O segundo comportamento pode estar melhor associado à intolerância de determinadas espécies às condições meteorológicas mais adversas da estação seca de altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, conforme observado na TABELA 1.2. No mês de setembro, independentemente do período sem queima da área, observou-se valores de NDE semelhantes entre si. Em geral, apesar da não interação MCC vs. PSQ, o comportamento de QTI foi semelhante ao de NDE, com valores inferiores nos últimos meses de coleta e períodos sem queima do estudo (FIGURA 1.13).

O decréscimo da carga de combustível herbáceo vivo (HV), à medida que aumenta o tempo sem a ocorrência de queima (FIGURA 1.8), pode ser explicado pelo fato da vegetação herbácea, predominante e de maior continuidade em área de Cerrado campestre na região do Jalapão, ser composto por espécies pioneiras, e assim não apresentam capacidade de regenerar em seu próprio sub-bosque (SOARES; BATISTA; TETTO, 2017).

O comportamento da carga de combustível herbáceo morto (HM) nos meses de maio e junho foi o único que corroborou com a hipótese de ocorrência de diferentes incrementos nos distintos PSQs (FIGURA 1.9). A explicação para que HM melhor respondesse às variações dos PSQs, pode estar associada ao fato do combustível fino, que possui maior resposta às mudanças meteorológicas, ser o tipo de combustível predominante em quantidade e continuidade no período seco (MATTHEWS, 2014; CAWSON *et al.*, 2017). Nos primeiros meses do período seco

(maio e junho), as condições meteorológicas não se encontram em seus extremos (alta temperatura e baixa umidade relativa do ar), porém, os dois últimos meses de coleta (agosto e setembro), correspondentes ao período final da seca, são caracterizados pelos maiores valores de temperatura e menor umidade relativa (TABELA 1.2). Tal fato, fez com que no terceiro e quarto mês de coleta a quantidade de HM apresentasse incremento semelhante em áreas com PSQs de 2, 3 e 4 anos, ou seja, a resposta de HM às mudanças para condições mais adversas do período seco levou a não distinção da carga em locais com dois ou mais anos sem ocorrência de queima.

Ao contrário do material herbáceo morto (HM), que nos dois primeiros meses de coleta apresentou diferentes acúmulos na carga de acordo com o PSQ, a classe LM1 não respondeu de forma diferente em decorrência do período sem queima, sendo que já a partir do mês de junho as áreas com PSQs acima de 2 anos apresentaram incrementos semelhantes estatisticamente (FIGURA 1.10). Isso demonstra que a deposição de detritos lenhosos e a senescência dos indivíduos arbustivos em áreas campestres do Cerrado pouco respondem à variação nos diferentes períodos sem a ocorrência de queima. No entanto, é visível o aumento de carga dessa classe (LM1) durante os últimos dois meses da estação seca (agosto e setembro).

Concernente ao comportamento do combustível total morto (TM), exposto na FIGURA 1.11, observou-se uma tendência semelhante ao de LM1. Tal comportamento pode estar relacionado à sua maior carga (massa de LM1) quando comparado a HM, a qual, apesar da menor carga, apresenta maior continuidade em áreas campestres do Cerrado, com materiais mais finos e conseqüentemente apresentando superior relação superfície-volume das suas folhas, facilitando trocas de umidade e calor, tornando-os materiais mais inflamáveis que LM1 (GANTEAUME *et al.*, 2013; SIMPSON *et al.*, 2015). Em um estudo buscando definir a importância das características do combustível, Hoffmann *et al.* (2012) relataram a maior inflamabilidade de savana relacionada à presença de vegetação herbácea. Cawson *et al.* (2017) destacam que o quantitativo de combustíveis finos com baixos níveis de umidade, influência na quantidade de combustível disponível para queima, implicando em maior ignitabilidade do combustível, maiores taxas de propagação do fogo e mais altas intensidades de incêndios florestais.

A dinâmica da carga total de combustível campestre (campo sujo) da área de estudo, durante estação seca, como observado na FIGURA 1.12, seguiu a mesma

tendência dos combustíveis mortos, não se verificando diferenças em áreas de 2 a 4 anos nos dois últimos meses do período seco. No estudo de Schmidt *et al.* (2017), realizado também na região do Jalapão em vegetação de veredas (campos úmidos), os autores não encontraram diferenças entre a carga das áreas não queimadas de 2 e 5 anos. Apesar da diferença de hábitos das vegetações estudadas, observa-se comportamento semelhante ao do presente estudo, com valores se estabilizando a partir do segundo ano sem queima.

Quanto aos valores de carga totais, *e.g.* Hoffmann *et al.* (2012) encontraram carga de 7,6 Mg ha<sup>-1</sup> em combustíveis de fitofisionomia de savana no Cerrado, e Castro e Kauffman (1998), constataram valores de 9,3 Mg ha<sup>-1</sup> em Cerrado campo sujo. Conceição e Pivello (2011) encontraram carga de 4,9 Mg ha<sup>-1</sup> em vegetação de campo limpo. A diferença de carga entre fitofisionomias semelhantes pode estar ligada às distintas características de clima, variabilidade de solos, altitude, dentre outras, observadas no Cerrado e, com isso, deve-se ter cautela em generalizações feitas para o referido bioma (CASTRO; KAUFFMAN, 1998).

O fato das variáveis LV1 e TV não terem apresentado interação MCC vs. PSQ (FIGURAS 1.14 e 1.15), pode estar relacionado à variação não significativa da carga de combustíveis lenhosos vivos nos diferentes meses da estação seca e em áreas com diferentes períodos sem a ocorrência de queima (PSQs), ou seja, a carga desses tipos de combustível não variou de forma expressiva nas diferentes situações analisadas (MCCs e PSQs).

Apesar da igualdade nas cargas das áreas com PSQs de 2, 3 e 4 anos, em coletas realizadas nos dois últimos meses da estação seca (agosto e setembro), considerando HM, as proporções do combustível podem melhor explicar possíveis diferenças nas variáveis de comportamento do fogo, pois, como observado na FIGURA 1.17, os valores percentuais foram maiores desde as áreas com período sem queima de 2 anos até áreas com períodos de 4 anos sem ocorrência de queima.

## 6 CONCLUSÕES

Somente para carga de material combustível herbáceo morto (HM), coletado nos primeiros dois meses da estação seca (maio e junho), foi possível distinguir estatisticamente os diferentes acúmulos das áreas de um a quatro anos sem queima. Nos dois últimos meses (agosto e setembro), a carga de combustível herbáceo morto se manteve constante nas áreas de dois a quatro anos sem queima, demonstrando assim a diferente dinâmica do acúmulo de combustível durante a estação seca.

Além da carga de herbáceo morto, as demais variáveis de combustíveis mortos, tais como material lenhoso morto de 1-h (LM1), combustível total morto (TM) e total, bem como a variável de altura da manta (Htm), também apresentaram semelhanças estatísticas nas áreas com períodos sem queima de 2, 3 e 4 anos, em combustíveis coletados nos dois meses finais da estação seca (agosto e setembro).

A altura dos indivíduos herbáceos (Hth), presentes nas áreas campestres do Cerrado, alcançaram o seu maior porte no segundo ano pós-queima, estabilizando-se nos anos 2, 3 e 4 após queima.

O número de espécies (NDE) diminuiu de duas formas diferentes, havendo um decréscimo nas áreas com 4 anos sem queima e em combustíveis coletados no mês final da estação seca (setembro).

## REFERÊNCIAS

- ARROYO, L.A.; PASCUAL, C.; MANZANERA, J.A. Fire models and methods to map fuel types: the role of remote sensing. **Forest Ecology and Management**, v.256, p.1239–1252, 2008.
- ARRUDA, M.B.; von BEHR, M. **Jalapão**: Expedição científica e conservacionista. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Brasília, 2002. 93p.
- BARRADAS, A.C.S; BORGES, M.A.; COSTA, M.M. Gestão da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. **Mapa das áreas com diferentes períodos sem ocorrência de queimas e incêndios na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. Rio da Conceição: ICMBio, 2017. Escala desconhecida.
- BATTAGLIA, M.A.; ROCCA, M.E.; RHOADES, C.C.; RYAN, M.G. Surface fuel loadings within mulching treatments in Colorado coniferous forests. **Forest Ecology and Management**, v.260, p.1557-1566, 2010.
- 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*. **Revista Floresta**, Curitiba, v.42, n.3, p.443-452, 2012.
- BOWYER, P.; DANSON, F.M. Estimating live fuel moisture content from remotely sensed reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v.92, p.309–321, 2004.
- BROWN, J.K.; OBERHEU, R.D.; JOHNSTON, C.M. **Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the interior west**. USDA Forest Service. Gen. Tech. Rep. INT-129, Ogden, UT, 1982.
- CASTRO, E.A.; KAUFFMAN, J.B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, v.14, p.263–283, 1998.
- CAWSON, J.G.; DUFF, T.J.; TOLHURST, K.G.; BAILLIE, C.C.; PENMAN, T.D. Fuel moisture in Mountain Ash forests with contrasting fire histories. **Forest Ecology and Management**, v.400, p.568–577, 2017.
- CHUVIECO, E.; RIANO, D.; AGUADO, I.; COCERO, D. Estimation of fuel moisture content from multitemporal analysis of Landsat Thematic Mapper reflectance data: Applications in fire danger assessment. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, p.2145–2162, 2002.
- CONCEIÇÃO, A.A.; PIVELLO, V.R. Biomassa combustível em Campo Sujo no entorno do Parque Nacional da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, v.2, p.146–160, 2011.

DUFF, T.J.; BELL, T.L.; YORK, A. Predicting continuous variation in forest fuel load using biophysical models: a case study in south-eastern Australia. **International Journal of Wildland Fire**, v.22, p.318-332, 2012.

GANTEAUME, A.; JAPPIOT, M.; LAMPIN, C.; GUIJARRO, M.; HERNANDO, C. Flammability of Some Ornamental Species in Wildland–Urban Interfaces in Southeastern France: Laboratory Assessment at Particle Level. **Environmental Management**, v.52, p.467–480, 2013.

GOODRICK, S.; SHEA, D.; BLAKE, J.I. Prescribed fire, fuel consumption and particulate matter emission estimates for the Upper Coastal Plain of South Carolina. **Southern Journal Applied Forestry**, v.34, p.5-12, 2010.

GOULD, J.S.; MCCAWE, 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.

HOFFMANN, W.A.; JACONIS, S.Y.; MCKINLEY, K.L.; GEIGER, E.L.; GOTSCH, S.G.; FRANCO, A.C. Fuels or microclimate? Understanding the drivers of fire feedbacks at savanna–forest boundaries. **Austral Ecology**, v.37, p.634–643, 2012.

HOFFMAN, C.M.; SIEG, C.H.; MCMILLIN, J.D.; FULE, P.Z. Fuel loadings 5 years after a bark beetle outbreak in south-western USA ponderosa pine forests. **International Journal of Wildland Fire**, v.21, p.306-312, 2012.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Plano de manejo para Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT)**. Brasília-DF, ICMBio, 2014. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/cerrado/unidades-de-conservacao-cerrado/2068-esec-serra-geral-do-tocantins>> Acesso em: 31 jul. 2018.

KEANE, R.E.; GRAY, K.; BACCIU, V. **Spatial variability of wildland fuel characteristics in northern Rocky Mountain ecosystems**. Res. Pap. RMRS-RP-98. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2012, 56p.

KEANE, R.E. Describing wildland surface fuel loading for fire management: a review of approaches, methods and systems. **International Journal of Wildland Fire**, v.22, p.51–62, 2013.

LINDENMAYER, D.B.; HUNTER, M.L.; BURTON, P.J.; GIBBONS, P. Effects of logging on fire regimes in moist forests. **Conservation Letters**, v.2, p.271–277, 2009.

LYDERSEN, J.M.; COLLINS, B.M.; KNAPP, E.E.; ROLLER, G.B.; STEPHENS, S. Relating fuel loads to overstorey structure and composition in a fire-excluded Sierra Nevada mixed conifer forest. **International Journal of Wildland Fire**, v.24, p.484–494, 2015.

MATTHEWS, S. Dead fuel moisture research: 1991–2012. **International Journal of Wildland Fire**, v.23, p.78–92, 2014.

OROZCO FILHO, J.C. Departamento de Geografia da Universidade Federal de Brasília. **Mapa das fitofisionomias do Cerrado que ocorrem na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. (Adaptado) Brasília: UNB, 2017. Escala 1:800.000.

PARRESOL, B.R.; BLAKE, J.I.; THOMPSON, A.J. Effects of overstory composition and prescribed fire on fuel loading across a heterogeneous managed landscape in the southeastern USA. **Forest Ecology and Management**, v.273, p.29–42, 2012.

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 savana in Central Brazil. **Plant Soil**, v.337, p.111–123, 2010.

RIBEIRO, J.F; WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In.: SANO, S.M; ALMEIDA, S.P; RIBEIRO, J.F. **Ecologia e flora**. Brasília: EMBRAPA, 2008. v.1, p.152-212.

RICCARDI, C.L.; OTTMAR, R.D.; SANDBERG, D.V.; ANDREU, A.; ELMAN, E.; KOPPER, K.; LONG, J. The fuelbed: a key element of the fuel characteristic classification systems. **Canadian Journal of Forest Research**, v.37, p.2394–2412, 2007.

SANTOS, R.P.; CREMA, A.; SZMUCHROWSKI, M.A.; POSSAPP, J.J.; NOGUEIRA, C.C.; ASANO, K.; KAWAGUCHI, M.; DINO, K. **Atlas do corredor ecológico da região do Jalapão**. 2. ed. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2013. 85 p.

SCHROEDER, M.J.; BUCK, C.C. **Fire weather**: a guide for application of meteorological information to forest fire control operations. Washington, D.C., US Dep. Agric. 1970, 229 p.

SCHMIDT, I.B., FIDELIS, A., MIRANDA, H.S.; TICKTIN, T. How do the wets burn? Fire behavior and intensity in wet grasslands in the Brazilian savana. **Brazilian Journal of Botany**, v.40, p.167, 2017.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E DA MODERNIZAÇÃO DA GESTÃO PÚBLICA (SEPLAN). **Atlas do Tocantins**: subsídios ao planejamento da gestão territorial. 6. ed. rev. Palmas: Seplan, 2012. 80 p.

SIMPSON, K.J.; RIPLEY, B.S.; CHRISTIN, P.; BELCHER, C.M.; LEHMANN, C.E.R.; THOMAS, G.H.; OSBORNE, C.P. Determinants of flammability in savanna grass species. **Journal of Ecology**, v.104, n.1, p.138-148, 2015.

STEPHENS, S.L; COLLINS, B.M; ROLLER, G. Fuel treatment longevity in a Sierra Nevada mixed conifer forest. **Forest Ecology and Management**, v.285, p.204–212, 2012.

SOARES, R.V.; BATISTA, A.C.; TETTO, A.F. **Incêndios florestais**: controle, efeitos e uso do fogo. 2. ed. rev. Curitiba: 2017. 255 p.

VAN de WATER, K.; NORTH, M. Stand structure, fuelloads, and fire behavior in riparian and upland forests, Sierra Nevada Mountains, USA; a comparison of current and reconstructed conditions. **Forest Ecology and Management**, v.262, n.2, p.215-228, 2011.

## CAPÍTULO 2 - RELAÇÕES E MODELAGEM DO MATERIAL COMBUSTÍVEL SUPERFICIAL DE CERRADO CAMPESTRE NA REGIÃO DO JALAPÃO - TOCANTINS, BRASIL

### RESUMO

O objetivo do presente estudo foi verificar as relações existentes entre as distintas variáveis de material combustível, para o desenvolvimento de modelos para a estimativa de carga e umidade do combustível, bem como analisar as características intrínsecas do material combustível de maior influência no seu consumo pelo fogo, em área de Cerrado campo sujo, na região do Jalapão. Para o alcance deste objetivo, foram coletadas durante 4 meses da estação seca (maio, junho, agosto e setembro), 128 unidades de amostragem de dados (UAD), contendo 8 subamostras denominadas de parcelas de material combustível (PMC). Foram amostradas características não destrutivas, tais como: altura das herbáceas (Hth); altura da manta (Htm); número de espécies (NDE) e quantidade de indivíduos (QTI), e variáveis obtidas pelo método destrutivo para obtenção de carga de material combustível vivo e morto nas diferentes classes de diâmetro (*time-lag* – 1-h, 10-h, 100-h e 1000-h). Desta forma, após determinada a umidade do combustível e obtenção de sua massa seca, foram realizadas análises de correlação das variáveis meteorológicas (temperatura e umidade relativa) com a umidade do combustível e entre características destrutivas e não destrutivas, sendo posteriormente realizados ajustes de equações de regressão para determinação da carga do combustível em suas respectivas classes. Para a estimativa de carga, foram obtidas equações com valores de  $R^2_{aj}$  variando de 0,12 a 0,73 para estimativa da carga de combustíveis vivos e mortos respectivamente, não sendo possível o ajuste de equações para estimativa de umidade do combustível, pelo fato de não se ter obtido correlações expressivas. Os resultados da análise dos componentes principais mostraram a maior influência da presença de combustíveis do estrato herbáceo na taxa de consumo após a passagem do fogo.

Palavras-chave: Correlações. Modelagem do combustível. Umidade. Consumo do combustível.

## CHAPTER 2 - RELATIONSHIPS AND MODELING OF SURFACE FUEL OF CAMPESTRAL CERRADO IN JALAPÃO REGION - TOCANTINS, BRASIL

### ABSTRACT

The aim of the present study was to verify the existing relationships between the different variables of combustible material, to develop models for the estimation of fuel load and moisture, as well as to analyze the intrinsic characteristics of the combustible material of greater influence in its consumption by the fire, in Cerrado field dirty field, in the region of Jalapão. In order to reach this objective, 128 data sampling units (UAD) were collected during 4 months of the dry season (May, June, August, and September), containing 8 subsamples denominated plots of combustible material (PMC). Non-destructive characteristics were sampled, such as: herbaceous height (Hth); litter height (Htm); number of species (NDE) and number of individuals (QTI), and variables obtained by the destructive method to obtain a load of live and dead fuel material in different diameter classes (time-lag-1-h, 10-h, 100- h, and 1000-h). Thus, after determining the fuel moisture and obtaining its dry mass, correlation analyses of the meteorological variables (temperature and relative humidity) with fuel moisture and between destructive and non-destructive characteristics were carried out regression to determine the fuel load in their respective classes. For the estimation of load, equations were obtained with values of  $R^2_{aj}$  varying from 0.12 to 0.73 to estimate of the load of live and dead fuels respectively, and it is not possible to adjust the equations for estimating the fuel humidity due to the fact that expressive correlations were not obtained. The results of the analysis of the main components showed the greater influence of the presence of fuels of the herbaceous stratum in the rate of consumption after the passage of the fire.

Keywords: Correlations. Fuel modeling. Moisture. Fuel consumption.

## 1 INTRODUÇÃO

O material combustível representa a matéria orgânica disponível para ignição e combustão e retrata o único fator relacionado ao fogo, que é passível de controle pela ação do homem (ROTHERMEL, 1972). A descrição e a quantificação do material combustível são fatores de extrema importância para o correto entendimento do comportamento do fogo e produzem informações de grande relevância para o seu manejo, realização de queimas prescritas, atividades de supressão do fogo e avaliação do perigo de ocorrências de incêndios florestais, além de permitirem a construção de modelos para determinação de carbono (GOULD; MCCAWE; CHENEY, 2011). O efetivo manejo do fogo, segundo Keane; Gray e Bacciu (2012), depende de uma abrangente, consistente e precisa descrição das características do combustível, que consequentemente ditarão o comportamento e os efeitos do fogo na vegetação.

O material combustível pode ser descrito quanto às suas características físicas, tais como: carga, profundidade, altura e densidade, e quanto ao seu conteúdo mineral (DAVIS, 1959; KEANE; GRAY; BACCIU, 2012). A carga de combustível, por exemplo, segundo Parresol; Blake e Thompson (2012), é um componente crítico de considerável influência na extensão dos incêndios e, ainda, Keane *et al.* (2013) destacam que as informações de carga do material combustível são extremamente necessárias, como parâmetro para quase todas as aplicações que envolvem incêndios florestais. No entanto, estudos considerando o conhecimento das características do material combustível superficial do bioma Cerrado, na geração de informações que sirvam de subsídio para seu correto manejo, são ainda pouco realizados.

A obtenção de informações quantitativas (*e.g.* carga), são espacial e temporalmente complexas (RICCARDI *et al.*, 2007; KEANE *et al.*, 2013), e em grandes áreas o levantamento de tais variáveis se torna inviável técnica e financeiramente (DUFF; BELL; YORK, 2012). Dessa forma, métodos indiretos, como a modelagem biofísica, podem ser usados para estimativa de parâmetros de difícil obtenção (KEANE *et al.*, 2001). Nesse sentido, Duff; Bell e York (2012) ressaltam ainda que pelo fato do material combustível ser uma consequência das propriedades da vegetação de um determinado local, é indiscutível que modelos biofísicos possam ser usados para predição de atributos quantitativos do combustível.

Estudos envolvendo modelagem do material combustível não são tão comuns e são realizados com diferentes objetivos, tais como: para a predição da taxa de incremento (e.g. GOULD; MCCAWE; CHENEY, 2011), na estimativa de carga de combustível superficial baseado na altura do leito (BATTAGLIA *et al.*, 2010), e avaliação das relações entre a composição da vegetação e a quantidade de combustível (DUFF; BELL; YORK, 2012; PARRESOL; BLAKE; THOMPSON, 2012). No Brasil, trabalhos envolvendo modelagem do combustível limitam-se à região sul do país, em estudos para a estimativa de carga de combustível superficial em florestas de *Araucaria*, *Pinus* e *Eucalyptus* (e.g. SOUZA; SOARES; BATISTA, 2003; BEUTLING *et al.*, 2012). Para o material combustível superficial de Cerrado, estudos envolvendo tal temática são raros.

Dentre as diversas características, o conhecimento da umidade do material combustível é essencial para a quantificação do perigo de ocorrência de um incêndio e serve como variável importante em modelos de comportamento do fogo (SULLIVAN, 2009). O conteúdo de umidade do combustível, conforme Slijepcevic *et al.* (2015), tem um papel de considerável importância no comportamento do fogo através do controle da inflamabilidade, velocidade de propagação, quantidade de combustível disponível e intensidade do fogo. Em longo prazo, o nível de umidade influencia na frequência de ocorrência de incêndios, sendo que, à medida que a quantidade de combustível seja suficiente, incêndios ocorrerão de forma mais constante em áreas de vegetação mais seca (CAWSON *et al.*, 2017).

A complexidade dos métodos de obtenção do conteúdo de umidade do combustível leva a uma desafiadora busca por estratégias que visem o desenvolvimento de modelos operacionais para o conhecimento dessa variável. Existem duas principais técnicas para a modelagem do conteúdo de umidade do combustível, segundo Matthews (2014), sendo: os modelos empíricos e; os modelos baseados em processos (*process-based*). De acordo com o autor, os modelos empíricos utilizam estatísticas para a construção de relações entre o conteúdo de umidade e as variáveis de entrada (condições meteorológicas, carga e características do local), obtidas de levantamentos de campo.

O desenvolvimento de modelos empíricos que relacionem o conteúdo de umidade do combustível com variáveis meteorológicas, avançaram em estudos com serapilheira de floresta tropical da Amazônia (RAY *et al.*, 2010), para combustíveis mortos de herbáceas na Austrália (*buttongrass moorlands*) (MARSDEN-SMEDLEY;

CATCHPOLE, 2001), e principalmente para áreas de *Pinus* (e.g. POOK; GILL, 1993; FERGUSON *et al.*, 2002; LIN, 2004; SAGLAM *et al.*, 2006; ALVES *et al.*, 2009). Estudos relacionando variáveis meteorológicas com a umidade do material combustível em fitofisionomias campestres de Cerrado necessitam ser realizados para o entendimento dessa dinâmica no bioma.

Outro conhecimento de considerável relevância e que está intimamente ligado às características do material combustível, está relacionado ao seu consumo pelo fogo. Conforme destaca Prichard *et al.* (2014), o consumo é um componente crítico para estimativa de emissões pelos incêndios florestais, para medir a efetividade de uma queima prescrita na redução da carga de combustível, para determinação da quantidade de calor liberado, dentre outros efeitos e severidade do fogo. Nesse sentido, Ottmar (2014) destaca que o consumo de combustível durante um incêndio é um processo básico, no qual leva às emissões de gases de efeito estufa em maiores ou menores proporções e consequentes impactos na atmosfera. Com exceções dos estudos de Kauffman *et al.* (1994) e Castro e Kauffman (1997), que ressaltaram a maior influência do componente herbáceo de fitofisionomias campestres e savânicas do Cerrado nas variáveis de comportamento do fogo e em suas taxas de consumo, pouco se tem de conhecimento da real participação das características do material combustível e também da influência da época da estação seca e do período de acúmulo do combustível.

## 1.1 HIPÓTESES

O estudo teve como base as seguintes hipóteses:

- (i) Existe relação entre a variável de altura das herbáceas ( $H_{th}$ ) e as variáveis de carga de combustível herbáceo (morto e vivo);
- (ii) Existe relação entre a variável de altura da manta ( $H_{tm}$ ) e as variáveis de carga de combustíveis lenhosos;
- (iii) O conteúdo de umidade do material combustível responde de forma significativa às variações na temperatura e umidade relativa do ar;
- (iv) Quanto às características intrínsecas do combustível, o material pertencente ao estrato herbáceo em condições de menor conteúdo de

umidade, é o componente de maior influência na taxa de consumo do combustível pelo fogo.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar as relações existentes entre as distintas variáveis de material combustível, para o desenvolvimento de modelos para estimativa de carga e umidade do combustível, bem como analisar as características intrínsecas do material combustível de maior influência no seu consumo pelo fogo, em área campestre de Cerrado, na região do Jalapão.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- (i) Entender as correlações entre as características do material combustível obtidas pelo método não destrutivo com as variáveis de carga das diferentes classes;
- (ii) Verificar a viabilidade do estabelecimento de relações de regressão para a estimativa de carga de combustível nas distintas classes;
- (iii) Compreender as relações entre umidade do material combustível superficial e a variação instantânea dos valores de temperatura e umidade relativa ambiente;
- (iv) Analisar as características relacionadas especificamente ao material combustível, que mais influenciam no seu consumo pelo fogo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

As informações sobre a área de estudo, bem como os tratamentos e procedimentos de amostragem do material combustível realizados para o alcance dos resultados do presente capítulo, estão descritas detalhadamente na seção de Material e Métodos do capítulo 1.

#### 3.1 INFORMAÇÕES DE CONSUMO DO MATERIAL COMBUSTÍVEL

Da mesma forma como era realizado para as PMCs, foram também demarcadas, por meio de sorteio, 8 parcelas de consumo de combustível. Após a amostragem de material combustível foram conduzidas queimas controladas em cada UAD do estudo, na qual, eram coletadas informações base para a determinação do comportamento do fogo. No entanto, o presente estudo focou na análise de características intrínsecas do material combustível em função da época de coleta, que melhor contribuiriam para o seu consumo pelo fogo.

Depois de realizadas as queimas controladas, procedia-se as coletas do material residual. Áreas com o período de um ano sem ocorrência de queima não entraram em ignição durante o experimento, o que totalizou 32 UADs em que o fogo não se propagou, considerando-se assim como parcelas com 0% de consumo.

O consumo de combustível foi quantificado em parcelas que possuíam uma área de 0,25 m<sup>2</sup>, de onde foi retirado todo o material residual, sendo que os resíduos mais finos depositados no solo eram retirados com auxílio de pincel trincha, pá e peneira, para a remoção de partículas de solo que ocasionariam variações na massa das amostras.

As amostras de consumo foram alocadas em sacos plásticos, sendo identificadas e encaminhadas ao laboratório para posterior secagem em estufa até atingir massa constante. Em seguida, foram determinadas as massas em balança de precisão para obtenção de sua massa seca e, conseqüente, determinação da quantidade residual de material combustível.

## 3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

### 3.2.1 Correlação e regressão entre as variáveis de material combustível

Com o intuito de se ter o conhecimento das relações entre o conteúdo de umidade do material combustível e sua mudança em relação às variações de temperatura e umidade relativa do ar e as relações entre as características destrutivas e não destrutivas, foi realizada a análise de correlação linear de Pearson. A análise de correlação entre as características, foi realizada com todas as variáveis de combustível obtidas, objetivando conhecer as variáveis que tiveram correlações significativas ( $p < 0,05$ ;  $p < 0,01$ ).

Tendo-se o conhecimento dos parâmetros de maior correlação, procedeu-se os ajustes de equações de regressão para estimativa das variáveis dependentes do estudo. As variáveis classificadas como dependentes foram a carga e umidade das classes de combustível. No entanto, não foram estabelecidas relações de regressão para a estimativa da umidade do combustível, por não se ter obtido correlações expressivas entre as variáveis, impossibilitando assim a significância estatística das equações. O mesmo não foi possível para as classes de combustível herbáceo vivo (HV), lenhoso vivo de 10-h (LV2), lenhoso vivo de 100-h (LV3), lenhoso morto de 10-h (LM2) e lenhoso morto de 100-h (LM3).

O método utilizado para o ajuste das equações de regressão lineares foi o de *Stepwise*. As melhores equações do estudo foram escolhidas, tendo-se como base a análise dos maiores valores dos coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_{aj}$ ), sendo que estes variam de 0 a 1. Além disso, para a escolha dos melhores modelos considerou-se também os menores valores do erro padrão da estimativa, absoluto ( $S_{yx}$ ) e percentual ( $S_{yx} \%$ ), e a análise gráfica dos resíduos. Na análise dos resíduos foram utilizados os resíduos padronizados, com média igual a zero e variância aproximadamente igual a 1, com valores fora do intervalo de 3 e -3 considerados como *outliers*.

### 3.2.2 Relações das características do combustível e seu consumo pelo fogo

Em relação às análises de consumo percentual (%) de combustível pelo fogo (COS), bem como a análise do material residual seco (MR em  $Mg\ ha^{-1}$ ), foi utilizada a

análise dos componentes principais, tendo como base a matriz de correlação. A realização da análise dos componentes principais teve como objetivo determinar as variáveis do material combustível (antes do fogo) que exerceram maior influência quanto à quantidade de material consumido pelo fogo. Assim, considerou-se também a separação do material combustível pelas características de idade do combustível (1 a 4 anos), e pelo mês de coleta (maio, junho, agosto e setembro), além das divisões entre os tipos de combustível (classes). Dentro das caixas, as informações numéricas estão apresentadas na seguinte ordem: (1) mês de coleta do combustível – (2) idade do combustível.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS DO COMBUSTÍVEL

Na TABELA 2.1 estão apresentados os coeficientes de correlação linear de Pearson entre a carga de material combustível (totais e por classe de diâmetro) e as variáveis do método não destrutivo: a) altura das herbáceas (Hth), b) altura da manta (Htm), c) número de espécies (NDE) e d) quantidade de indivíduos (QTI).

TABELA 2.1 - CORRELAÇÕES LINEARES DE ENTRE CARGA DO MATERIAL COMBUSTÍVEL E AS CARACTERÍSTICAS NÃO DESTRUTIVAS

Categoria	Classe	Características não destrutivas			
		Altura das herbáceas	Altura da manta	Número de espécies	Quantidade de indivíduos
Vivo	Herbáceo	-0,0608	-0,2151*	0,0277	0,0006
	Lenhoso (1-h)	0,2833**	0,3122**	0,2568**	0,1716
	Lenhoso (10-h)	0,3923**	0,1756*	-0,0937	-0,0733
	Lenhoso (100-h)	0,1315	0,0412	-0,1371	-0,0406
	Subtotal	0,2930**	0,1802*	0,1353	0,0989
Morto	Herbáceo	0,6840**	0,4398**	-0,4431**	-0,3394**
	Lenhoso (1-h)	0,4492**	0,7557**	-0,0746	-0,1984
	Lenhoso (10-h)	0,1140	0,2596**	0,1262	0,2007*
	Lenhoso (100-h)	-0,0408	0,1614	-0,0972	-0,2159*
	Subtotal	0,6164**	0,7129**	-0,2474**	-0,2674**
Vivo e Morto	Total	0,6116**	0,6343**	-0,1290	-0,1612

FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ .

Pode-se observar que as maiores correlações com as características não destrutivas foram das variáveis de combustível morto e total. Assim, para combustível herbáceo morto foram verificadas correlações significativas ( $p < 0,01$ ) com todas as características não destrutivas, com valor mais expressivo para Hth de  $r = 0,68$ , de  $r = 0,44$  para Htm, de  $r = -0,44$  para NDE e de  $r = -0,34$  para QTI. Enquanto que para combustível lenhoso morto de 1-h, as maiores correlações significativas com as variáveis obtidas por método não destrutivo foram apenas com Hth ( $r = 0,45$ ) e superiores com Htm ( $r = 0,76$ ) ( $p < 0,01$ ). Analisando o combustível total morto, observaram-se valores mais expressivos com a altura das herbáceas ( $r = 0,62$ ) e altura da manta ( $r = 0,71$ ). Seguindo a mesma tendência, para combustível total os coeficientes de correlação atingiram maiores valores de  $r = 0,61$  e  $r = 0,63$ , respectivamente para altura das herbáceas e altura da manta ( $p < 0,01$ ).

Quanto aos combustíveis vivos notaram-se correlações menos expressivas com as características não destrutivas, quando comparadas com os combustíveis mortos. As correlações de maior expressão foram de  $r = 0,39$  entre a carga de combustível lenhoso de 10-h e a altura das herbáceas, de  $r = 0,31$ ,  $r = 0,28$  e  $r = 0,26$  entre material lenhoso de 1-h e a altura da manta, a altura das herbáceas e o número de espécies, respectivamente. Por fim, a carga de combustível total vivo, com uma maior relação significativa ( $p < 0,01$ ) com a altura das herbáceas ( $r = 0,29$ ).

Cabe ser destacado o fato das variáveis NDE e QTI terem apresentado correlações significativas ( $p < 0,01$ ) inversas com algumas variáveis de combustível morto, em especial com a carga de combustível herbáceo e o subtotal de combustíveis mortos.

Na TABELA 2.2 são apresentados os ajustes das equações de regressão linear para a estimativa indireta das variáveis de carga de combustível, em suas classes. No geral, as variáveis de combustível morto (HM, LM1 e TM) apresentaram melhores resultados quanto ao coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) o erro padrão da estimativa absoluto e em porcentagem (Syx e Syx%), quando comparadas às variáveis de combustível vivo.

TABELA 2.2 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DE CARGA DE COMBUSTÍVEL

Variável dependente	Equações de Regressão	$R^2_{aj}$	Syx	Syx%
Herbáceo vivo	$1,0848 + (-0,2029) * Htm + \epsilon$	0,04	0,38	39,16
Lenhoso vivo (1-h)	$-0,8670 + (0,3779) * Htm + (0,2001) * NDE + (0,0281) * Hth + \epsilon$	0,23	0,58	39,39
Lenhoso vivo (10-h)	$-0,1856 + (0,0082) * Hth + \epsilon$	0,15	0,14	266,9
Total vivo	$0,0886 + (0,0435) * Hth + (0,1835) * NDE + \epsilon$	0,12	0,85	33,39
Herbáceo morto	$0,5767 + (0,0555) * Hth + (-0,0172) * QTI + (0,5221) * Htm + (-0,1671) * NDE + \epsilon$	0,63	0,45	39,05
Lenhoso morto (1-h)	$-0,4206 + (1,5391) * Htm + (0,0353) * Hth + \epsilon$	0,64	0,55	36,02
Lenhoso morto (10-h)	$-0,2639 + (0,1591) * Htm + (0,0147) * QTI + \epsilon$	0,12	0,19	351,2
Lenhoso morto (100-h)	$0,0780 + (-0,0044) * QTI + \epsilon$	0,04	0,07	716,2
Total morto	$0,0626 + (2,2581) * Htm + (0,0902) * Hth + (-0,1986) * NDE + \epsilon$	0,73	0,79	28,92
Total	$-0,0059 + (2,4735) * Htm + (0,1313) * Hth + \epsilon$	0,62	1,21	23,01

FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: Hth – altura das herbáceas; Htm – altura da manta; QTI – quantidade de indivíduos; NDE – número de espécies;  $R^2_{aj}$  – coeficiente de determinação ajustado; Syx – erro padrão da estimativa; Syx% - erro padrão da estimativa em porcentagem e  $\epsilon$  – erro do modelo.

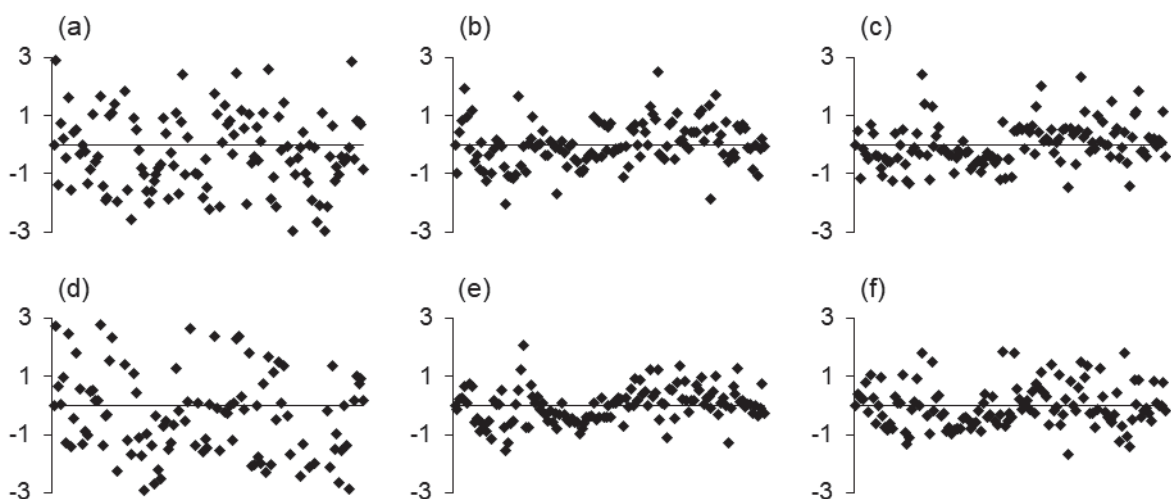
A equação para a estimativa da carga total do material morto (TM,  $p < 0,001$ ) alcançou o valor mais expressivo de  $R^2_{aj}$  (0,73), com um Syx% de 28,92. As variáveis HM e LM1 obtiveram valores de  $R^2_{aj}$  aproximados (0,63 e 0,64 respectivamente), com

valores de  $Syx\%$  de 39,09 da equação para estimativa de combustível herbáceo morto e de 36,02 para material lenhoso morto de 1-h. Na equação ajustada para estimativa de combustível total, o valor de  $R^2_{aj}$  foi de 0,62, com o menor valor de  $Syx\%$  (23,01) dentre as equações analisadas.

Os valores de coeficiente de determinação ajustado de menor expressividade das equações ajustadas foram em boa parte encontradas nas equações para a estimativa de combustíveis vivos. Assim, os piores ajustes foram obtidos para a estimativa de material herbáceo vivo, lenhoso vivo de 10-h e total vivo, com respectivos valores de  $R^2_{aj}$  de 0,04; 0,15; e 0,12. Os ajustes realizados para combustíveis lenhosos mortos de 10-h e 100-h também atingiram os piores valores (0,12 e 0,04, respectivamente) e obtiveram valores de  $Syx\%$  elevados (351,2 e 716,2%, respectivamente). Não foi possível o ajuste de equação para a carga de combustível lenhoso vivo de 100-h, por terem apresentados valores insignificantes.

Na FIGURA 2.1 é apresentada graficamente a distribuição dos resíduos padronizados das equações ajustadas para estimativa de carga ( $Mg\ ha^{-1}$ ) das variáveis de combustível do estudo.

FIGURA 2.1 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DE CARGA DAS VARIÁVEIS DE COMBUSTÍVEL



FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: (a) Resíduos da equação para estimativa de material lenhoso vivo de 1-h (LV1); (b) Resíduos da equação para estimativa de herbáceo morto (HM); (c) Resíduos da equação para estimativa de lenhoso morto de 1-h (LM1); (d) Resíduos da equação para estimativa de material total vivo (TV); (e) Resíduos da equação para estimativa de total morto (TM); (f) Resíduos da equação para estimativa de combustível total.

As maiores dispersões encontradas foram dos resíduos das equações ajustadas para estimativa de material lenhoso vivo de 1-h (FIGURA 2.1a) e total vivo (FIGURA 2.1d), com valores mais distantes da linha média (valor zero). Tais variáveis apresentaram menores valores de  $R^2_{aj}$  e maiores de  $S_{yx}$ .

A melhor distribuição dos resíduos foi da equação ajustada para estimativa de total morto (FIGURA 2.1e), cujos valores se encontram mais próximos da linha zero. Para herbáceo morto (FIGURA 2.1b), lenhoso morto de 1-h (FIGURA 2.1c) e combustível total (FIGURA 2.1f), as distribuições se mostraram semelhantes, sendo para o total, ligeiramente melhor distribuído.

#### 4.2 CORRELAÇÕES ENTRE UMIDADE DO COMBUSTÍVEL E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

A descrição estatística das variáveis de temperatura e umidade relativa e o conteúdo de umidade das classes do material combustível são apresentadas na TABELA 2.3. Os valores das variáveis meteorológicas tiveram uma variação considerável durante o período seco, onde a umidade relativa que apresentou uma média de 34,1%, atingiu valor máximo de 72,4% e mínimo de 12,3%. A temperatura obteve um valor médio de 29,6 °C com uma variação entre valores máximos e mínimos de 40,5 e 18,2 °C, respectivamente.

Em relação ao conteúdo de umidade das classes de combustível, notou-se que a classe que obteve maior variação foi a de combustível lenhoso vivo de 1 h, com média de 91,4% apresentando valores mínimos de 11,1% e máximos de 237,8%. A menor variação foi apresentada para combustível total morto e total, com valores mínimos de 0% e máximos de 48,4 e 120,8 respectivamente.

TABELA 2.3 - DESCRIÇÃO ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS OBTIDAS DO MOMENTO DAS COLETAS E DAS CLASSES DE COMBUSTÍVEL

	Variáveis meteorológicas		Umidade das classes de combustível vivo			Umidade das classes de combustível morto			Total
	UR (%)	T (°C)	HV (U%)	LV1 (U%)	TV (U%)	HM (U%)	LM1 (U%)	TM (U%)	T <sub>total</sub> (U%)
n	1024	1024	974	967	1017	885	898	983	1024
Mínimo	12,3	18,2	12,5	11,1	16,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo	72,4	40,5	192,9	237,8	183,5	48,4	47,6	48,4	120,8
Média	34,1	29,6	60,0	91,4	75,9	9,6	8,0	8,7	44,7
Dp	11,77	3,64	21,68	23,80	19,21	7,45	6,94	6,41	6,41
Ep	0,37	0,11	0,69	0,77	0,60	0,25	0,23	0,20	0,20

FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: T (°C) – temperatura em graus Celsius; UR (%) – umidade relativa em porcentagem; HV (U%) – umidade em porcentagem de combustível herbáceo vivo; LV1 (U%) – umidade em porcentagem de combustível lenhoso vivo de 1-h; HM (U%) Umidade em porcentagem de combustível herbáceo morto; LM1 (U%) - umidade em porcentagem de combustível lenhoso morto de 1-h; TV (U%) – umidade em porcentagem de combustível total vivo; TM (U%) - umidade em porcentagem de combustível total morto; T<sub>total</sub> (U%) - umidade em porcentagem de combustível total; n – quantidade de amostras coletadas; Dp – desvio padrão; Ep – erro padrão.

Na TABELA 2.4 são apresentados os resultados das correlações entre umidade das principais classes de combustível (predominantes na área) e as variáveis meteorológicas locais, no momento da coleta: temperatura ambiente (°C) e umidade relativa do ar (%). Dentre as correlações apresentadas na TABELA 2.4, não houve significância somente entre a temperatura e a umidade dos tipos de combustíveis HV, TV e combustível total ( $r = -0,0012$ ;  $-0,1314$  e  $-0,1543$  respectivamente).

TABELA 2.4 - CORRELAÇÕES ENTRE A UMIDADE DAS CLASSES DO COMBUSTÍVEL E AS VARIÁVEIS DE TEMPERATURA DO AR E UMIDADE RELATIVA

Variável	Umidade do material combustível vivo			Umidade do material combustível morto			Umidade total
	HV (U%)	LV1 (U%)	TV (U%)	HM (U%)	LM1 (U%)	TM (U%)	T <sub>total</sub> (U%)
Temperatura (°C)	-0,0012	-0,2295**	-0,1314	-0,2175*	-0,3345**	-0,2745**	-0,1543
Umidade relativa (%)	0,2501**	0,3567**	0,3416**	0,3885**	0,4024**	0,4131**	0,3695**

FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: HV (U%) – umidade em porcentagem de combustível herbáceo vivo; LV1 (U%) – umidade em porcentagem de combustível lenhoso vivo de 1-h; HM (U%) umidade em porcentagem de combustível herbáceo morto; LM1 (U%) - umidade em porcentagem de combustível lenhoso morto de 1-h; TV (U%) – umidade em porcentagem de combustível total vivo; TM (U%) - umidade em porcentagem de combustível total morto; T<sub>total</sub> (U%) - umidade em porcentagem de combustível total. \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ .

Apesar das correlações terem sido significativas entre as outras variáveis ( $p < 0,05$ ), os valores ficaram distantes de 1, não sendo possível a geração de modelos

de regressão para estimativa da umidade das classes analisadas. Ou seja, a umidade das classes de combustível de fitofisionomia campestre do Cerrado na região do Jalapão pouco pode ser explicada pela variação instantânea nas condições meteorológicas de temperatura e umidade relativa do ar.

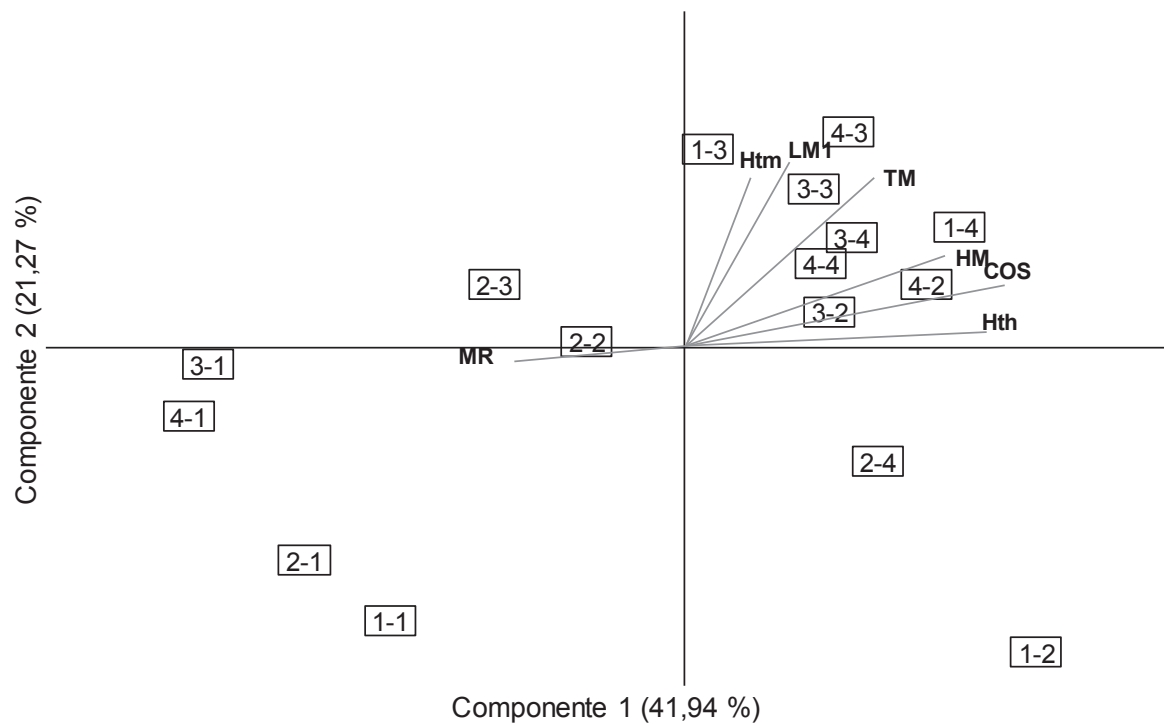
#### 4.3 CONSUMO DE MATERIAL COMBUSTÍVEL

Em termos percentuais, os valores de consumo do material combustível demonstraram-se superiores em áreas com 4 anos sem ocorrência de queima em combustíveis coletados no primeiro mês da estação seca (maio), com valores de 83,9%, e em áreas de 2, 3 e 4 anos sem queima, coletadas no último mês da estação seca (setembro), com valores de 82,7; 70,0; e 77,5%, respectivamente.

Para análise dos resultados relativos ao consumo de material combustível, foi realizada análise dos componentes principais, de modo a melhor visualizar quais características intrínsecas do combustível e em quais condições são mais relevantes e melhor contribuem para a taxa de consumo e a quantidade residual de combustível pós-queima (FIGURA 2.2).

Assim, observou-se a formação de quatro componentes principais, em que, o componente 1 explicou 41,9% da variação, sendo melhor representado pelas variáveis: altura das herbáceas (Hth), carga de combustível herbáceo morto (HM), material residual (MR), e o consumo percentual (COS). O componente 2, o qual explicou 21,3% da variação, foi representado pelas variáveis: altura da manta (Htm), carga de combustível lenhoso morto de 1-h (LM1), e carga de combustível total morto (TM). O componente 3, com uma representatividade de 11,2%, teve as variáveis de carga de combustível vivo: herbáceo vivo (HV), combustível lenhoso vivo de 1-h (LV1), e total vivo (TV). O quarto e último componente explicou 9,6% da variação, tendo sido representado pelas variáveis de combustível obtidas por método não destrutivo: número de espécies (NDE) e a quantidade de indivíduos (QTI).

FIGURA 2.2 - BIPLLOT RELATIVO À ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS LEVANDO-SE EM CONSIDERAÇÃO O CONSUMO DE MATERIAL COMBUSTÍVEL



FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: COS – consumo de material combustível; MR – material residual; Hth – altura das herbáceas; Htm – altura da manta; HM – combustível herbáceo morto; LM1 – combustível lenhoso morto de 1-h; TM – combustível total morto. Dentro das caixas estão identificados os tratamentos do estudo na seguinte ordem: MCC–PSQ.

A FIGURA 2.2 representa graficamente (*biplot*) os resultados da análise, com o enfoque para o componente 1, contendo as variáveis de consumo (COS e MR) e as características do material combustível mais associadas ao consumo pelo fogo, além do componente 2 com a segunda maior representatividade da análise.

## 5 DISCUSSÃO

Analisando as relações entre os diferentes tipos e classes de combustível superficial demonstradas na TABELA 2.1, observou-se baixas e nulas correlações das variáveis obtidas por método não destrutivo com as classes de combustível vivo. Tal comportamento pode ser explicado pelo fato das coletas terem sido realizadas durante a estação seca, na qual, combustíveis vivos apresentam suas menores proporções e conseqüentemente inferiores capacidades de resposta às variações em seus fatores indiretos. Exemplo disso, foi observado pela nula correlação entre carga de combustível herbáceo vivo (HV) e sua própria variável de altura (Hth).

Quanto aos combustíveis mortos, onde estão incluídos os materiais finos de 1-h, cujo diâmetro é inferior a 0,7 cm e combustível herbáceo morto, pode-se constatar boas correlações com as características não destrutivas (TABELA 2.1). Para combustível herbáceo morto (HM), especificamente, observam-se também relações inversas e significativas com a quantidade de espécies e o número de espécies presentes no local. Ou seja, à medida que se aumenta o recobrimento por indivíduos herbáceos, a quantidade total de indivíduos e de espécies diminuem devido à menor tolerância ao sombreamento de determinadas espécies pioneiras (SOARES; BATISTA; TETTO, 2017).

Ainda baseado na análise dos resultados da TABELA 2.1, foi possível observar correlação significativa entre a altura da manta e a carga de combustível lenhoso morto de 1-h (LM1), corroborando com a hipótese de relação entre tais variáveis. A boa relação se dá pelo fato da variável altura da manta (Htm) estar diretamente associada à presença de detritos lenhosos e serapilheira. Também pode ser observado uma expressiva correlação entre Htm e a quantidade de material combustível total e a quantidade total de material morto. Outra característica não destrutiva de material combustível que obteve uma correlação significativa, foi a carga de combustível herbáceo morto com a altura das herbáceas, a qual, representa um parâmetro indireto da vegetação e que pode ser utilizada para estimativa de HM.

As equações ajustadas para estimativa de material combustível nas diferentes classes seguiram comportamento semelhante às correlações apresentadas, sendo que os maiores valores de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) foram encontrados para a estimativa de combustíveis mortos (TABELA 2.2). Apesar da fraca correlação entre as características não destrutivas e as do combustível vivo, os

resultados do presente estudo, quando comparados com outros trabalhos, podem ser considerados satisfatórios. Trabalhando em cultivos de *Pinus* na região sul do Brasil, Beutling *et al.* (2012) obtiveram valores de  $R^2_{aj}$  dentre equações lineares e não lineares para estimativa de carga total, variando de 0,59 a 0,68. Souza; Soares e Batista (2003), também em cultivos de *Pinus*, apresentaram equações com uma variação nos valores de  $R^2_{aj}$  de 0,64 a 0,69. Considerando a idade do combustível arbustivo em florestas de eucalipto, Gould; Mccaw e Cheney (2011) apresentaram equações de regressão não lineares com valores de  $R^2_{aj}$  de 0,70 e 0,74, para obtenção de carga de combustível. Em florestas de *Pinus* nos Estados Unidos, Parresol; Blake e Thompson (2012) apresentaram valores de coeficiente de determinação ajustado, variando de 0,026 a 0,97 para estimativa de carga em diferentes tipos de combustível, enquanto Battaglia *et al.* (2010), trabalhando em florestas mistas de coníferas, obtiveram valores de  $R^2_{aj}$  de 0,67 e 0,76. Observou-se, portanto, a grande escassez de trabalhos no bioma Cerrado envolvendo o ajuste de relações de regressão para estimativa das variáveis de combustível de fitofisionomia campestre.

Quanto à influência das variáveis de temperatura e umidade relativa do ar nas mudanças do conteúdo de umidade do combustível, apesar da inexistência de estudos no Cerrado para fins de comparação envolvendo tais relações, os resultados apresentados no presente estudo não foram satisfatórios, não sendo possível estabelecer relações de regressão para estimativa de umidade de combustível (TABELA 2.4). Diferentemente dos resultados deste trabalho, Alves *et al.* (2009), em estudo similar no sul do Brasil, porém, testando duas diferentes metodologias, obtiveram correlação positiva com UR ( $r = 0,4$  e  $0,81$ ) e inversa com temperatura ( $r = -0,45$  e  $-0,79$ ). Saglam *et al.* (2006), em área de *Pinus*, obtiveram correlação da umidade do combustível com a umidade relativa e a temperatura de  $r = 0,71$  e  $-0,74$ , respectivamente, enquanto Lin (2004) encontrou valores de variando de  $r = -0,34$  a  $0,73$  para temperatura e umidade relativa, respectivamente. Entre os poucos trabalhos com combustível herbáceo morto (*buttongrass moorlands*), Marsden-Smedley e Catchpole (2001) encontraram correlações entre T e UR de  $r = -0,78$  e  $0,82$  respectivamente. Ambos os trabalhos citados (e.g. MARS DEN-SMEDLEY; CATCHPOLE, 2001; LIN, 2004; SAGLAM *et al.*, 2006; ALVES *et al.*, 2009) se fizeram possíveis o ajuste de modelos de regressão para estimativa indireta do conteúdo de umidade do material combustível.

A pequena resposta da umidade de combustíveis do Cerrado às mudanças de temperatura e umidade relativa do ar, demonstrada na TABELA 2.4, pode ser explicada pela amplitude de variação em um curto período das variáveis meteorológicas durante a estação seca. A umidade do combustível vivo e morto, segundo Schroeder e Buck (1970), possuem diferentes mecanismos de retenção de água e distintas respostas ao ambiente. Segundo os autores, plantas herbáceas perenes possuem profundos e fortes sistemas radiculares e são um menos sensíveis às mudanças de temperatura e umidade superficial do solo em um curto prazo. O tipo de material combustível do estudo, que em sua grande parte é pertencente ao estrato herbáceo-arbustivo, encontrando-se fisiologicamente ativo ou ainda realizando boa parte das trocas de umidade com o solo através de suas raízes. Devido a este fato, podem ser menos capazes de responder às rápidas mudanças de temperatura e umidade relativa.

Os estudos relatados anteriormente (e.g. LIN, 2004; SAGLAM *et al.*, 2006; ALVES *et al.*, 2009) trabalharam com acículas de *Pinus* senescentes depositadas no solo, as quais já não estabelecem nenhum tipo de atividade fisiológica, com exceção de Marsden-Smedley e Catchpole (2001), que realizaram estudo em vegetação herbácea morta, porém, uma espécie de distribuição bastante homogênea, característica daquele local. Outro fator que pode ter contribuído para as baixas relações, está relacionado à heterogeneidade do material combustível presente em áreas campestres de Cerrado, acrescentado aos diferentes estados fisiológicos do material vegetal, conforme discutido anteriormente. Apesar da pouca variação da umidade do combustível em resposta instantânea às variações meteorológicas, a umidade responde de melhor maneira em prazos mais longos, como por exemplo, quando se analisa o comportamento da umidade do material combustível desde o início ao final da estação seca. Contudo, é necessário serem realizados novos estudos em combustíveis superficiais de áreas campestres para que se chegue a melhores conclusões acerca do tema.

Quanto aos resultados da análise dos componentes principais relacionados ao consumo de combustível, analisando-se o componente 1 representado no *biplo*t (FIGURA 2.2), observou-se que o maior consumo (COS) e a menor quantidade de material residual (MR) pós-queima esteve inteiramente relacionado à presença de combustível herbáceo morto (HM) e a altura do componente herbáceo (Hth), ambas quando observadas nos meses finais da estação seca (agosto e setembro) e com

maiores períodos sem ocorrência de queima. Observou-se que a taxa percentual de consumo e a quantidade de material residual pós-queima se encontram em posições opostas, ou seja, se comportam de maneira inversa. A influência do combustível herbáceo morto, da altura das herbáceas e as distintas épocas de coleta em diferentes períodos sem ocorrência de queima são comprovadas pelos maiores valores (positivos) dos fatores representativos.

Os resultados mencionados demonstram uma segregação entre os combustíveis mortos do estrato herbáceo e as outras classes de combustível morto, em que, HM apresentou maior influência no consumo pelo fogo. Tais resultados demonstram a alta inflamabilidade de combustíveis herbáceos presentes na área (e.g. SANTOS *et al.*, 2018; HOFFMANN *et al.*, 2012), os quais são espacialmente melhor distribuídos e apresentam alta relação superfície-volume de suas folhas, o que facilita a absorção de calor (ETLINGER; BEALL, 2004; GANTEAUME *et al.*, 2013) e trocas de umidade com o ambiente (SCHROEDER; BUCK, 1970).

Analisando o consumo pelo fogo de combustível no Cerrado em diferentes fitofisionomias, Castro e Kauffman (1997) encontraram maiores consumos em fitofisionomias relacionadas com maior presença de material combustível herbáceo. De forma semelhante, Kauffman *et al.* (1994), também em área de Cerrado, destacaram que as herbáceas tiveram maiores proporções de combustível consumido e que inclusive as altas taxas de energia liberada pelo fogo e a obtenção de uma combustão mais completa estiveram diretamente relacionadas à predominância de material combustível herbáceo. É importante relatar, portanto, a importância do conhecimento das características do material combustível, as quais, conjuntamente com as condições meteorológicas e topográficas, definirão a maior ou menor severidade do fogo e conseqüentemente a quantidade de combustível consumido (OTTMAR, 2014; LYDERSEN *et al.*, 2014; PRICHARD *et al.*, 2014).

## 6 CONCLUSÕES

As classes de material combustível vivo apresentaram relações inexpressivas com as variáveis obtidas pelo método não destrutivo do estudo.

A relação significativa das características não destrutivas (principalmente altura das herbáceas, altura da manta e número de espécies) com as classes de combustível morto possibilitou o melhor ajuste de modelos de regressão para a estimativa de carga de combustíveis mortos e pouco expressivos para a estimativa de combustíveis vivos.

As relações entre a umidade do material combustível e as variáveis meteorológicas (temperatura e umidade relativa do ar) foram pouco expressivas, não sendo possível o ajuste de equações de regressão entre tais variáveis.

Os resultados da análise dos componentes principais demonstraram que as variáveis de material combustível herbáceo morto e sua altura, provenientes de áreas com maiores períodos sem queima e que tenham sido coletados nos meses finais da estação seca, foram os parâmetros de maior influência quanto ao consumo de combustível pelo fogo.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, M.V.G.; BATISTA, A.C.; SOARES, R.V.; KOEHLER, H.S.; PEREIRA, J.F. Modelagem de umidade do material combustível, baseada em variáveis meteorológicas. **Revista Floresta**, Curitiba, v.39, n.1, p.167-174, 2009.
- BARRADAS, A.C.S; BORGES, M.A.; COSTA, M.M. Gestão da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. **Mapa das áreas com diferentes períodos sem ocorrência de queimas e incêndios na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. Rio da Conceição: ICMBio, 2017. Escala desconhecida.
- BATTAGLIA, M.A.; ROCCA, M.E.; RHOADES, C.C.; RYAN, M.G. Surface fuel loadings within mulching treatments in Colorado coniferous forests. **Forest Ecology and Management**, v.260, p.1557-1566, 2010.
- 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*. **Revista Floresta**, Curitiba, v.42, n.3, p.443-452, 2012.
- CASTRO, E.A.; KAUFFMAN, J.B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, v.14, p.263–283, 1998.
- CAWSON, J.G.; DUFF, T.J.; TOLHURST, K.G.; BAILLIE, C.C.; PENMAN, T.D. Fuel moisture in Mountain Ash forests with contrasting fire histories. **Forest Ecology and Management**, v.400, p.568–577, 2017.
- DAVIS, K.P. 1959. **Forest fire**: control and uses. McGraw-Hill, New York.
- DUFF, T.J.; BELL, T.L.; YORK, A. Predicting continuous variation in forest fuel load using biophysical models: a case study in south-eastern Australia. **International Journal of Wildland Fire**, v.22, p.318-332, 2012.
- ETLINGER, M.G.; BEALL, F.C. Development of a laboratory protocol for fire performance of landscape plants. **International Journal of Wildland Fire**, v.13, n. 4, p.479–488, 2004.
- FERGUSON, S.A.; RUTHFORD, J.E.; MCKAY, S.J.; WRIGHT, D.; WRIGHT, C.; OTTMAR, R. Measuring moisture dynamics to predict fire severity in longleaf pine forests. **International Journal of Wildland Fire**, v.11, p.267–279, 2002.
- GANTEAUME, A.; JAPPIOT, M.; LAMPIN, C.; GUIJARRO, M.; HERNANDO, C. Flammability of Some Ornamental Species in Wildland–Urban Interfaces in Southeastern France: Laboratory Assessment at Particle Level. **Environmental Management**, v.52, p.467–480, 2013.
- GOULD, J.S.; MCCAWE, 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.

HOFFMANN, W.A.; JACONIS, S.Y.; MCKINLEY, K.L.; GEIGER, E.L.; GOTSCH, S.G.; FRANCO, A.C. Fuels or microclimate? Understanding the drivers of fire feedbacks at savanna–forest boundaries. **Austral Ecology**, v.37, p.634–643, 2012.

KAUFFMAN, J.B.; CUMMINGS, D.L.; WARD, D.E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. **Journal of Ecology**, v.82, n.3, p.519-531, 1994.

KEANE, R.E.; BURGAN, R.; van WAGTENDONK, J. Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: integrating remote sensing, GIS and biophysical modelling. **International Journal of Wildland Fire**, v.10, p.301–319, 2001.

KEANE, R.E.; GRAY, K.; BACCIU, V. 2012. **Spatial variability of wildland fuel characteristics in northern Rocky Mountain ecosystems**. Res. Pap. RMRS-RP-98. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 56 p.

KEANE, R.E.; HERYNK, J.M.; TONEY, C.; URBANSKI, S.P.; LUTES, D.C.; OTTMAR, R.D. Evaluating the performance and mapping of three fuel classification systems using Forest Inventory and Analysis surface fuel measurements. **Forest Ecology and Management**. v.305, p.248-263, 2013.

LIN, C.C. Modeling fine dead fuel moisture in Taiwan red pine forests. **Taiwan Journal of Forest Science**, v.19, p.27–32, 2004.

LYDERSEN, J.M.; COLLINS, B.M.; EWELL, C.M.; REINER, A.L.; FITES, J.A.; DOW, C.B.; GONZALEZ, P.; SAAH, D.S.; BATTLES, J.J. Using field data to assess model predictions of surface and ground fuel consumption by wildfire in coniferous forests of California. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v.119, p.223-235, 2014.

MARSDEN-SMEDLEY, J.B.; CATCHPOLE, W.R.; Fire modelling in Tasmanian buttongrass moorlands. III - Dead fuel moisture. **International Journal of Wildland Fire**, v.10, p.241–253, 2001.

MATTHEWS, S. Dead fuel moisture research: 1991–2012. **International Journal of Wildland Fire**, v.23, p.78–92, 2014.

OROZCO FILHO, J.C. Departamento de Geografia da Universidade Federal de Brasília. **Mapa das fitofisionomias do Cerrado que ocorrem na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. (Adaptado) Brasília: UNB, 2017. Escala 1:800.000.

OTTMAR, R.D. Wildland fire emissions, carbon, and climate: Modeling fuel consumption. **Forest Ecology and Management**, v.317, p.41-50, 2014.

PARRESOL, B.R.; BLAKE, J.I.; THOMPSON, A.J. Effects of overstory composition and prescribed fire on fuel loading across a heterogeneous managed landscape in the southeastern USA. **Forest Ecology and Management**, v.273, p.29–42, 2012.

- POOK, E.W; GILL, A.M. Variation of live and dead fine fuel moisture in *Pinus radiata* plantations of the Australian Capital Territory. **International Journal of Wildland Fire**, v.3, p.155-168, 1993.
- PRICHARD, S.J., E.C. KARAU, R.D. OTTMAR, M.C. KENNEDY, J.B. CRONAN, C.S. WRIGHT, AND R.E. KEAN. A comparison of the CONSUME and FOFEM fuel consumption models using field data collected in the southeastern United States. **Canadian Journal of Forest Research**, v.44, n.7, p.784–795, 2014.
- RAY, D.; NEPSTAD, D.; BRANDO, P. Predicting moisture dynamics of fine understory fuels in a moist tropical rainforest system: results of a pilot study undertaken to identify proxy variables useful for rating fire danger. **New Phytologist**, v.187, p.720–732, 2010.
- RICCARDI, C.L.; OTTMAR, R.D.; SANDBERG, D.V.; ANDREU, A.; ELMAN, E.; KOPPER, K.; LONG, J. The fuelbed: a key element of the fuel characteristic classification systems. **Canadian Journal of Forest Research**, v.37, p.2394–2412, 2007.
- ROTHERMEL, R.C. 1972. **A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels**. USDA Forest Service Research Paper INT-115.
- SANTOS, M.M.; BATISTA, A.C.; CARVALHO, E.V. de; SILVA, F.C. da; PEDRO, C.M.; GIONGO, M. Relationships between moisture content and flammability of campestrial Cerrado species in Jalapão. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**, Recife, v.13, n.4, 2018.
- SLIJEPCEVIC, A.; ANDERSON, W.R.; MATTHEWS, S.; ANDERSON, D.H. Evaluating models to predict daily fine fuel moisture content in eucalypt forest. **Forest Ecology and Management**, v.335, p.261–269, 2015.
- SAGLAM, B.; BILGILI, E.; KUÇUK, O.; DINC DURMAZ, B. Determination of Surface Fuels Moisture Contents Based on Weather Conditions. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOREST FIRE RESEARCH, 5., 2006, Coimbra. **[Annals...]**. Coimbra: ADAI: CEIF, 2006. 9 p.
- SCHROEDER, M. J.; BUCK, C. C. **Fire weather**: a guide for application of meteorological information to forest fire control operations. Washington, D.C., US Dep. Agric. 1970, 229 p.
- SOARES, R.V.; BATISTA, A.C.; TETTO, A.F. **Incêndios florestais**: controle, efeitos e uso do fogo. 2. ed. Curitiba: 2017. 255 p.
- SOUZA, L.J.B. de; SOARES, R.V.; BATISTA, A.C. Modelagem do material combustível superficial em povoamentos de *Eucalyptus dunnii*, em três barras, SC. **Cerne**, Lavras, v.9, n.2, p.231-245, 2003.
- SULLIVAN, A.L. Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 2: Empirical and quasi-empirical models. **International Journal of Wildland Fire**, v.18, p.369–386, 2009.

## APÊNDICE 1 – MÉDIAS DAS VARIÁVEIS DE MATERIAL COMBUSTÍVEL

Variável	Período sem queima	Mês de coleta do material combustível					
		Maio	Junho	Agosto	Setembro		
Variáveis obtidas por método não destrutivo	Altura das herbáceas	1 ano	25,42 Ba	19,68 Cab	18,88 Bb	18,36 Cb	
		2 anos	34,16 Aa	25,22 BCb	30,59 Aab	34,48 Aa	
		3 anos	29,45 ABa	29,46 ABa	32,94 Aa	35,26 Aa	
		4 anos	34,09 Aa	33,09 Aab	33,88 Aa	27,15 Bb	
		CV (%)			16,43		
		F (interação)			4,49		
		Altura da manta	1 ano	0,2 Ba	0,32 Aa	0,37 Ba	0,36 Ba
			2 anos	0,26 Bb	0,53 Aab	0,62 ABab	0,67 ABa
			3 anos	1,09 Aa	0,7 Aa	0,7 ABa	0,96 Aa
			4 anos	0,89 Aa	0,6 Aa	0,75 Aa	0,62 ABa
	CV (%)			28,11			
	F (interação)			2,84			
	Número de espécies	1 ano	6,83 Aab	6,78 ABab	7,86 Aa	6,23 Ab	
		2 anos	6,55 ABa	7,53 Aa	6,64 Ba	5,36 Ab	
		3 anos	7,17 Aa	6,89 Aab	7,06 ABa	5,80 Ab	
		4 anos	5,55 Ba	5,69 Ba	6,50 Ba	5,39 Aa	
	CV (%)			13,21			
	F (interação)			2,23			
	Quantidade de indivíduos	1 ano	16,45 Aa	16,61 ABa	17,23 Aa	13,50 Aa	
		2 anos	15,42 ABa	19,65 Aa	17,38 Aa	11,16 Ab	
		3 anos	15,45 ABa	16,06 ABa	16,27 Aa	12,94 Aa	
		4 anos	12,23 Bb	13,78 Bab	16,48 Aa	13,08 Aab	
	CV (%)			10,26			
	F (interação)			1,88			
Variáveis obtidas por método destrutivo	Herbáceo vivo	1 ano	1,49 Aa	1,27 Aab	1,19 Aab	1,11 Ab	
		2 anos	1,31 Aa	0,72 Bb	0,79 Bb	0,91 Ab	
		3 anos	0,93 Ba	0,81 Bab	0,82 Bab	0,57 Bb	
		4 anos	0,92 Ba	1,26 Aa	0,94 ABa	0,39 Bb	
		CV (%)			7,00		
		F (interação)			4,81		
		Lenhoso vivo de 1-h	1 ano	1,27 Ba	1,34 Aa	1,45 Aa	1,21 Aa
			2 anos	1,60 ABa	1,36 Aa	1,53 Aa	1,26 Aa
			3 anos	2,24 Aa	1,37 Aab	2,02 Aa	1,21 Ab
			4 anos	1,54 ABab	1,15 Ab	2,02 Aa	0,93 Ab
	CV (%)			26,15			
	F (interação)			1,29			
	Total Vivo	1 ano	2,80 Aa	2,61 Aa	2,64 Aa	2,29 Aa	
		2 anos	3,03 Aa	2,08 Aa	2,32 Aa	2,21 Aa	
		3 anos	3,27 Aa	2,21 Aab	2,91 Aab	2,13 Ab	
		4 anos	2,70 Aa	2,54 Aa	3,23 Aa	1,61 Ab	
	CV (%)			17,74			
	F (interação)			1,54			
	Herbáceo Morto	1 ano	0,14 Da	0,07 Da	0,33 Ba	0,34 Ba	
		2 anos	0,92 Cb	0,48 Cc	1,50 Aa	1,82 Aa	
		3 anos	1,31 Bb	1,14 Bb	1,54 Aab	1,89 Aa	
		4 anos	2,10 Aa	1,74 Aab	1,35 Ab	1,70 Aab	
	CV (%)			7,62			
	F (interação)			8,19			
	Lenhoso morto de 1-h	1 ano	0,53 Bbc	0,37 Bc	1,18 Ba	0,96 Bab	
		2 anos	0,74 Bc	1,02 Abc	1,57 ABab	2,16 Aa	
		3 anos	2,62 Aa	1,57 Aa	2,23 Aa	2,33 Aa	
		4 anos	1,99 Aa	1,23 Ab	2,37 Aa	1,62 ABab	
	CV (%)			27,07			
	F (interação)			3,14			
	Total morto	1 ano	0,77 Cbc	0,45 Cc	1,55 Ba	1,30 Bab	
		2 anos	1,70 Bb	1,54 Bb	3,08 Aa	4,03 Aa	
		3 anos	4,27 Aa	2,71 Ab	3,88 Aa	4,28 Aa	
		4 anos	4,31 Aa	2,98 Ab	3,64 Aab	3,34 Aab	
	CV (%)			10,80			
	F (interação)			4,67			
	Total	1 ano	3,57 Ba	3,06 Ca	4,19 Ba	3,59 Ba	
		2 anos	4,74 Bab	3,62 BCb	5,40 ABa	6,24 Aa	
		3 anos	7,54 Aa	4,92 ABb	6,79 Aab	6,40 Aab	
		4 anos	7,01 Aa	5,52 Aab	6,87 Aa	4,95 ABb	
	CV (%)			12,34			
	F (interação)			1,99			

FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: CV (%) – coeficiente de variação em porcentagem. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula e minúscula não diferenciam entre si na coluna e na linha, respectivamente, pelo teste Tukey a 5% de significância.

**APÊNDICE 2 – FICHA DE MATERIAL COMBUSTÍVEL**

UAD

Nº DA MC	ALTURA DAS HERBÁCEAS (cm)	ALTURA DA MANTA (cm)	Nº DE IND		MASSA DO MATERIAL (gramas)								FOTOGRAFIA				
			NDE	QTI	VIVO				MORTO				T (°C)	Umidade %	Hora	Foto a 1,5 m	
					HER	< 0,7	0,7-2,5	2,5-7,6	> 7,6	HER	< 0,7	0,7-2,5					2,5-7,6
MC1																	
MC2																	
MC3																	
MC4																	
MC5																	
MC6																	
MC7																	
MC8																	

NDE – Número de diferentes espécies | QTI – Quantidade total de indivíduos | HER – Herbáceo

Nº DA MC	MASSA DO MATERIAL (gramas) – AMOSTRAS CAMPO													
	VIVO				MORTO									
	HER	< 0,7	0,7-2,5	2,5-7,6	> 7,6	HER	< 0,7	0,7-2,5	2,5-7,6	> 7,6				
MC1														
MC2														
MC3														
MC4														
MC5														
MC6														
MC7														
MC8														

HER – Herbáceo

### APÊNDICE 3 – FOTOGRAFIAS DAS ÁREAS COLETADAS NO MÊS DE MAIO

UAD: 01 – 3 anos



UAD: 05 – 4 anos



UAD: 09 – 4 anos



UAD: 13 – 2 anos



UAD: 17 – 2 anos



UAD: 23 – 1 ano



UAD: 28 – 3 anos



UAD: 32 – 3 anos



UAD: 02 – 4 anos



UAD: 06 – 4 anos



UAD: 10 – 2 anos



UAD: 14 – 2 anos



UAD: 18 – 1 ano



UAD: 25 – 1 ano



UAD: 29 – 3 anos



UAD: 03 – 4 anos



UAD: 07 – 4 anos



UAD: 11 – 2 anos



UAD: 15 – 2 anos



UAD: 19 – 1 ano



UAD: 26 – 3 anos



UAD: 30 – 3 anos



UAD: 04 – 4 anos



UAD: 08 – 4 anos



UAD: 12 – 2 anos



UAD: 16 – 2 anos



UAD: 20 – 1 ano



UAD: 27 – 3 anos



UAD: 31 – 3 anos



FONTE: O autor (2019).

## APÊNDICE 4 - FOTOGRAFIAS DAS ÁREAS COLETADAS NO MÊS DE JUNHO

UAD: 33 – 3 anos



UAD: 34 – 3 anos



UAD: 35 – 3 anos



UAD: 36 – 3 anos



UAD: 37 – 3 anos



UAD: 38 – 3 anos



UAD: 39 – 3 anos



UAD: 40 – 3 anos



UAD: 41 – 2 anos



UAD: 42 – 2 anos



UAD: 43 – 2 anos



UAD: 44 – 2 anos



UAD: 45 – 2 anos



UAD: 46 – 2 anos



UAD: 47 – 2 anos



UAD: 48 – 2 anos



UAD: 49 – 1 ano



UAD: 50 – 1 ano



UAD: 51 – 1 ano



UAD: 52 – 1 ano



UAD: 53 – 1 ano



UAD: 54 – 1 ano



UAD: 55 – 1 ano



UAD: 56 – 1 ano



UAD: 57 – 4 anos



UAD: 58 – 4 anos



UAD: 59 – 4 anos



UAD: 60 – 4 anos



UAD: 61 – 4 anos



UAD: 62 – 4 anos



UAD: 63 – 4 anos



UAD: 64 – 4 anos



FONTE: O autor (2019).

## APÊNDICE 5 - FOTOGRAFIAS DAS ÁREAS COLETADAS NO MÊS DE AGOSTO

UAD: 65 – 4 anos



UAD: 69 – 4 anos



UAD: 73 – 3 anos



UAD: 77 – 3 anos



UAD: 81 – 2 anos



UAD: 85 – 2 anos



UAD: 89 – 1 ano



UAD: 93 – 1 ano



UAD: 66 – 4 anos



UAD: 70 – 4 anos



UAD: 74 – 3 anos



UAD: 78 – 3 anos



UAD: 82 – 2 anos



UAD: 86 – 2 anos



UAD: 90 – 1 ano



UAD: 94 – 1 ano



UAD: 67 – 4 anos



UAD: 71 – 4 anos



UAD: 75 – 3 anos



UAD: 79 – 3 anos



UAD: 83 – 2 anos



UAD: 87 – 2 anos



UAD: 91 – 1 ano



UAD: 95 – 1 ano



UAD: 68 – 4 anos



UAD: 72 – 4 anos



UAD: 76 – 3 anos



UAD: 80 – 3 anos



UAD: 84 – 2 anos



UAD: 88 – 2 anos



UAD: 92 – 1 ano



UAD: 96 – 1 ano



FONTE: O autor (2019).

## APÊNDICE 6 - FOTOGRAFIAS DAS ÁREAS COLETADAS NO MÊS DE SETEMBRO



FONTE: O autor (2019).

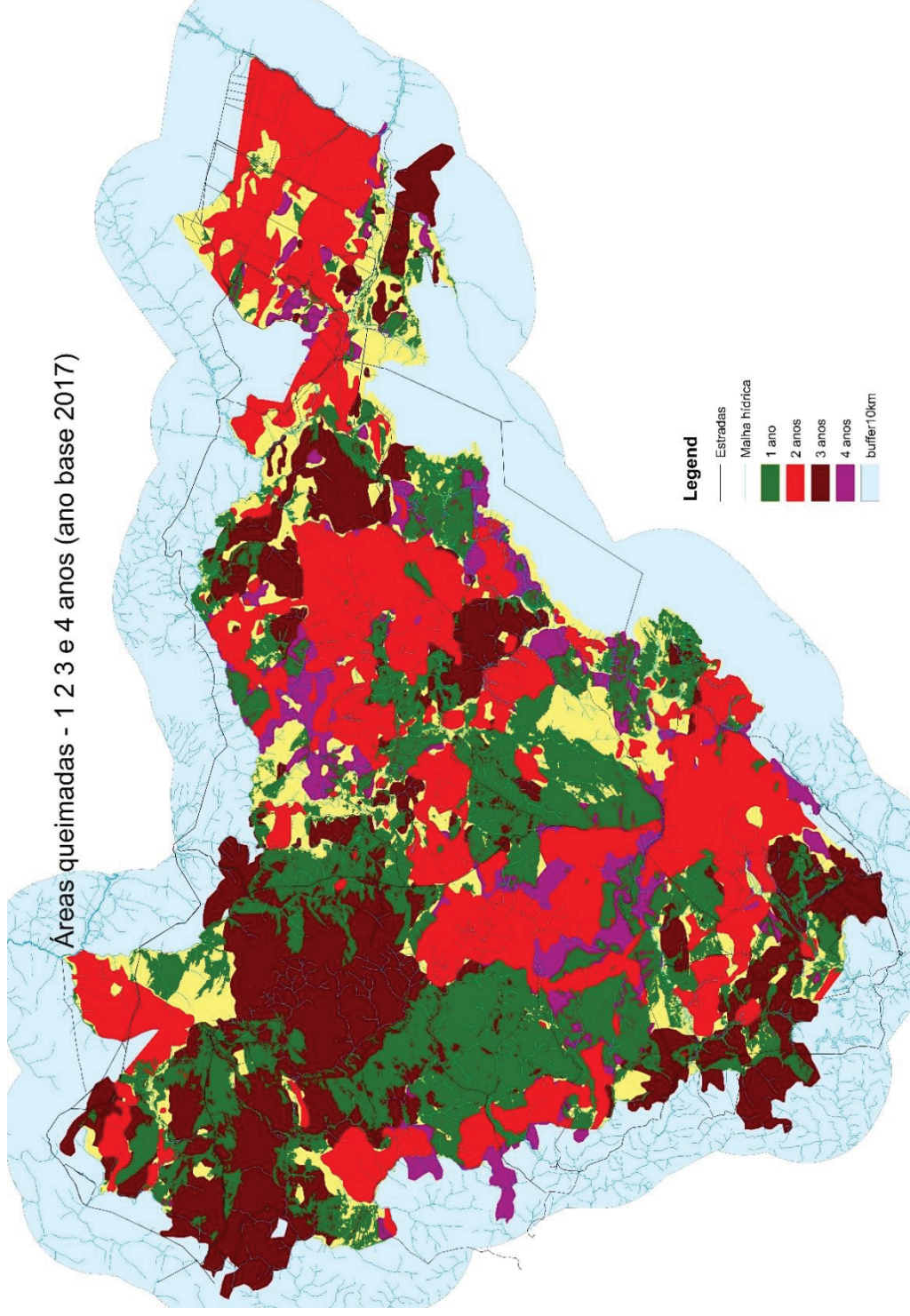
## APÊNDICE 7 – FOTOGRAFIAS AÉREAS DAS ÁREAS DE AMOSTRAGEM



FONTE: G.R. van der Werf (2017).

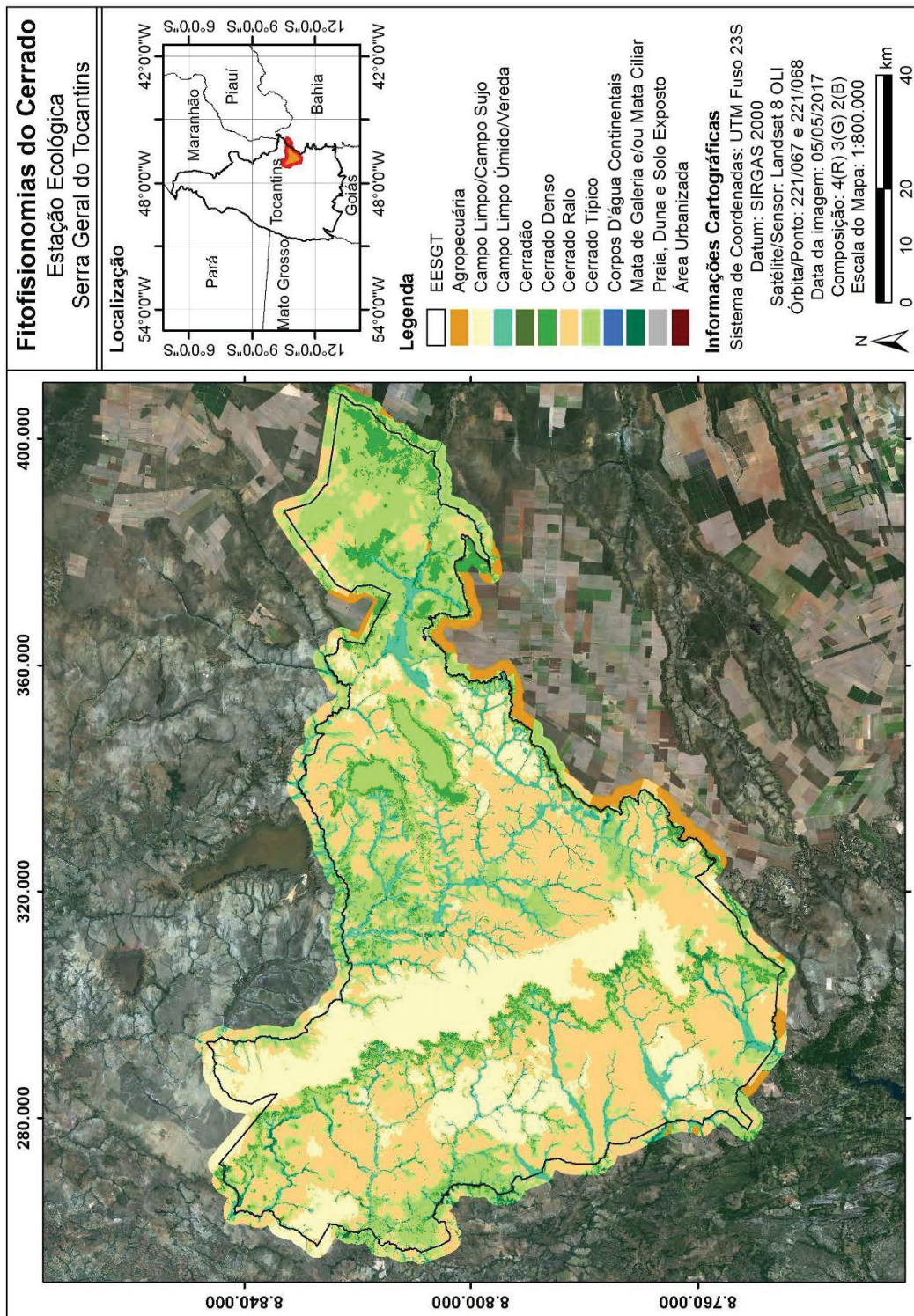


**ANEXO 1 – MAPA DAS ÁREAS COM DIFERENTES PERÍODOS SEM OCORRÊNCIA DE QUEIMAS E INCÊNDIOS NA  
ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS**



FONTE: Barradas; Borges e Costa (2017).

**ANEXO 2 – FITOFISIONOMIAS DO CERRADO QUE OCORREM NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS**



FONTE: Adaptado de Orozco Filho (2017).