

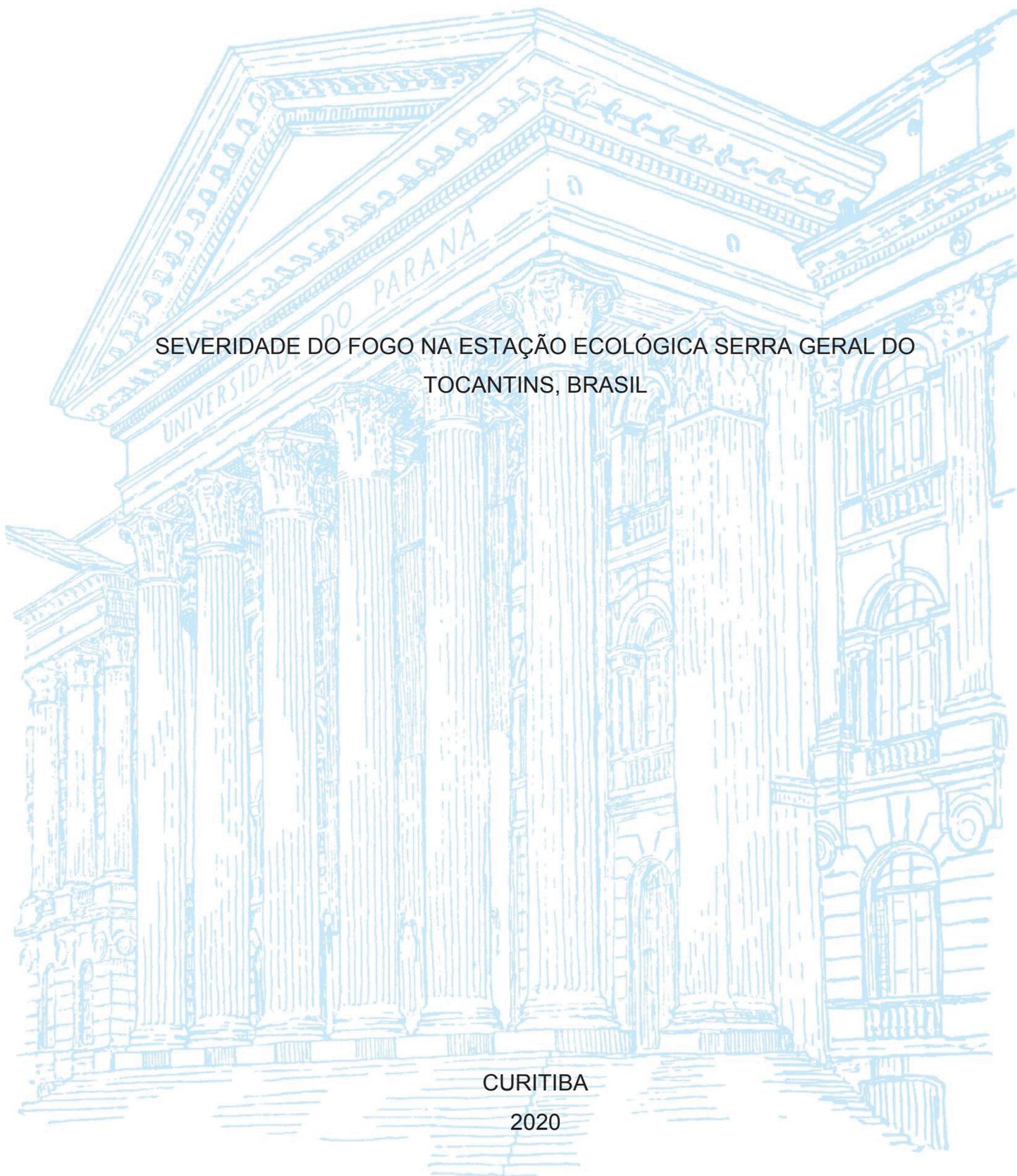
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALLAN DEYVID PEREIRA DA SILVA

SEVERIDADE DO FOGO NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO
TOCANTINS, BRASIL

CURITIBA

2020



ALLAN DEYVID PEREIRA DA SILVA

SEVERIDADE DO FOGO NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO
TOCANTINS, BRASIL

Tese 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 Doutor em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Batista

Coorientadores: Prof. Dr. Marcos Giongo

Prof^a. Dr^a. Daniela Biondi Batista

CURITIBA

2020

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

Silva, Allan Deyvid Pereira da
Severidade do fogo na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins,
Brasil / Allan Deyvid Pereira da Silva. - Curitiba, 2020.
168 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Batista
Coorientadores: Prof. Dr. Marcos Giongo
Profa. Dra. Daniela Biondi Batista

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
Defesa: Curitiba, 20/10/2020.

Área de concentração: Conservação da Natureza.

1. Fogo e ecologia - Tocantins. 2. Incêndios florestais - Tocantins.
3. Queimada - Tocantins. 4. Cerrados. 5. Estação Ecológica Serra Geral do
Tocantins (TO). 6. Teses. I. Batista, Antonio Carlos. II. Giongo, Marcos.
III. Batista, Daniela Biondi. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.43(811.7)

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 tese de Doutorado de **ALLAN DEYVID PEREIRA DA SILVA** intitulada: **SEVERIDADE DO FOGO NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS, BRASIL**, sob orientação do Prof. Dr. ANTONIO CARLOS BATISTA, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor 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, 20 de Outubro de 2020.

Assinatura Eletrônica

21/10/2020 17:14:52.0

ANTONIO CARLOS BATISTA
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

21/10/2020 13:40:13.0

ALEXANDRE BEUTLING

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO DO
SUL)

Assinatura Eletrônica

21/10/2020 08:07:41.0

MARIA CRISTINA BUENO COELHO

Avaliador Externo (FUNDACAO UNIVERSIDADE FEDERAL DO
TOCANTINS)

Assinatura Eletrônica

20/10/2020 19:32:03.0

ARLINDO DE PAULA MACHADO NETO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO)

Assinatura Eletrônica

20/10/2020 19:43:56.0

ALEXANDRE FRANÇA TETTO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Pai, mãe, lali, este trabalho é um marco que simboliza o fim de uma caminhada que mais do que me fazer um profissional, contribuiu para o meu desenvolvimento como homem. Um pensamento que sempre carreguei durante esses anos longe de casa foi: "Compare a si mesmo com quem você foi ontem, não com quem outra pessoa é hoje" (J. Peterson). O grande valor contido neste trabalho só pode ser compreendido por nós, trata-se do que ele simboliza. Pai, mãe, lali, de todo o meu coração, eu dedico este trabalho a vocês.

AGRADECIMENTOS

Eu, Allan Pereira, agradeço a Deus em sua tão grande misericórdia por me dar força e fé para chegar até aqui, por permitir cada um dos momentos bons e os difíceis que me tornaram mais forte.

Agradeço a minha mãe por ser meu exemplo de perseverança e ao meu pai por ser meu exemplo de bravura. Agradeço ao meu irmão, que junto aos meus pais são meus principais motivos de crescimento pessoal.

Agradeço a Bruna, que me ajudou durante grande parte do trajeto. Agradeço a Layla, que têm me presenteado com um novo ânimo para conclusão desta etapa da minha vida.

Meus mais sinceros agradecimentos à Universidade Federal do Paraná, a Universidade Federal do Tocantins e a CAPES, por todos estes anos de contribuição econômica e intelectual.

Sou grato aos meus orientadores da graduação (Dr. José Douglas da Gama Melo) e do mestrado (Dr. André Ferreira dos Santos), que contribuíram até esta etapa. E foi uma honra ser orientado em meu doutorado pelo Dr. Antonio Carlos Batista, bem como a professora Daniela Biondi. Preciso fazer um agradecimento especial ao meu coorientador, Dr. Marcos Giongo, pela oportunidade de crescer pessoal e profissionalmente trabalhando por pelo menos 6 anos junto ao antigo grupo PFT e hoje no CeMAF.

Sou profundamente grato a toda a equipe de brigadistas e gestores da EESGT, contudo seria difícil nomeá-los todos.

Agradeço especialmente aos caros amigos, Olavo Costa, Igor Eloi, Eduardo Ganassoli e Micael Moreira, que tanto me ajudaram e que não me deixaram ser vencido pelo desânimo.

Agradeço aos amigos Diego, Lawrence e Igor Viana que colaboraram indiretamente.

Por fim, mas não por último, agradeço a duas famílias que ganhei durante estes 7 anos: família Benke (Alexandre e Conceição) e família Cachoeira (Jader, Keline e Mateus), agradeço em especial ao meu amigo/irmão Jader.

A todos vocês apresento os meus mais sinceros agradecimentos.

Oikophilia – “A solução, parece-me, é cuidar do lar, vivendo não de forma frugal, mas com temperança, não de forma mesquinha, mas em posse de uma generosidade prudente, que permita embelezar e renovar o território em que se vive e a comunidade à qual se está ligado” (SCRUTON, 2016, p. 365).

RESUMO

O fogo tem sido amplamente utilizado, sobretudo em ambientes savânicos, para fins de manejo de áreas naturais. Contudo, a influência das estratégias e regimes de queima empregados nestes ambientes ainda é pouco conhecida. Este estudo foi conduzido na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, Brasil e teve como objetivo, avaliar a influência do mês de queima (condições meteorológicas) e do tempo sem queima (características do combustível) sobre a severidade do fogo (alterações físicas imediatas e um ano após a queima) em áreas de Cerrado na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. A coleta de dados ocorreu de abril de 2017 a setembro de 2018. O histórico de queima do terreno foi espacializado por meio de imagens de satélite, sendo identificadas áreas para alocação de 48 UADs (Unidade de Amostragem de Dados) sendo parcelas de 30 x 30 m. Para caracterização do material combustível foi realizada uma amostragem destrutiva em 8 sub-parcelas de 0,25m² por UAD, totalizando 384 sub-parcelas na área de estudo. Foram estabelecidas 4 parcelas de 1 m² em cada UAD, 192 ao todo, onde foram contabilizados os indivíduos herbáceos e lenhosos do estrato de regeneração. Em 48 parcelas circulares de 452,4 m² foi contabilizada a vegetação arbórea. Após a amostragem da vegetação, em áreas com dois, três e quatro anos sem queimar, foram realizadas queimas controladas nos meses de maio, junho, agosto e setembro de 2017. Para mensurar o comportamento do fogo foram estabelecidas balizas em cada UAD, que permitiram registrar a altura das chamas e a velocidade de propagação do fogo. Um dia após a queima, nas parcelas de 1 m², foram contabilizados os indivíduos lenhosos remanescentes com DAB menor que 1 cm e o seu percentual de perdas foi considerado como taxa de *topkill*. Um dia após a passagem do fogo foi realizada uma avaliação visual do consumo dos combustíveis e registrado o *Minimum Diameter of Burned Branches* (MDBB), que consistiu na tomada das medidas do diâmetro dos ramos carbonizados de arbustos de *Rourea induta* distribuídos na UAD. Passado um ano da realização das queimas foi novamente contabilizada a vegetação herbácea e lenhosa nas parcelas de 1 m² e arbórea nas parcelas de 452,4 m². Para a vegetação arbórea foi identificada o tipo de rebrota e uma eventual mortalidade. Assim, constatou-se que, nas queimas conduzidas nos meses mais secos do ano, agosto e setembro, a taxa de *topkill* foi maior (51,8 e 52,0%, respectivamente) do que nas queimas do início da estação seca, maio e junho (35,6 e 42,7%, respectivamente). Não houve diferença significativa das taxas de *topkill* entre os tempos sem queima. Por meio dos métodos de MDBB e avaliação visual foi constatada maior severidade quando as queimas foram realizadas no mês de setembro e em áreas com três e quatro anos sem queimar. Os resultados da dinâmica das herbáceas e lenhosas do estrato de regeneração evidenciaram que as queimas de agosto e setembro foram mais severas, com as de agosto sendo mais danosas para espécies e indivíduos lenhosos. O melhor tratamento identificado para a vegetação foi a queima realizada em maio (em alguns casos até junho) em áreas de quatro anos. Na avaliação da severidade do fogo sobre as arbóreas foi constatado que quanto maior a altura, o diâmetro do caule e a espessura do ritidoma dos indivíduos, maior foi a capacidade de resiliência à ação do fogo. As queimas realizadas nos meses mais secos foram mais severas com maiores taxas de rebrota basal, enquanto, as queimas no início da temporada seca apresentaram maiores taxas de rebrota aérea. O aumento do tempo sem queima elevou as taxas de rebrota basal, enquanto em áreas queimadas a menos tempo houve um aumento das taxas de rebrota aérea. A mortalidade das arbóreas não foi significativamente influenciada pela época de queima, nem pelo tempo sem queima. Foram ajustados dois modelos para estimativa de rebrota aérea, um tendo como variáveis independentes a umidade relativa do ar e o combustível morto herbáceo, e o outro utilizando como variáveis independentes a umidade relativa do ar e a altura de chama. O modelo que apresentou o melhor ajuste para estimativa de rebrota basal teve a umidade relativa do ar como variável independente.

Palavras-chave: Queima prescrita. Incêndios florestais. Severidade da queima. Armadilha de fogo. Cerrado.

ABSTRACT

Fire has been widely used, especially in savanna environments, for the purpose of managing natural areas. However, the influence of burning strategies and regimes used in these environments is still poorly understood. This study was conducted at the Serra Geral do Tocantins Ecological Station, Brazil. The objective of this research was to evaluate the influence of the burning month (weather conditions) and the time without burning (fuel characteristics) on the fire severity (immediate physical changes and one year after the burning) in Cerrado areas at the Serra Geral do Tocantins Ecological Station. Data collection took place between April 2017 and September 2018. The history of burning the land was spatialized through satellite images, and areas for the allocation of 48 UADs (30x30m plots) were identified. In order to characterize the combustible material, a destructive sampling was carried out in 384 plots distributed in the study area. 192 plots of 1m² were established where the herbaceous and woody individuals of the regeneration stratum were counted. In 48 circular plots of 452.4 m², tree vegetation was counted. After sampling the vegetation, in areas for two, three and four years without burning, controlled burns were carried out in the months of May, June, August and September 2017. To measure the fire behavior, rules were placed in each UAD that allowed to record the height of the flames and the speed of fire propagation. One day after burning, in the 1m² plots, the remaining woody individuals were counted and their percentage of losses was considered as a topkill rate. One day after the burn, a visual assessment of the fuel consumption was made and the Minimum Diameter of Burned Branches (MDBB) was recorded, which consisted of taking the measurements of the diameter of the *Rourea induta* charred branches distributed in the UAD. One year after the burns, herbaceous and woody vegetation was once again counted in the 1m² plots and arboreal in the 452.4m² plots. For tree vegetation, the type of resprout and eventual mortality were identified. It was found that, in the burns conducted in the driest months of the year, August and September, the topkill rate was higher (51.8 and 52.0%, respectively) than in the fires of the beginning of the dry season, May and June (35.6 and 42.7%, respectively). In general, there was no significant difference in topkill rates between non-burning times. Through the methods of MDBB and visual evaluation, greater severity was found when the fires were carried out in September and in areas that had not burned for three and four years. The results of the dynamics of the herbaceous and woody strata of the regeneration stratum showed that the burns in August and September were more severe, with those in August being more damaging to woody species and individuals. The best treatment identified for vegetation was the burning carried out in May (in some cases until June) in areas of four years. In assessing the fire severity on the trees, it was found that the greater the height, the stem diameter and the thickness of the individuals' bark, the greater the resilience to fire action. The fires carried out in the drier months were more severe with higher rates of basal resprout, while the fires in the beginning of the dry season showed higher rates of aerial resprout. The increase in the time without burning increased the rates of basal resprout, while in areas burned less time there was an increase in the rates of aerial resprout. Tree mortality was not significantly influenced by the burning season, nor by the time without burning. Two models were adjusted to estimate aerial resprout, one with independent variables the relative humidity and the dead herbaceous fuel, and the other using the relative humidity and the flame height as independent variables. The model that presented the best adjustment for basal resprout estimation had relative air humidity as an independent variable.

Keywords: Prescribed fire. Forest fire. Burn severity. Fire trap. Cerrado.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

FIGURA 1. UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO CERRADO	30
FIGURA 2. ÁREA ALVO DO PROJETO CORREDOR ECOLÓGICO DA REGIÃO DO JALAPÃO	33
FIGURA 3. ESTRADAS VICINAIS NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS	37
FIGURA 4. MALHA HÍDRICA DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS	38
FIGURA 5. CLIMOGRAMA DA REGIÃO DO ESTUDO (1982 a 2012)	39
FIGURA 6. NEOSSOLO QUARTZARÊNICO EXPOSTO APÓS A PASSAGEM DO FOGO NA EESGT	41
FIGURA 7. FORMAÇÕES FITOFISIONOMICAS DO CERRADO NA ESEC SERRA GERAL DO TOCANTINS	42
FIGURA 8. FISIONOMIAS DO CERRADO ONDE FOI CONDUZIDO O ESTUDO (A= CAMPO LIMPO; B= CERRADO RALO; C= CAMPO SUJO)	43
FIGURA 9. FRAGMENTAÇÃO DO TERRITÓRIO DA EESGT POR TEMPO SEM QUEIMA	51

CAPÍTULO 2

FIGURA 10. DISTRIBUIÇÃO DAS PARCELAS NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS	63
FIGURA 11. AMOSTRAGEM DE MATERIAL COMBUSTÍVEL NAS UNIDADES DE AMOSTRAGEM DE DADOS NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS	65
FIGURA 12. AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO FOGO NA UNIDADE DE AMOSTRAGEM DE DADOS	67
FIGURA 13. DISTRIBUIÇÃO DAS PARCELAS DE 1 m ² DENTRO DA UAD PARA A CONTABILIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS	68

FIGURA 14. PADRÃO DE ÁREA QUEIMADA EM AGOSTO COM COMBUSTÍVEL DE DOIS ANOS (A) E PADRÃO DE ÁREAS QUEIMADAS EM MAIO, JUNHO E SETEMBRO COM COMBUSTÍVEL DE DOIS ANOS (B)	75
--	----

CAPÍTULO 3

FIGURA 15. MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DOS RAMOS CARBONIZADOS DE <i>Rourea linduta</i> NO TRANSECTO	86
FIGURA 16. DIÂMETRO MÍNIMO DOS RAMOS CARBONIZADOS (DMRC) DE <i>Rourea linduta</i>	92
FIGURA 17. AVALIAÇÃO VISUAL DO NÍVEL DE SEVERIDADE DA QUEIMA (MENOR SEVERIDADE 1 E MAIOR SEVERIDADE 3).....	95

CAPÍTULO 4

FIGURA 18. SUBPARCELA DE HERBÁCEAS E LENHOSAS ANTES DA QUEIMA E UM ANO APÓS	107
FIGURA 19. DIFERENÇA ENTRE OS PERCENTUAIS DE REBROTA DAS HERBÁCEAS EM FUNÇÃO DO MÊS DE REALIZAÇÃO DAS QUEIMAS	109
FIGURA 20. DIFERENÇA ENTRE OS PERCENTUAIS DE REBROTA DAS HERBÁCEAS EM FUNÇÃO DO TEMPO SEM QUEIMA	112
FIGURA 21. DIFERENÇA ENTRE OS PERCENTUAIS DE REBROTA DAS LENHOSAS DO ESTRATO DE REGENERAÇÃO EM FUNÇÃO DO MÊS DE QUEIMA	115
FIGURA 22. VARIACÃO DAS TAXAS DE INDIVÍDUOS E ESPÉCIES LENHOSAS EM FUNÇÃO DO TEMPO SEM QUEIMA DO TERRENO, UM ANO APÓS A PASSAGEM DO FOGO.....	117

CAPÍTULO 5

FIGURA 23. NÍVEIS DE SEVERIDADE DO FOGO CONSIDERADO A PARTIR DO TIPO DE REBROTA OU MORTE DA ÁRVORE.....	132
FIGURA 24. MÉTODO DE AMOSTRAGEM DE ARBÓREAS NA PARCELA.....	133
FIGURA 25. MEDIDA DA ESPESSURA DO RITIDOMA COM PAQUÍMETRO.....	134

FIGURA 26. FREQUÊNCIA RELATIVA DE DIÂMETRO (A) E ALTURA (B) DA VEGETAÇÃO ARBÓREA INVENTARIADA NA EESGT	136
FIGURA 27. FREQUÊNCIA RELATIVA DE PADRÕES DE REBROTA E MORTE DE ÁRVORES EM FUNÇÃO DO PERÍODO DE QUEIMA.....	142
FIGURA 28. FREQUÊNCIA RELATIVA DE PADRÕES DE REBROTA E MORTE DE ÁRVORES EM FUNÇÃO DO TEMPO SEM QUEIMA.....	143
FIGURA 29. DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DAS TAXAS DE REBROTA AÉREA E BASAL.....	147

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 2

QUADRO 1. CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON DAS TAXAS DE TOPKILL COM ALGUMAS VARIÁVEIS MENSURADAS DURANTE A PESQUISA	73
---	----

CAPÍTULO 3

QUADRO 2. DESCRIÇÃO DOS NÍVEIS DE SEVERIDADE DA QUEIMA.....	87
QUADRO 2. DESCRIÇÃO DOS NÍVEIS DE SEVERIDADE DA QUEIMA.....	88
QUADRO 3. CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON DO DMRC COM ALGUMAS VARIÁVEIS MENSURADAS DURANTE A PESQUISA.....	93

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

TABELA 1 - CLASSES DE SOLO NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS.....	40
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DA VEGETAÇÃO LENHOSA COM DIÂMETRO SUPERIOR A 1cm.....	44

CAPÍTULO 2

TABELA 3 - MATERIAL COMBUSTÍVEL EM FUNÇÃO DO TEMPO SEM QUEIMA	70
TABELA 4 - CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO PERÍODO DA PESQUISA.....	71
TABELA 5 - COMPORTAMENTO DO FOGO AVALIADO	72
TABELA 6 - TAXA DE TOPKILL DA VEGETAÇÃO (%)	72

CAPÍTULO 3

TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS DA BIOMASSA POR TEMPO SEM QUEIMA DO TERRENO	90
TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS DO FOGO POR ÉPOCA DE QUEIMA.....	90
TABELA 9 - CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA	91

CAPÍTULO 4

TABELA 10 - VARIAÇÃO DO PERCENTUAL DE INDIVÍDUOS HERBÁCEOS UM ANO APÓS AS QUEIMAS COTROLADAS	113
TABELA 11 - VARIAÇÃO DO PERCENTUAL DE ESPÉCIES HERBÁCEAS UM ANO APÓS AS QUEIMAS CONTROLADAS	114
TABELA 12 - VARIAÇÃO DAS TAXAS DE INDIVÍDUOS LENHOSOS DO ESTRATO DE REGENERAÇÃO UM ANO APÓS AS QUEIMAS CONTROLADAS	118
TABELA 13 - CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON POR TEMPO SEM QUEIMA, ENTRE O PERCENTUAL DE REBROTA DE LENHOSAS E AS DIVERSAS VARIÁVEIS MENSURADAS	119

TABELA 14 - VARIAÇÃO DAS TAXAS DE ESPÉCIES LENHOSAS DO ESTRATO DE REGENERAÇÃO UM ANO APÓS AS QUEIMAS COTROLADAS ..	120
TABELA 15 - CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON DE HERBÁCEAS E LENHOSAS DO ESTRATO DE REGENERAÇÃO COM ALGUMAS VARIÁVEIS MENSURADAS DURANTE A PESQUISA.....	121

CAPÍTULO 5

TABELA 16 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PERSON ENTRE O NÍVEL DE SEVERIDADE SOBRE AS ÁRVORES (1, 2 E 3) E CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DOS INDIVÍDUOS	137
TABELA 17 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PERSON ENTRE A SEVERIDADE (REBROTA AÉREA E BASAL) E CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DOS INDIVÍDUOS	138
TABELA 18 - PADRÕES DE REBROTA DOS INDIVÍDUOS EM FUNÇÃO DE SUA ALTURA	139
TABELA 19 - PADRÃO DE REBROTA DOS INDIVÍDUOS POR CLASSE DE DIÂMETRO.....	139
TABELA 20 - PADRÃO DE REBROTA DOS INDIVÍDUOS POR CLASSE DE ESPESSURA DE RITIDOMA	140
TABELA 21 - CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON ENTRE AS TAXAS DE REBROTA E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS, DO COMPORTAMENTO DO FOGO E DO MATERIAL COMBUTÍVEL	144
TABELA 22 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DAS TAXAS DE REBROTA AÉREA E REBROTA BASAL	145

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

≤	Menor ou Igual
%	Percentual
<	Menor
°C	Grau Celsius
AC	Área de Copa
APA	Área de Proteção Ambiental
Aw	Clima Tropical de Savana
CAB	Circunferência a Altura da Base
CERJ	Corredor Ecológico da Região do Jalapão
cm	Centímetro
Cons	Consumo de Combustível
DAB	Diâmetro a Altura da Base
DMRC	Diâmetro Mínimo dos Ramos Carbonizados
E_HERB	Porcentagem de espécies herbáceas que rebrotaram
E_LENH	Porcentagem de espécies lenhosas que rebrotaram
EESGT	Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins
ESEC	Estação Ecológica
ETP	Etapa ou Mês de Queima
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FR	Frequência Relativa
G	Área Basal
g	Área Transversal
GPS	<i>Global Positioning System</i>
hab/km ²	Habitantes por quilômetro quadrado
HCH	Altura de Chama
HH	Altura das herbáceas um ano após o fogo
Hm	Altura média da vegetação
I	Intensidade do fogo
IAF	Número de Indivíduos Antes do Fogo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IDF	Número de Indivíduos Depois do Fogo
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
km ²	Quilômetro Quadrado
LnRA	Logaritmo Natural da Taxa de Rebrotas Aéreas
LnRB	Logaritmo Natural da Taxa de Rebrotas Basais
LnUR	Logaritmo Natural da Taxa de Umidade Relativa do Ar
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ² .ha ⁻¹	Metro quadrado por hectare
MC	Material Combustível Antes da Queima (t.ha ⁻¹)
MCM	Material Combustível Morto Antes da Queima (t.ha ⁻¹)
MCMH	Material Combustível Morto Herbáceo
MDBB	<i>Minimum Diameter of Burned Branches</i>
mm	Milímetro
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MONACC	Monumento Natural Canyons e Corredeiras do Rio Sono
N_HERB	Porcentagem de herbáceas que rebrotaram
N_LENH	Porcentagem de lenhosas que rebrotaram
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PARNA	Parque Nacional
PE	Parque Estadual
PL	Projeto de Lei
PMC	Parcelas de Material Combustível
R ² aj	Coeficiente de Determinação Ajustado
R ² aj	Coeficiente de Determinação Ajustado
RB	Taxa de Rebrotas Basais
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
s. l.	<i>Sine Loco</i>
s/nº	Sem Número
SEPLAN	Secretaria da Fazenda e Planejamento do Tocantins
Syx	Erro Padrão da Estimativa Absoluta
Syx%	Erro Padrão da Estimativa Percentual

T	Temperatura do Ar
t.ha ⁻¹	Tonelada por Hectare
TAC	Termo de Ajustamento de Conduta
TK	Taxa de <i>Topkill</i>
TSQ	Tempo Sem Queima
TSQ2	Tempo Sem Queima em Áreas de Dois Anos
TSQ3	Tempo Sem Queima em Áreas de Três Anos
TSQ4	Tempo Sem Queima em Áreas de Quatro Anos
UAD	Unidade de Amostragem de Dados
UC	Unidade de Conservação
UMV07	Umidade do Material Combustível Vivo com Diâmetro Inferior a 0,7 cm
UMVH	Umidade do Material Combustível Vivo Herbáceo
UR	Umidade Relativa do Ar
Var Dep	Variável Dependente
VP	Velocidade de Propagação do Fogo
vs	Versus
ε	Erro

SUMÁRIO

CONSIDERAÇÕES INICIAIS	23
INTRODUÇÃO	25
CAPÍTULO 1	28
1. A ÁREA DE ESTUDO	28
1.1. O CERRADO	28
1.2. AS ÁREAS PROTEGIDAS	29
1.3. CORREDOR ECOLÓGICO DA REGIÃO DO JALAPÃO	31
1.4. ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS	34
1.4.1. Marco legal e abrangência	34
1.4.2. Populações tradicionais	35
1.4.3. Acessos	36
1.4.4. Hidrografia	37
1.4.5. Clima da região	39
1.4.6. Solos	40
1.4.7. Vegetação	41
1.4.8. O uso do fogo no manejo das áreas naturais	46
REFERÊNCIAS	53
CAPÍTULO 2	60
2. TAXAS DE <i>TOPKILL</i> CAUSADAS PELO FOGO EM VEGETAÇÃO DE CERRADO NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS 60	
2.1. INTRODUÇÃO	61
2.1.1. Hipótese	62
2.1.2. Objetivo geral	62
2.1.3. Objetivos específicos	62
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	63
2.2.1. Caracterização do material combustível	64
2.2.2. Condições meteorológicas no período do experimento	66
2.2.3. Comportamento do fogo	66
2.2.4. Mensuração da taxa de topkill	67
2.2.5. Estatística	69
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	70

2.3.1.	Material combustível	70
2.3.2.	Condições meteorológicas no período do experimento	71
2.3.3.	Comportamento do fogo.....	71
2.3.4.	Topkill.....	72
2.4.	CONCLUSÃO	76
	REFERÊNCIAS.....	77
	CAPÍTULO 3.....	81
3.	SEVERIDADE DO FOGO EXPRESSA PELO DIÂMETRO DOS RAMOS CARBONIZADOS E AVALIAÇÃO VISUAL NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS	81
3.1.	INTRODUÇÃO	82
3.1.1.	Hipóteses	83
3.1.2.	Objetivo geral	84
3.1.3.	Objetivo específico	84
3.2.	MATERIAL E MÉTODOS	85
3.2.1.	Delineamento experimental.....	85
3.2.2.	Material combustível antes da queima, comportamento do fogo, e condições meteorológicas no período do experimento	85
3.2.3.	Diâmetro dos ramos carbonizados.....	85
3.2.4.	Avaliação visual da severidade da queima	87
3.2.5.	Estatística.....	89
3.3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	90
3.3.1.	Material combustível antes da queima	90
3.3.2.	Comportamento do fogo.....	90
3.3.3.	Condições meteorológicas no período do experimento	91
3.3.4.	Diâmetro mínimo dos ramos carbonizados	91
3.3.5.	Avaliação visual da severidade da queima	94
3.4.	CONCLUSÃO	97
	REFERÊNCIAS.....	98
	CAPÍTULO 4.....	102
4.	DINÂMICA DE VEGETAÇÃO HERBÁCEA E DO ESTRATO DE REGENERAÇÃO DE LENHOSAS NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS	102
4.1.	INTRODUÇÃO	103

4.1.1.	Hipóteses	104
4.1.2.	Objetivo geral	105
4.1.3.	Objetivos específicos	105
4.2.	MATERIAL E MÉTODOS	106
4.2.1.	Análise estatística dos dados	108
4.3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	109
4.3.1.	Dinâmica de herbáceas após o fogo	109
4.3.2.	Dinâmica de lenhosas após o fogo	115
4.3.3.	Variáveis que se correlacionam com a recuperação da vegetação herbácea e lenhosa do estrato de regeneração	120
4.4.	CONCLUSÕES	123
	REFERÊNCIAS	124
	CAPÍTULO 5	127
5.	PADRÕES DE REBROTA DA VEGETAÇÃO ARBÓREA DEVIDO A SEVERIDADE DO FOGO NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS	127
5.1.	INTRODUÇÃO	128
5.1.1.	Hipóteses	129
5.1.2.	Objetivo geral	130
5.1.3.	Objetivos específicos	130
5.2.	MATERIAL E MÉTODOS	131
5.2.1.	Análise estatística dos dados	135
5.3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	136
5.3.1.	Características anatômicas dos indivíduos e influência nos padrões de rebrota	136
5.3.2.	Tempo sem queima e época de realização da queima controlada	141
5.3.3.	Correlações e modelagens dos tipos de rebrotas com variáveis meteorológicas, de comportamento do fogo e de material combustível.....	143
5.4.	CONCLUSÕES	148
	REFERÊNCIAS	149
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	152
	REFERÊNCIAS	154

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Esta tese é composta por cinco capítulos com objetivos distintos. Excetuando-se o capítulo um, os demais estão organizados em formato de artigo científico, e todos eles serão publicados em revistas científicas. O primeiro capítulo é uma revisão bibliográfica e os demais capítulos estão estruturados da seguinte forma: Título; Resumo, *Abstract*; Introdução; Material e métodos; Resultados e discussão; Conclusão e Referências.

No capítulo 1, intitulado “A área de estudo”, é apresentado e discutido o primeiro objetivo da tese, que é caracterizar a área de estudo, levando em consideração aspectos legais, ambientais e sociais inerentes ao espaço em que a Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins está inserida.

No capítulo 2, intitulado “Taxas de *topkill* causadas pelo fogo em vegetação de Cerrado na Estação Ecológica Serra do Tocantins”, o objetivo foi determinar a influência da época de queima e do tempo sem queima no potencial daninho do fogo para consumir a biomassa aérea das plantas lenhosas do estrato de regeneração.

No capítulo 3, intitulado de “Severidade do fogo expressa pelo diâmetro dos ramos carbonizados e avaliação visual”, o objetivo foi aplicar os métodos de Diâmetro Mínimo dos Ramos Carbonizados (DMRC) e avaliação visual da paisagem para determinar níveis de severidade do fogo ocasionados pelas diferenças de características do material combustível (tempo sem queima do terreno) e época em que foi realizada a queima (maio, junho, agosto e setembro).

No capítulo 4, intitulado “Dinâmica da vegetação herbácea e do estrato de regeneração de lenhosas em queimas controladas na Estação Ecológica Serra do Tocantins”, os objetivos foram: i. verificar os efeitos do fogo sobre o número de indivíduos e espécies herbáceas e lenhosas do estrato de regeneração, a partir de queimas controladas realizadas em áreas com diferentes tempos sem queima; ii. identificar os efeitos do fogo sobre o número de indivíduos e espécies herbáceas e lenhosas do estrato de regeneração, a partir de queimas controladas realizadas nos meses do início ao fim da temporada de incêndios; iii. identificar as melhores e piores condições para se realizar uma queima controlada, considerando-se a conservação da vegetação herbácea e as lenhosas do estrato de regeneração; e iv. identificar variáveis indicadoras da severidade do fogo sobre a vegetação.

No capítulo 5, intitulado “Severidade do fogo em indivíduos arbóreos na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins”, são apresentados e discutidos os últimos objetivos desta tese: i. identificar as classes de indivíduos mais vulneráveis e mais resistentes à ação do fogo no Cerrado Campestre da EESGT, com base na sua respectiva altura, diâmetro do tronco e espessura do ritidoma; da casa; ii. determinar o impacto do fogo sobre os padrões de rebrota e mortalidade da vegetação arbórea em função do período de realização da queimada; iii. determinar o impacto do fogo sobre os padrões de rebrota e mortalidade da vegetação arbórea em função do tempo sem queima do terreno; e iv. apresentar produtos que permitam estimar as taxas de rebrota da vegetação arbórea.

Desta forma, espera-se que com o presente estudo possam ser desenvolvidos conhecimentos técnico-científicos que contribuam da melhor forma para o entendimento das nuances na relação do fogo com a vegetação e que este conhecimento dê subsídio para o planejamento de ações de manejo do fogo no Cerrado.

INTRODUÇÃO

O fogo é uma reação exotérmica de oxidação de matéria e para acontecer carece de material combustível, comburente e uma fonte de calor para dar ignição. O surgimento do fogo no planeta está associado ao aparecimento das plantas (material combustível), em conjunto com o oxigênio (comburente) e o calor, que sempre foi abundante na história geológica do planeta. Portanto, o fogo sempre esteve presente no ambiente, sendo agente influenciador de padrões e processos ecossistêmicos.

Embora o fogo seja um fenômeno de ocorrência natural, as principais fontes de ignição são antrópicas, de modo que, ao longo da história, os padrões naturais de ocorrência dos incêndios foram sendo modificados. Especialmente em ambientes com abundância de material combustível e condições meteorológicas favoráveis para queima, produzem, não raramente, incêndios florestais que causam danos severos de ordem econômica, social e ambiental.

O impacto dos grandes incêndios conduziu políticas ambientais a uma proteção total das áreas naturais contra o fogo. Alguns pesquisadores têm sustentado que a exclusão do fogo, em ambientes propensos a queima, possibilita o acúmulo de material combustível, favorecendo a propagação de incêndios de grande poder destrutivo. Outro questionamento à exclusão do fogo seria em razão de alguns ambientes terem maior recorrência de fogo por razões naturais, clima e ambiente físico, condições que teriam favorecido a adaptação evolutiva da vegetação para resistir ou mesmo tomar proveito da ação do fogo.

As savanas, como o Cerrado brasileiro, são propensas ao fogo e por isso são os ambientes que mais queimam todos os anos no mundo. O Cerrado ocupa 22% do território terrestre brasileiro, evidenciando a dificuldade na gestão do fogo no país.

Para promover a gestão do fogo no Cerrado, existe uma ação que está sendo conduzida em unidades de conservação do Cerrado denominada de Manejo Integrado e Adaptativo do Fogo (MIF), com a ideia de promover uma visão mais holística que incorpora as dimensões ecológicas, sociais, econômicas e culturais, em diversas escalas.

Na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT), dentre as diversas ações que compõem o MIF, uma delas é a condução de queimas controladas no início da temporada de estiagem, condição que favoreceria uma queima de menor intensidade e, por conseguinte, menos danosa. Assim, com o manejo do fogo, seriam

conquistados benefícios como: conservação e, em alguns casos, até a recuperação de ecossistemas inteiros; além da redução de gastos com o combate aos grandes incêndios florestais.

As queimadas conduzidas no âmbito do MIF, na EESGT, são realizadas por meio de estratégias como as queimas no início do período de estiagem, em períodos mais úmidos do dia, fogo contra o vento, entre outras, que favorecem a redução da severidade do fogo. Contudo, a real dimensão dos níveis de severidade decorrente destas ações ainda é carente de mecanismos de mensuração. A severidade do fogo, compreendida como a magnitude da mudança causada pelo fogo, é um conceito extremamente amplo e a forma como os pesquisadores escolhem medi-la está intimamente ligada aos objetivos da pesquisa. As métricas para sua mensuração são diversas e vão desde técnicas de sensoriamento remoto às análises quantitativas e qualitativas de campo, no solo, na vegetação e até mesmo mensuração de danos econômicos.

Diante disso, o presente estudo buscou realizar uma avaliação ampla com uma visão holística das alterações causadas no ambiente após a passagem do fogo, contudo, ele não substitui estudos ecológicos específicos. Para isso, são investigadas interações importantes entre as características meteorológicas, material combustível e comportamento do fogo, com a severidade do fogo em diferentes estratos da vegetação. Desta forma, é possível reter informações para que outros pesquisadores possam segmentá-las em estudos específicos, além de favorecer a tomada de decisão dos gestores para a condução de queimas controladas.

De um modo geral, a severidade do fogo pode ser subdividida em severidade de curto e longo prazo. No Cerrado, esta severidade de curto prazo está associada às alterações causadas imediatamente após a passagem do fogo, como o consumo da biomassa e consequente exposição do solo. A severidade de longo prazo corresponde ao período necessário para se identificar características do repovoamento vegetal, como as taxas de mortalidade e estratégias de rebrota.

Neste sentido, a hipótese deste estudo aponta para a ideia de que o aumento da severidade de curto e longo prazo, na EESGT, está associado às queimas tardias (agosto e setembro), bem como às características dos combustíveis em áreas com mais tempo sem queimar.

Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a influência das condições meteorológicas (associadas ao mês de queima) e das características do material

combustível (associado ao tempo sem queima da área de estudo) sobre a severidade do fogo na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins.

CAPÍTULO 1

1. A ÁREA DE ESTUDO

1.1. O CERRADO

As savanas estão distribuídas em todo o mundo, especificamente entre os trópicos, na Austrália, sul da Ásia, África e nas Américas Central e do Sul. Os ambientes savânicos representam aproximadamente um quinto dos biomas continentais da terra e tem relevante importância socioeconômica e de biodiversidade (SCHOLES, 2003; BAUDENA et al., 2015).

A maior savana das Américas é o Cerrado brasileiro, que é o segundo maior bioma do país e ocupa cerca de 23% do território nacional, com uma área de aproximadamente 2 milhões de km², limitando-se ao norte e noroeste com o bioma amazônico, a nordeste com a Caatinga, a oeste com o Pantanal e ao sul e sudeste com a Mata Atlântica (OLIVEIRA; MARQUIS, 2002; MMA, 2020b).

O Cerrado também é considerado um *hotspot* de biodiversidade global, termo empregado para caracterizar regiões geográficas que contenham pelo menos 0,5% ou 1.500 das 300.000 espécies de plantas do mundo como endêmicas e que tenham perdido pelo menos 70% do seu território (MYERS et al., 2000).

Estima-se que o Cerrado possua aproximadamente 10.500 espécies de plantas lenhosas, com uma população estimada de 4.400 espécies endêmicas de plantas superiores, representando 1,5% do total de espécies de plantas vasculares do mundo (DIAS, 1992; MYERS et al., 2000; SILVA; BATES, 2002).

A vegetação do Cerrado é composta por dois estratos, sendo o primeiro representado pelas lenhosas, que inclui árvores e grandes arbustos, e o segundo composto por pequenos arbustos e ervas, sendo que ambos os estratos possuem uma vegetação com características típicas de savana pirofítica (OLIVEIRA; MARQUIS, 2002).

As formações vegetais do Cerrado podem ser regionalizadas por características fitofisionômicas, com a segmentação da vegetação em função da estrutura, altura média do estrato arbóreo, estratificação vertical, cobertura arbórea, caducifolia, posição topográfica, nível de drenagem do solo e afloramentos rochosos do terreno (RIBEIRO et al., 1983). Nesse sentido, os tipos fitofisionômicos são

enquadrados em onze categorias gerais: formações florestais (mata ciliar, mata de galeria, mata seca e cerrado), savânicas (cerrado sentido restrito, parque de cerrado, palmeiral e vereda) e campestres (campo sujo, campo rupestre e campo limpo), muitos dos quais apresentam subtipos (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Os fatores que têm determinado a distribuição da vegetação de Cerrado têm sido objeto de discussão, mas em geral são apresentados como sendo os mais importantes: a sazonalidade da precipitação, a fertilidade e a drenagem do solo, o regime de fogo e as flutuações climáticas do Quaternário (OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 2002).

De acordo com Oliveira-Filho e Fontes (2000), embora as variações de sazonalidade climática e fertilidade do solo sejam de extrema relevância na distribuição da vegetação de Cerrado, existem áreas como o leste do estado de Minas Gerais onde a precipitação é extremamente sazonal, com solos inférteis e são áreas com cobertura contínua de florestas semidecíduas e sem vestígio de Cerrado.

A maior parte da flora do Cerrado tem espécies adaptadas à ação do fogo, sendo elas não apenas tolerantes, mas também dependentes do fogo (COUTINHO, 1990). Neste sentido, o fogo pode estar sendo o fator determinante para a presença de floresta ou de Cerrado em determinados ambientes.

1.2. AS ÁREAS PROTEGIDAS

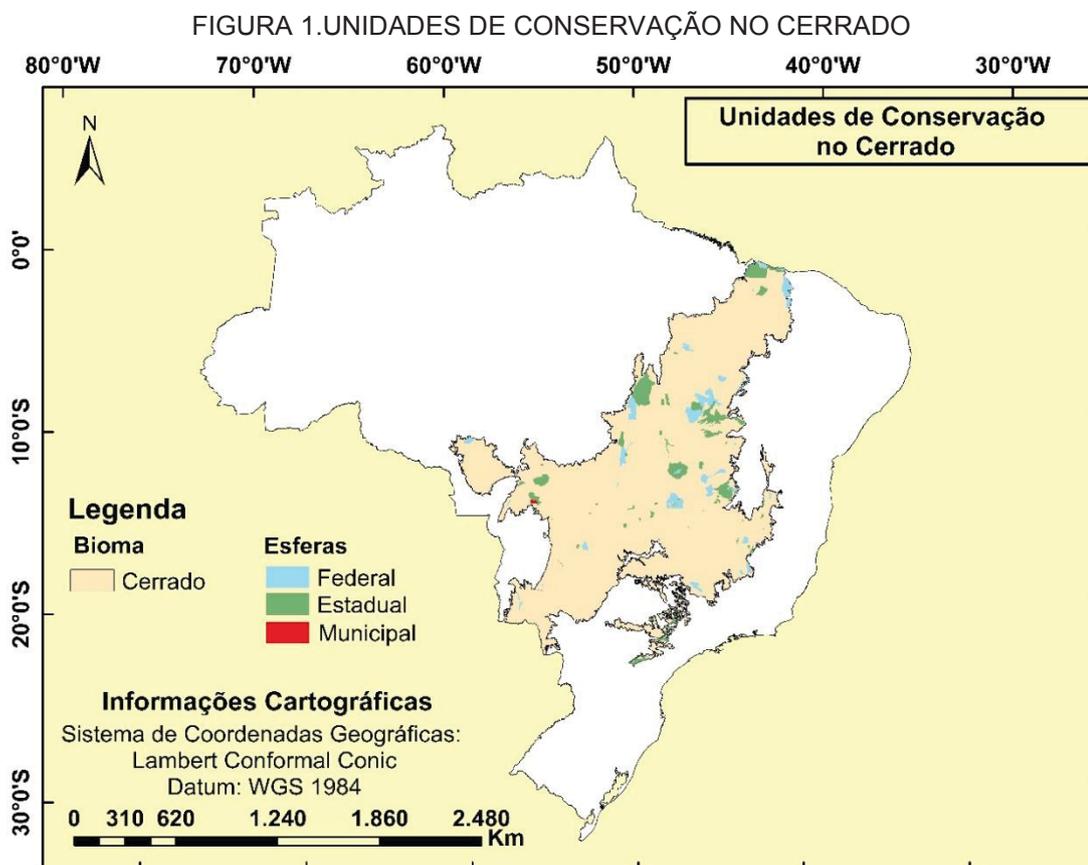
De acordo com a base de dados do Banco Mundial, o Brasil possui cerca de 30% do seu território convertido em áreas protegidas e é o país com o maior quantitativo de área protegida no mundo, sendo, 2.544.917,26 km² (THE WORLD BANK, 2017; MMA, 2019a).

As áreas protegidas compreendem as áreas naturais e seminaturais definidas geograficamente, regulamentadas, administradas e/ou manejadas com objetivos de conservação e uso sustentável da biodiversidade. Enfoca prioritariamente o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), as terras indígenas e as terras ocupadas por remanescentes das comunidades quilombolas. Sendo que as demais áreas protegidas, como as áreas de preservação permanente e as reservas legais são tratadas no planejamento da paisagem, no âmbito da abordagem ecossistêmica, com uma função estratégica de conectividade entre fragmentos naturais e as próprias áreas protegidas (MMA, 2006).

As Unidades de Conservação, por sua vez, são espaços territoriais, incluindo seus recursos ambientais, com características naturais relevantes, que têm a função de assegurar a representatividade de amostras significativas e ecologicamente viáveis das diferentes populações, habitats e ecossistemas do território nacional e das águas jurisdicionais, preservando o patrimônio biológico existente (MMA, 2019b).

Conforme a Lei 9.985, de 18 de julho de 2000, no Brasil, as unidades de conservação são categorizadas em: unidades de proteção integral (estação ecológica, reserva biológica, parque nacional, monumento natural e refúgio da vida silvestre) e unidades de uso sustentável (área de proteção ambiental, área de relevante interesse ecológico, floresta nacional, reserva extrativista, reserva de fauna, reserva de desenvolvimento sustentável e reserva particular do patrimônio natural) (BRASIL, 2000).

O Cerrado brasileiro tem 8,7% do seu território protegido, com 403 unidades de conservação sob a tutela da união, estados e municípios (FIGURA 1). Ao todo, são 128 unidades de proteção integral e 275 de uso sustentável, que juntas representam uma área de 177.737,2 km² (MMA, 2019a).



FONTE: Adaptado de MMA (2020a)

Na porção central do Brasil, próximo às divisas entre os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia está localizado o maior bloco de unidades de conservação do Cerrado, que juntas formam uma área contígua, um corredor ecológico importante para a conservação da biodiversidade deste Bioma (MMA, 2020a).

1.3. CORREDOR ECOLÓGICO DA REGIÃO DO JALAPÃO

De acordo com a lei 9.985, os corredores ecológicos são:

...porções de ecossistemas naturais ou seminaturais, ligando unidades de conservação, que possibilitam entre elas o fluxo de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de áreas degradadas, bem como, a manutenção de populações que demandam para sua sobrevivência áreas com extensão maior do que aquela das unidades individuais (BRASIL, 2000).

A região do Jalapão abriga o maior conjunto de áreas protegidas no Cerrado e um dos maiores blocos de vegetação nativa remanescente no Brasil central (MMA, 2019a).

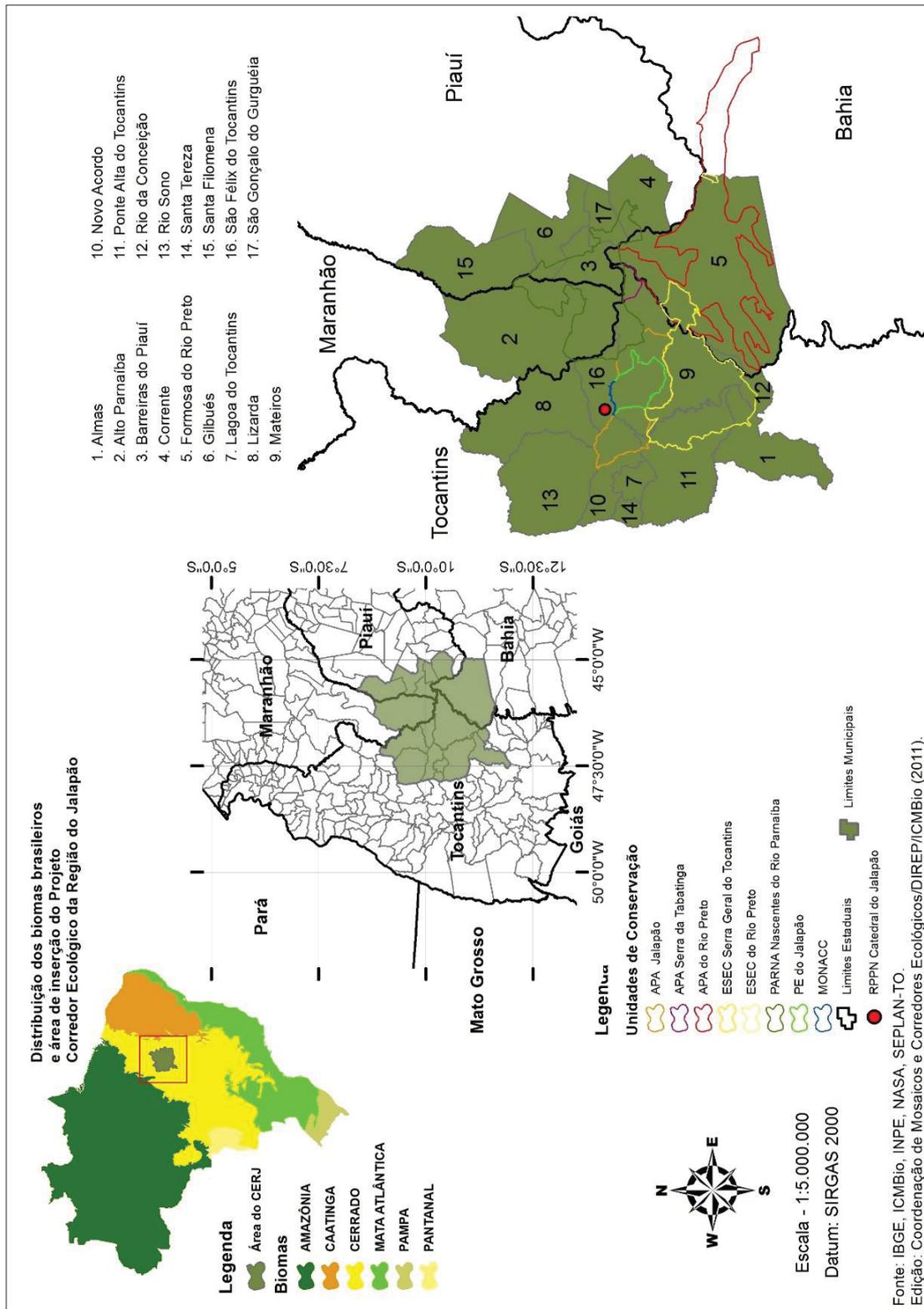
Neste contexto foi criado o projeto do Corredor Ecológico da Região do Jalapão, com o objetivo de reforçar a conservação dos ecossistemas da região do Jalapão por meio da gestão integrada entre as unidades de conservação federais, estaduais, municipais e privadas existentes no território, com vista ao estabelecimento de diretrizes e ações conjuntas para compatibilizar, integrar e otimizar as atividades de conservação, manter ou restabelecer a conectividade ecológica entre as áreas protegidas e preservar os serviços ecossistêmicos prestados pela natureza à população do Jalapão (MMA, 2013).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2013), a área do projeto Corredor Ecológico da Região do Jalapão é de 81.549 km², com 1980 km de perímetro, abrangendo quatro estados brasileiros e 17 municípios (FIGURA 2), sendo:

- Bahia - Formosa do Rio Preto;
- Maranhão - Alto Parnaíba;
- Piauí - Barreiras do Piauí, Corrente, Gilbués, Santa Filomena e São Gonçalo da Gurguéia;

- Tocantins - Almas, Lagoa do Tocantins, Lizarda, Mateiros, Novo Acordo, Ponte Alta do Tocantins, Rio da Conceição, Rio Sono, Santa Tereza do Tocantins e São Félix do Tocantins.

FIGURA 2. ÁREA ALVO DO PROJETO CORREDOR ECOLÓGICO DA REGIÃO DO JALAPÃO



Fonte: ICMBio (2011)

1.4. ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS

1.4.1. Marco legal e abrangência

A Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT) foi criada a partir do decreto s/nº, de 27 de setembro de 2001, com território demarcado sobre os estados do Tocantins e da Bahia (BRASIL, 2001).

Sendo uma unidade de conservação de proteção integral, a EESGT, de acordo com o artigo 9º da Lei 9.985, tem como objetivos a preservação da natureza e a realização de pesquisas científicas (BRASIL, 2000).

Essa mesma Lei, em seu parágrafo 4º do artigo 9º institui que na Estação Ecológica só podem ser permitidas alterações dos ecossistemas no caso de: medidas que visem a restauração de ecossistemas modificados; manejo de espécies com o fim de preservar a diversidade biológica; coleta de componentes dos ecossistemas com finalidades científicas; e pesquisas científicas cujo impacto sobre o ambiente seja maior do que aquele causado pela simples observação ou pela coleta controlada de componentes dos ecossistemas, em uma área correspondente a no máximo três por cento da extensão total da unidade e até o limite de um mil e quinhentos hectares.

O Cerrado possui 27 unidades de conservação de proteção integral, que juntas ocupam uma área de 9.217,62 km², sendo a EESGT a maior desse tipo, com 7.070,85 km² (MMA, 2019a). No estado do Tocantins a EESGT está sobreposta aos municípios de Almas, Ponte Alta do Tocantins, Rio da Conceição e Mateiros; e na Bahia no município de Formosa do Rio Preto.

De acordo com o MMA (2007), a região onde está inserida a EESGT e o Jalapão é uma área prioritária de representatividade extremamente alta para a conservação do Cerrado. A caracterização completa da EESGT pode ser acessada em seu Plano de Manejo, onde são apresentados os elementos que conformam o seu espaço geográfico bem como as suas interrelações (MMA, 2014).

1.4.2. Populações tradicionais

Além de ser uma área prioritária de extrema importância para a conservação do Cerrado, a EESGT é lar de povos tradicionais que descendem de populações que habitam esse território desde o início do século XX (MMA, 2007 e 2014).

O parágrafo 4º do artigo 9º da Lei nº 9.985 é claramente restritivo no que concerne às ações que possam causar alterações dos ecossistemas nas estações ecológicas, condição que *a priori* contrapõe-se à existência de habitantes e suas conseqüentes atividades nas unidades de conservação. Contudo, o uso do ambiente para atividades de subsistência dos povos tradicionais em unidades de conservação é plenamente garantido pelo artigo 5º da Lei nº 9.985/2000, além da indenização para os casos de recursos perdidos (BRASIL, 2000). O artigo 216 da Constituição Federal também reconhece o Estado brasileiro como pluriétnico e multicultural, e busca assegurar aos diversos grupos formadores da nacionalidade o direito à manutenção de sua cultura, que compreende seus modos de criar, fazer e viver (BRASIL, 1988).

Dessa forma, embora a legislação vigente seja imperativa acerca dos direitos adquiridos pelos povos tradicionais, na criação da EESGT não houve uma consulta pública, tão pouco um reconhecimento dos direitos dos ocupantes pretéritos (LINDOSO; PARENTE, 2013), sendo que as estações ecológicas e as reservas biológicas são as únicas categorias de unidade de conservação que não necessitam de consulta pública para sua criação (BRASIL, 2000).

Deste modo, naturalmente, a região foi conduzida a um conflito político-territorial inerente ao processo de criação da unidade de conservação (LINDOSO; PARENTE, 2013), e a melhor forma encontrada pelo Estado para a amenização deste conflito foi a instituição de um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC), mediado pelo Ministério Público, para estabelecer as normas de convivência entre a comunidade e a EESGT (LINDOSO, 2011). Em 2012, o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e a associação de moradores locais (Ascolombas-Rios) assinaram um termo de compromisso, que estabeleceu regras de convivência entre as partes, definindo condições para o uso e manejo dos recursos naturais na EESGT (MASCARENHAS, 2013).

Atualmente estima-se que pelo menos 50 famílias de populações tradicionais estejam habitando o território da EESGT. Essas populações são de residentes e posseiros que fazem uso da terra para o cultivo de roças, criam gado bovino e fazem extrativismo de capim dourado (MMA, 2014).

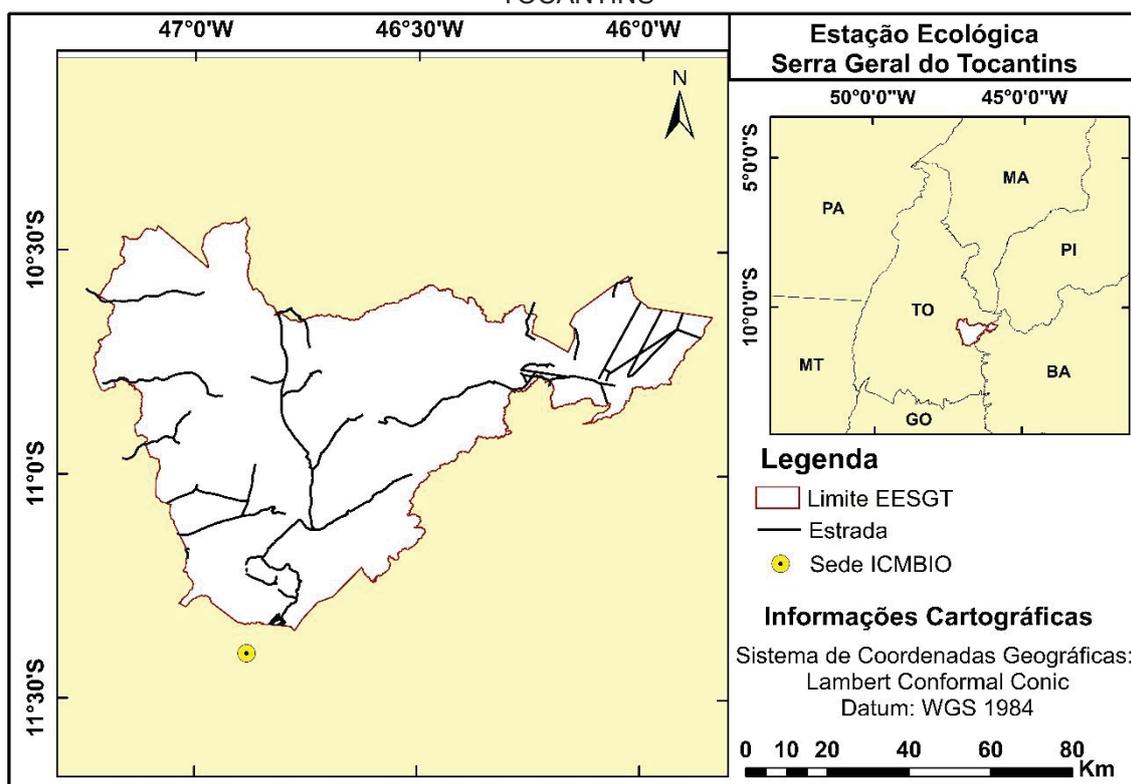
As atividades de uso da terra realizadas pelos povos tradicionais na EESGT possuem relação direta com o uso do fogo. A criação de gado necessita da queima para renovação de pastagens; o cultivo agrícola por meio da roça de toco consiste no corte da vegetação, secagem e queima para plantio sobre a área queimada; e o extrativismo do capim dourado requer a sua queima para rebrota e floração (SCHMIDT et al., 2011; MMA, 2014).

Os posseiros comumente têm residência fixa nas cidades mais próximas e nas suas posses fazem casas de palha ou pau a pique que servem de pousio pelo período em que estão trabalhando na área. Além disso, existem algumas famílias que vivem na unidade de conservação e formam pequenos aglomerados de habitação, a exemplo da Comunidade dos Prazeres (LINDOSO, 2014; MMA, 2014).

1.4.3. Acessos

A EESGT está localizada em uma região de baixa densidade populacional, com até 1 hab/km² (IBGE, 2010). O acesso ao interior da unidade de conservação é limitado por algumas estradas (FIGURA 3), não pavimentadas e em solo arenoso que exigem tração 4 x 4 nos veículos (MMA, 2014).

FIGURA 3. ESTRADAS VICINAIS NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS



FONTE: Adaptado da Gestão da EESGT (2017)

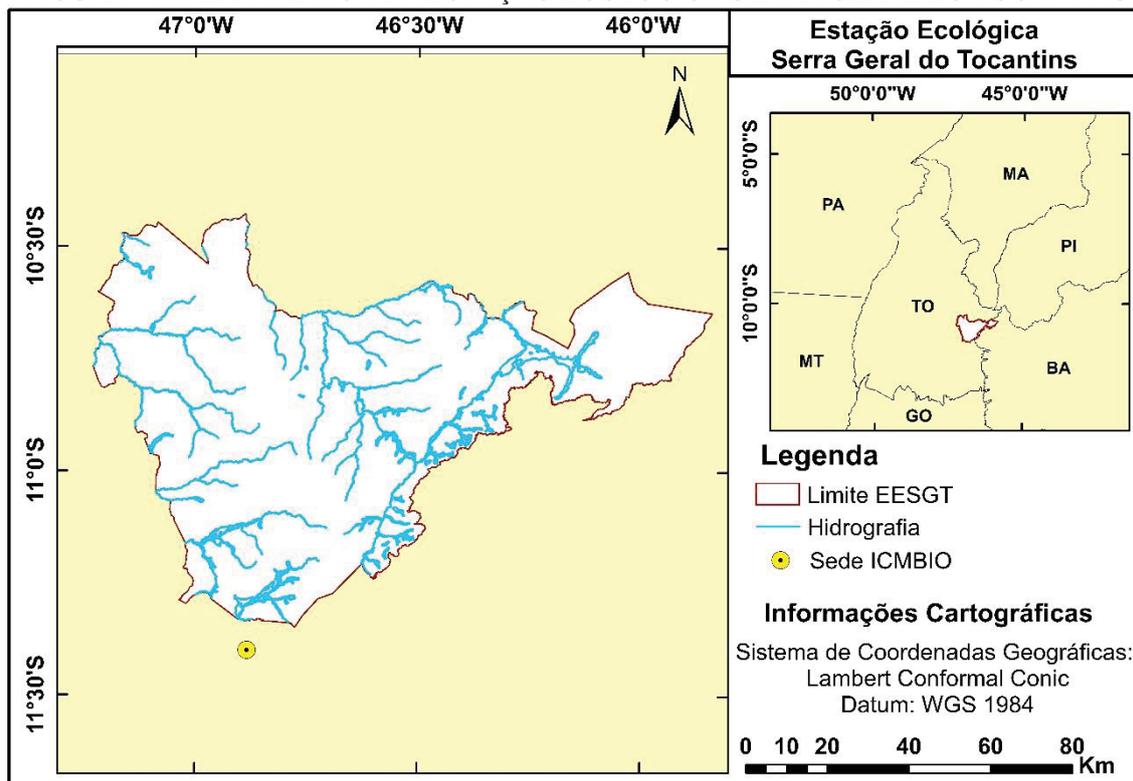
Os acessos precários contribuem para uma condição de isolamento da EESGT, favorecendo a preservação de um fragmento do Cerrado com bom estado de conservação, tendo como um dos principais fatores de influência antrópica a alteração nos regimes de queima da região (MMA, 2013 e 2014; BARRADAS, 2017).

Embora favoreça a preservação ambiental pelo isolamento, a limitação de acessos internos da EESGT apresenta-se como um fator limitante para o desenvolvimento de pesquisas científicas que demandam longos períodos de coleta de dados em campo (GANASSOLI, 2019).

1.4.4. Hidrografia

A EESGT possui uma vasta malha hídrica bem distribuída em todo seu território (FIGURA 4), drenada, em sua maioria, pela bacia do rio Tocantins-Araguaia (82,5%), e em menor parte pela do rio São Francisco (17,5%) (CRISTO, 2013).

FIGURA 4. MALHA HÍDRICA DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS



FONTE: Adaptado de Tocantins (2012)

De acordo com Cristo (2013), existem quatro bacias hidrográficas elementares de grande importância e que são responsáveis pelo escoamento regional na EESGT: as bacias hidrográficas do rio Sono, do rio das Balsas e do rio Manoel Alves da Natividade (bacia hidrográfica do rio Tocantins-Araguaia) e do rio Preto (bacia hidrográfica do rio São Francisco).

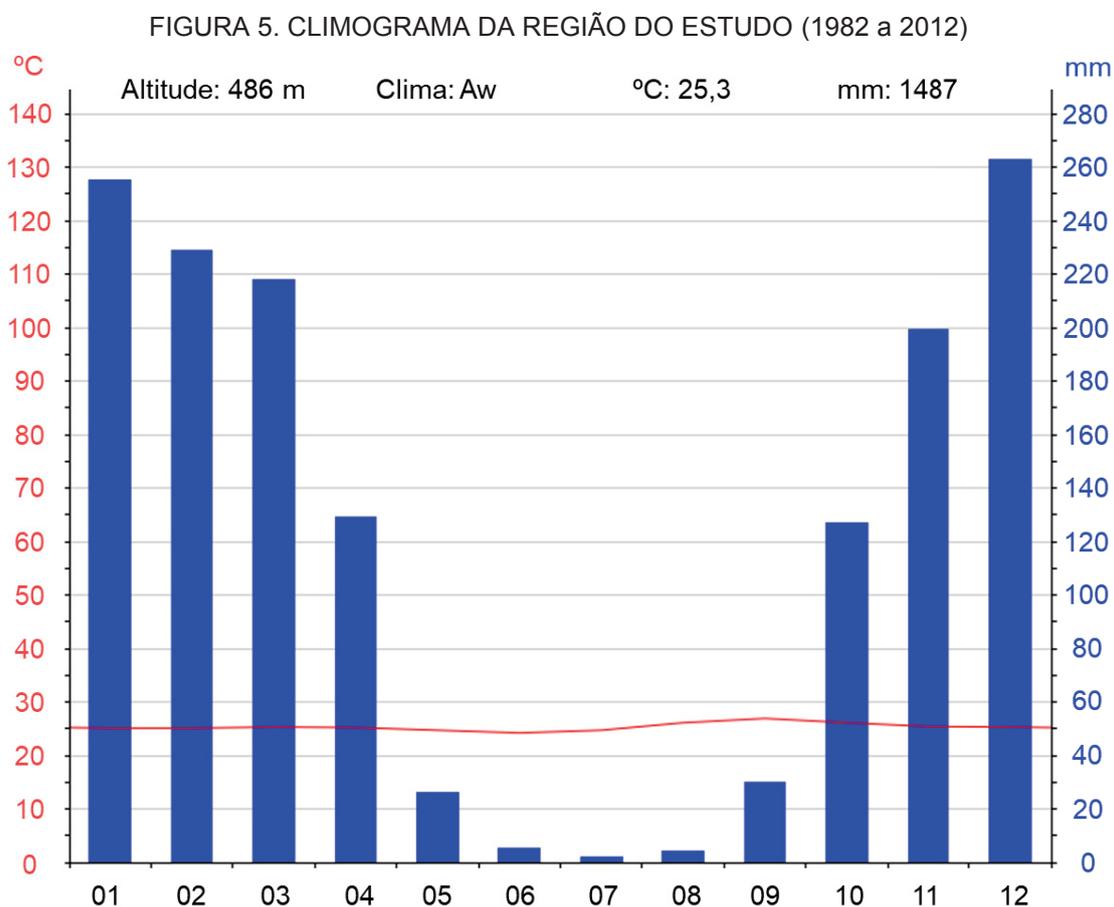
Em razão de ser território de nascentes de diversos corpos hídricos, a EESGT é uma unidade de conservação importante para a preservação de recursos hídricos brasileiros (MMA, 2014). As nascentes nesta área estão comumente associadas às veredas, que são um tipo de vegetação com presença da palmeira *Mauritia flexuosa*, em meio a agrupamentos mais ou menos densos de espécies arbustivo-herbáceas e sua ocorrência está condicionada ao afloramento do lençol freático (EMBRAPA, 2019a).

Estas veredas contribuem para a distribuição dos rios e seus afluentes, além da manutenção da fauna do Cerrado, servindo como refúgio, abrigo, fonte de alimento, dessedentação e local de reprodução (EMBRAPA, 2019a). Um dos principais fatores que ameaçam a estabilidade desses ambientes de nascentes

e veredas são os incêndios de alta severidade que ultrapassam os seus limites de resiliência físico-biológica (BARRADAS, 2017).

1.4.5. Clima da região

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região da EESGT é do tipo Aw (clima tropical de savana), com precipitação anual abundante, superior à evapotranspiração potencial anual (MMA, 2014; CLIMATE-DATA, 2020). O verão é chuvoso e ocorre nos meses de outubro a abril, e o inverno seco acontece de maio a setembro (FIGURA 5).



FONTE: Climate-Data (2020).

LEGENDA: — - Temperatura; ■ - Precipitação.

Na região da área de estudo, julho é o mês mais seco com 2 mm de precipitação; o mês de maior precipitação é dezembro, com uma média de 263 mm; o mês de setembro é o mais quente do ano, com uma temperatura média

de 26,9 °C; a temperatura média em junho é de 24,2 °C, que é a temperatura média mais baixa de todo o ano; e as temperaturas médias variam 2,7 °C ao longo do ano (CLIMATE-DATA, 2020).

1.4.6. Solos

Em uma paisagem com relevo relativamente plano e suavemente ondulado, com cotas médias de altitude entre 300 e 550 metros, a maior parte do território da EESGT é coberta por Neossolos Quartzarênicos, aproximadamente 70,4% (TABELA 1), com predominância de textura areia ou areia franca a pelo menos dois metros de profundidade, e com até 15% de argila (CRISTO, 2013; MMA, 2013).

TABELA 1 - CLASSES DE SOLO NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS

Classes	Área (km ²)	Percentual (%)
Argissolo	130,7	1,1
Cambissolo Háplico	27,3	0,3
Cambissolo com Concreções Ferruginosas	123,4	0,9
Latossolo Amarelo	2.755,5	22,2
Neossolo Quartzarênico	8.721,1	70,4
Neossolo Litólico	619,1	5,1
Total	12.377,1	100,0

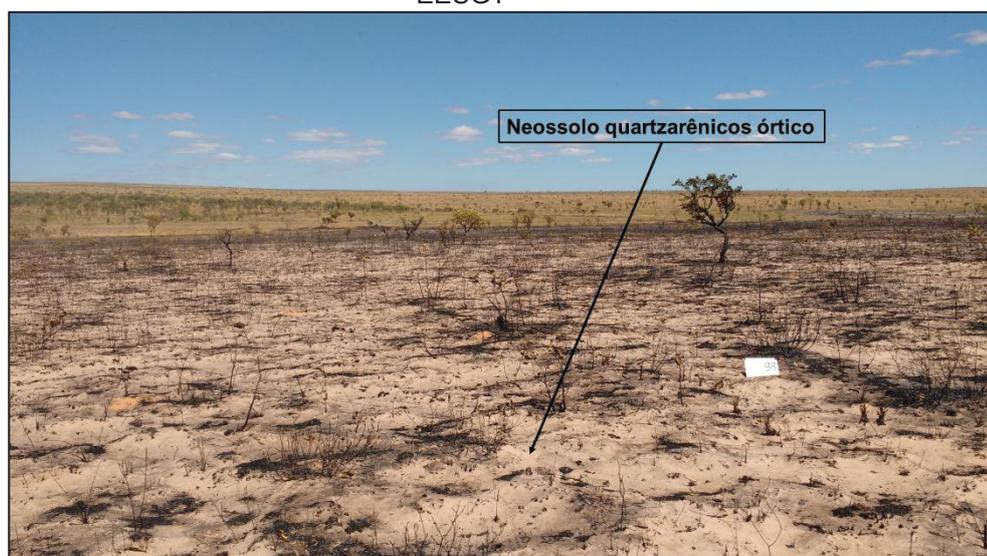
Fonte: Cristo (2013).

NOTA: Os dados contidos na tabela consideram um *buffer* de 10 km além do limite territorial da EESGT.

Os neossolos quartzarênicos são divididos em órticos e hidromórficos (EMBRAPA, 2019b). Na EESGT, os neossolos quartzarênicos hidromórficos ocorrem em regiões de veredas onde há afloramento do lençol freático durante parte do ano, sendo, portanto, mal drenados nesse período (MMA, 2014).

Este estudo foi conduzido em regiões de ocorrência de neossolos quartzarênicos órticos, como pode ser observado na FIGURA 6.

FIGURA 6. NEOSSOLO QUARTZARÊNICO EXPOSTO APÓS A PASSAGEM DO FOGO NA EESGT



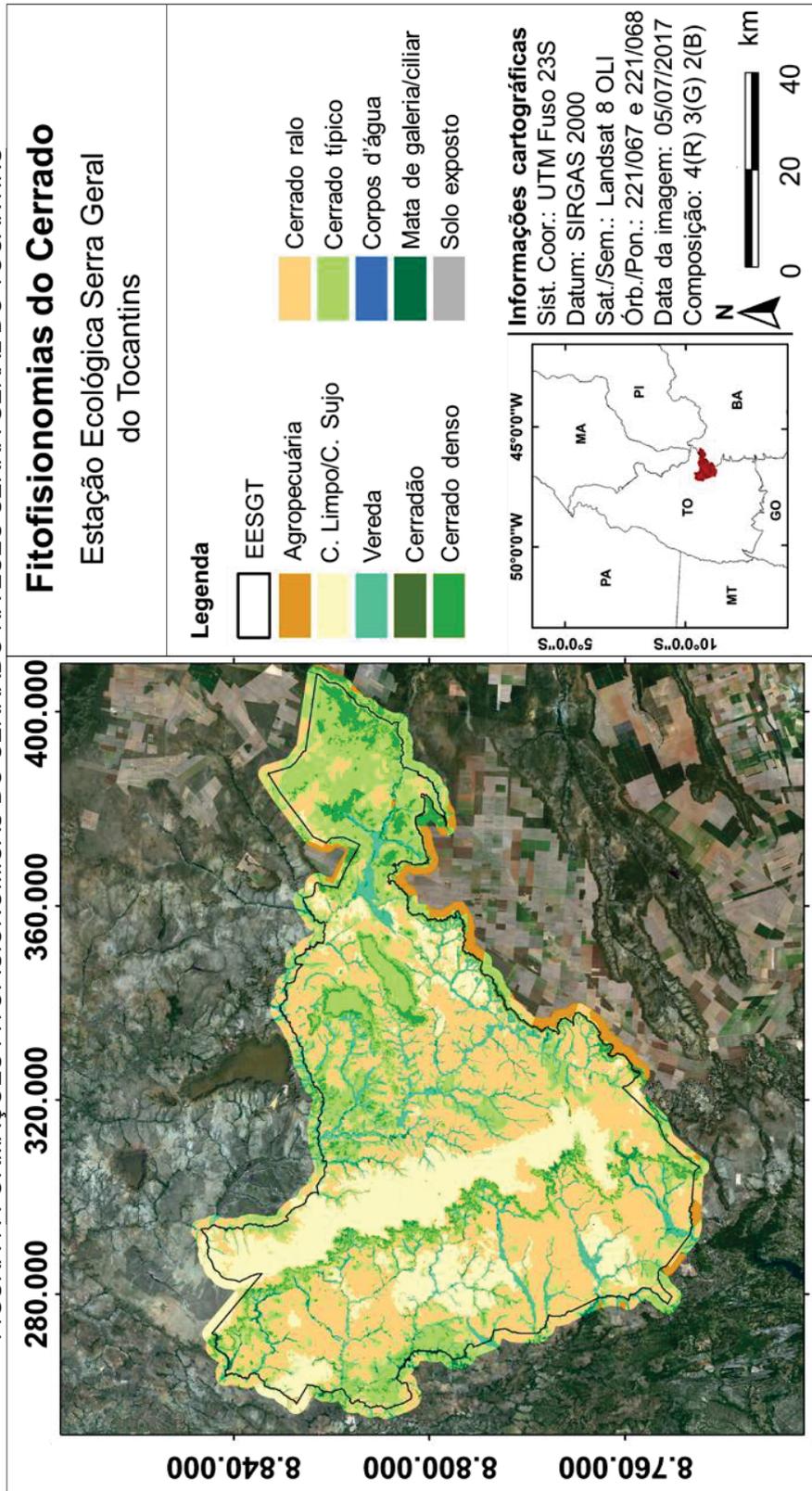
FONTE: o autor (2020)

Os neossolos quartzarênicos órticos ocorrem comumente em relevo que varia de plano ao suave ondulado, sob a vegetação de Cerrado e Campo Cerrado, e tem como material de origem arenitos diversos, sendo particularmente suscetíveis à erosão em profundidade, em razão de sua constituição arenosa com grãos soltos, condicionando fácil desagregabilidade de seu material constituinte (MMA, 2014).

1.4.7. Vegetação

Na EESGT o solo é coberto, predominantemente, por formações savânicas e campestres, que formam uma paisagem homogênea e contínua sendo interrompida por fragmentos de cerrado denso e matas ciliares margeando os corpos hídricos (FIGURA 7).

FIGURA 7. FORMAÇÕES FITOFISIONOMICAS DO CERRADO NA ESEC SERRA GERAL DO TOCANTINS

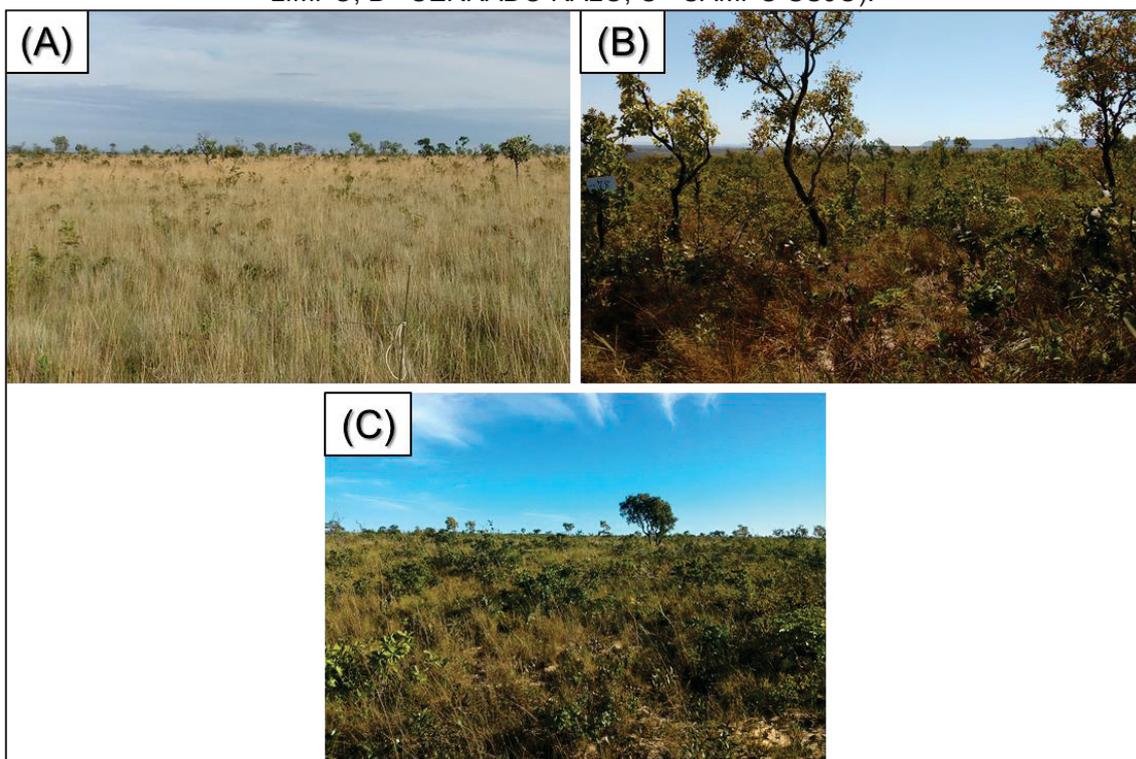


FONTE: Adaptado de Orozco Filho (2017).

O Cerrado Ralo é o tipo de formação mais comum na EESGT, seguido de áreas com presença de Campo Limpo/Campo Sujo e Cerrado Típico (FIGURA 7).

Nas FIGURAS 8A e 8C são ilustradas as formações campestres que ocorrem na EESGT. Esse tipo de fitofisionomia é marcado pela presença majoritária de vegetação herbácea, poucos arbustos e sem ocorrência de árvores (RIBEIRO; WALTER, 2008).

FIGURA 8. FISIONOMIAS DO CERRADO ONDE FOI CONDUZIDO O ESTUDO (A= CAMPO LIMPO; B= CERRADO RALO; C= CAMPO SUJO).



FONTE: o autor (2020)

A FIGURA 8B ilustra um Cerrado Ralo, uma formação savânica composta por pequenas árvores e arbustos inclinados, tortuosos, com ramificações irregulares e retorcidos, geralmente com evidências de queimadas, espalhados sobre um estrato gramíneo com diferentes graus de adensamento (SILVA; BATES, 2002).

Esta pesquisa foi conduzida nas áreas de Campo Limpo, Campo Sujo e Cerrado Ralo da EESGT (FIGURA 8), onde os indivíduos lenhosos com mais de 1 cm de diâmetro do tronco a altura da base possuem uma área basal de 3,45

$\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$, altura média de 1 m e com uma área de copa de $860,3 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ (TABELA 2). Nesta área, o fogo é um agente modificador da paisagem e das características da vegetação e o tempo que o terreno fica em repouso, sem a passagem do fogo, afeta as características dendrométricas da vegetação lenhosa (TABELA 2).

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DA VEGETAÇÃO LENHOSA COM DIÂMETRO SUPERIOR A 1cm

Tempo sem queima (anos)	G ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$)	Hm (m)	AC ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$)
2	2,13	0,95	617,9
3	4,28	1,05	1.177,7
4	3,93	1,01	785,4
Média	3,45	1,02	860,3

FONTE: O autor (2020).

LEGENDA: G - área basal; Hm - altura média da vegetação; AC – área de copa.

Em um inventário realizado na EESGT, cujo critério de inclusão considerou os indivíduos arbóreos e arbustivos com circunferência a altura do solo (CAS) maior ou igual a 8 cm, foram encontradas 417 espécies distribuídas entre 89 famílias botânicas. A família com maior número de espécies foi a Leguminosae (60). Em seguida observou-se Poaceae (27); Melastomataceae (25); Myrtaceae (16); Annonaceae (13); Cyperaceae e Vochysiaceae (12); Malpighiaceae (11); Asteraceae, Chrysobalanaceae e Euphorbiaceae (10). Estas famílias corresponderam a 49,4% do total de famílias encontradas no estudo. As famílias com apenas duas espécies totalizaram 7,67% e as com uma espécie somaram 8,15% (MMA, 2014).

Ainda, de acordo com o estudo supracitado, foram encontrados 204 gêneros e aqueles que tiveram o maior número de espécies foram: *Byrsonima* (8); *Miconia* e *Myrcia* (7); *Erythroxylum* (6); *Andira*, *Annona*, *Chamaecrista*, *Kielmeyera*, *Ouratea*, *Psidium*, *Syagrus* e *Vochysia* (5); *Anadenanthera*, *Andropogon*, *Axonopus*, *Bulbostylis*, *Davilla*, *Hirtella*, *Hymenaea*, *Manilkara*, *Mouriri*, *Pouteria*, *Rhyncospora* e *Syngonanthus* (4) (MMA, 2014).

Considerando as áreas de Cerrado Sentido Restrito e Campos Sujo da EESGT, as espécies arbóreas mais abundantes nestas fitofisionomias foram: *Hirtella ciliata* (pau-pombo), *Rourea induta* (pau-brinco), *Vochysia sp.* (pau-coalhada), *Kielmeyera cf. lathrophyton*, *Qualea parviflora* (pau-terra), *Kielmeyera coriacea* (pau-santo), *Mouriri elliptica* (puçá-croa), *Hymenaea stigonocarpa*

(jatobá-do-cerrado), *Eriotheca cf. gracilipes* (paineira), *Stryphnodendron sp.* (barbatimão), *Tachigali vulgaris* (candial-preto) e *Mouriri pusa* (puçá-preto). Em menor frequência foram encontrados *Tabebuia ochracea* (ipê-amarelo), *Connarus suberosus* (pau-brinco), *Neea theifera* (melosa), *Pouteria sp.2*, *Bowdichia virgilioides* (sucupira-preta), *Machaerium opacum* (jacarandá-cascudo), *Handroanthus serratifolius* (ipê-amarelo), *Acosmium dasycarpum* (amargozinha) e *Himatanthus obovatus* (tiborna). Foram observados, também, *Cordia sp.*, *Erythroxylum deciduum* (fruta-de-pombo), *Stryphnodendron adstringens* (barbatimão), *Campomanesia sp.1* (cascudinho), *Hancornia sp.* (mangaba), *Couepia cf. paraensis* (oiti), *Caryocar coriaceum* (pequi), *Aspidosperma macrocarpon* (peroba-do-cerrado), *Dalbergia miscolobium* (jacarandá-do-cerrado), *Agonandra brasiliensis* (cerveja-de-pobre) e *Plathymenia cf. reticulata* (faveira). Com menor frequência foram encontradas *Copaifera langsdorffii* (copaíba), *Plenckia populnea* (marmelo-do-cerrado), *Simaba sp.*, *Qualea grandiflora* (pau-terra-grande), *Erythroxylum suberosum* (cabelo-de-negro), *Curatella americana* (sambaíba), entre outras espécies. Cabe destacar que *Myracrodruon urundeuva* (aroeira) é a única espécie ameaçada de extinção observada na EESGT (MMA, 2014).

De acordo com o mesmo autor, algumas espécies arbóreas que são abundantes na EESGT apresentam um aspecto arbustivo com ramificações desde a base, tais como *Virola aff. sebifera* (ucuúba-do-cerrado), *Pouteria aff. ramiflora* (esporão-de-galo), *Copaifera aff. nana* (pau-d'óleo), *Eschweilera aff. nana* (sapucaia), *Byrsonima cf. intermedia* (murici), *Ouratea hexarperma* (vassoura-de-bruxa), *Tachigali vulgaris* (candial-preto), *Rourea induta* (pau-brinco) e *Hirtella ciliata* (pau-pombo).

Em áreas de Cerrado Ralo é comum observar a dominância de uma ou poucas espécies lenhosas, como *Hirtella ciliata* (pau-pombo), *Stryphnodendron sp.* (barbatimão), *Tachigali vulgaris* (candial-preto), *Mouriri elliptica* (puçá-croa), *Vellozia spp.* (canela-de-ema), *Vochysia sp.* (pau-coalhada), *Kielmeyera coriacea* (pau-santo) e *Kielmeyera cf. lathrophyton* (MMA, 2014).

No estrato arbustivo das áreas de Cerrado Sentido Restrito da EESGT as espécies mais abundantes são: *Byrsonima cf. intermedia* (murici), *Chamaecrista desvauxii*, *Chamaecrista sp.2*, *Erythroxylum aff. campestre*, *Davilla elliptica* (sambaibinha), *Esenbeckia aff. pumila*, *Tocoyena formosa*

(marmelada-de-raposa), *Parinari* aff. *obtusifolia* (mãe-jacó), *Pouteria* sp.3, *Andira* sp.1 (angelim-rasteiro), *Heisteria* sp., *Eschweilera* sp. (sapucaia), *Hymenaea* sp.1 (jatobá-de-casca-fina), *Lippia* cf. *alba* (cânfora), *Erythroxylum* sp.2, *Annona* sp.1 (araticunzinho), *Anacardium humile* (cajuzinho-do-cerrado), *Vellozia* sp. (canela-de-ema), *Myrcia pinifolia*, *Campomanesia* sp., *Cordia concolor*, *Manihot caerulescens* (mandioca-brava), *Copaifera* aff. *nana* (pau-d'óleo), *Hedychium* sp., *Licaria* sp., *Davilla* sp. (sambaibinha), *Abuta* sp., *Pterogyne* cf. *confertiflora* (pau-d'óleo), *Hyptis linarioides* (cânfora), *Myrcia pinifolia* e *Jacaranda* aff. *cuspidifolia* (carobinha), *Ouratea* spp., *Syagrus* sp. (catolé), *Cordia concolor*, *Annona monticola* (araticunzinho), *Manihot caerulescens* (mandioca-brava), *Licaria* sp., *Ouratea acicularis*, *Ichthyothere* sp.1, *Myrcia guianensis*, *Senna rugosa*, *Bauhinia* sp. (miroró) e *Davilla* cf. *nítida* (sambaibinha), *Smilax* spp. (unha-de-gato), *Andira* cf. *humilis* (angelim-rasteiro) e *Serjania* sp. e em menor frequência são observados *Brosimum gaudichaudii* (bureré), *Piptadenia* sp., *Krameria* cf. *tomentosa* e *Peixotoa* sp. (MMA, 2014).

De acordo com o mesmo autor, no estrato herbáceo a família Poaceae é a que apresenta maior abundância de espécies e os gêneros mais frequentes são *Axonopus*, *Schizachyrium*, *Trachypogon*, *Panicum* e *Paspalum*. Outras famílias que têm ampla distribuição de espécies na EESGT são Asteraceae, Lamiaceae, Verbenaceae e Malvaceae. Além das já citadas, as espécies mais abundantes são *Byrsonima* sp.2 (murici), *Trimezia juncifolia* (cebolinha-de-perdiz), *Zephyranthes* sp., *Turnera* sp., *Bulbostylis* sp.1, *Hyptis* sp.1, *Astrocaryum* cf. *campestre* (tucum), *Hedychium* sp., *Egletes* cf. *viscosa*, *Jaegeria* sp., *Vitex* sp., *Rhynchospora* sp.1 e *Croton* sp.2 e em menor frequência observa-se *Eriosema* cf. *stenophyllum*, *Peltaea* sp., *Pfaffia* sp., *Dalechampia linearis*, *Stachytarpheta* sp. e *Discocactus heptacanthus* (coroa-de-frade).

1.4.8. O uso do fogo no manejo das áreas naturais

A existência do fogo carece necessariamente de algumas condições básicas: uma fonte de calor entre 260 e 400°C, concentração superior a 15% de oxigênio disponível na atmosfera e condições quantitativas e qualitativas mínimas ideais do material combustível disponível para a queima (SOARES et al., 2017; SANTOS, 2019; GANASSOLI, 2019).

A origem do fogo está diretamente ligada ao surgimento de plantas (há 440 milhões de anos), responsáveis por fornecer o material combustível para a queima. O calor foi sempre abundante na história geológica da terra, por meio de erupções vulcânicas e raios. Por outro lado, o oxigênio livre na atmosfera tem tido seu surgimento creditado às atividades biogênicas, por meio de organismos fotossintetizantes e a fotólise da água em hidrogênio e oxigênio (PAUSAS; KEELEY, 2009; DAVANKOV, 2020).

Dessa forma, durante milhões de anos, o fogo tem sido agente efetivo nos processos evolutivos da vegetação terrestre, principalmente em ecossistemas savânicos (PAUSAS; KEELEY, 2009; SIMON et al., 2009).

O uso do fogo para o manejo dos Cerrados é mais recente e está ligado ao surgimento dos povos primitivos que ocuparam a região há pelo menos 11.000 anos e que a partir deste período usaram o fogo em atividade de caça, manejo de vegetação e guerras tribais (MIRANDA et al., 2002).

Diversos povos indígenas da região do Cerrado brasileiro, como os Kayapó, Xavante, Nambiquara e Xerente, têm utilizado o fogo para os mais diversos fins, tais como: preparo da terra para a agricultura, manejo de frutificação de plantas, táticas de guerra, estratégias de caça e limpeza de florestas ciliares para facilitar a pesca (POSEY, 1987; FALLEIRO, 2011; MELO; SAITO, 2011).

Portanto, na história recente, a ocorrência de fogo no Cerrado está majoritariamente ligada às ações antrópicas verificadas nas práticas de uso do fogo pelos povos tradicionais e, mais recentemente, no manejo agropecuário (MISTRY, 1998; PIVELLO, 2011).

Uma tendência conceitual, recorrente no século XX, era de que o fogo seria sempre um fenômeno daninho, pensamento que foi assimilado pela população, em parte por imposição dos agentes ambientais do próprio Estado e o que se viu no Brasil foi a propagação de uma política de supressão do uso do fogo neste período, que atualmente convencionou-se chamar de “política do fogo zero” (BARRADAS, 2017).

Contudo, levando em consideração alguns atributos evolutivos que conferem resiliência do Cerrado à ação do fogo, tais como: grande quantidade de biomassa subterrânea, tecidos reprodutivos subterrâneos, tecidos termoisolantes do caule e tegumento protetor das sementes, é possível

depreender que o fogo exerce um papel ecológico importante nos ecossistemas savânicos e que o seu uso adequado pode ser uma ferramenta de manejo florestal eficiente (COUTINHO, 1990; BOND; KEELEY, 2005; SIMON et al., 2009).

Diante do papel social e ecológico do fogo no curso da história, algumas políticas públicas foram e têm sido desenvolvidas a fim de regulamentar seu uso de modo racional (BARRADAS, 2017; BRASIL, 2018).

As políticas brasileiras que regulamentaram o uso do fogo apresentaram um caráter restritivo ao longo da sua história, contudo, sempre existiram algumas exceções que permitiam a sua aplicabilidade para fins ecológicos, produtivos ou de proteção (BARRADAS, 2017).

Em dezembro de 2018 foi apresentado um projeto de lei (PL 11.276/2018) que altera as Leis nº 7.735, de 1989 e 12.651, de 2012, a fim de instituir a “Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo”, cujos objetivos são disciplinar e promover a articulação interinstitucional relativa ao manejo integrado do fogo; reduzir a incidência e os danos dos incêndios florestais no território nacional; e promover a restauração do papel ecológico e cultural do fogo (BRASIL, 2018).

O PL 11.276/2018 tem sido considerado uma importante ferramenta para oficialização de uma abordagem racional do uso do fogo no país. A promoção de políticas públicas com forte embasamento científico, que respeitem as demandas das comunidades locais, e que norteiem o uso do fogo, são fundamentais para promover a conservação e o uso racional do ambiente.

Geralmente as estratégias para lidar com o fogo e com as demais questões ambientais falham quando a ciência falha em ofertar subsídio teórico adequado, quando conflitos políticos interferem na tomada objetiva de decisão e quando países “desenvolvidos” ou instituições supranacionais oferecem aos países “em desenvolvimento” estratégias impróprias para as condições locais (XANTHOPOULOS, 2007; SCRUTON, 2016).

De acordo com Scruton (2016), a melhor forma de lidar com os problemas ambientais do planeta é através de uma abordagem de baixo para cima, partindo dos indivíduos e das comunidades. A estratégia do pensar global tem reduzido o senso de responsabilidade ecológica individual, transferindo para o Estado um encargo que notadamente ele não é capaz de lidar. Desta forma,

uma abordagem ambiental que promova nos indivíduos o apreço ao seu lugar naturalmente estimularia a conservação e tende a ser mais eficiente.

Neste sentido, estimular as associações civis e a produção de acervo científico, que ofereça bases conceituais para a implementação de políticas de manejo ecológico com o uso do fogo, além da efetivação de uma base de dados históricos que permitam avaliar em longo prazo os resultados do manejo, são cruciais para a conservação do Cerrado.

A EESGT foi a primeira unidade de conservação federal a incluir em seu plano de manejo a possibilidade de uso do fogo para fins de manejo como uma norma geral, além de ter sido a primeira unidade de conservação de proteção integral a permitir o uso do fogo para práticas tradicionais por meio da assinatura de um termo de compromisso (BARRADAS, 2017).

O uso do fogo para manejo na EESGT é estratégico para a sua melhor gestão, tendo em vista que os incêndios florestais foram historicamente um problema a ser enfrentado no território da unidade de conservação. Conforme os dados de monitoramento do ICMBio, no ano de 2010 a EESGT foi responsável por 21% dos 1,68 milhão de hectares de área queimada em unidades de conservação federais, em 2011 subiu para 33% (210 mil hectares / 29% da área total da UC) e em 2012 queimou 21% do total nacional (MASCARENHAS, 2013).

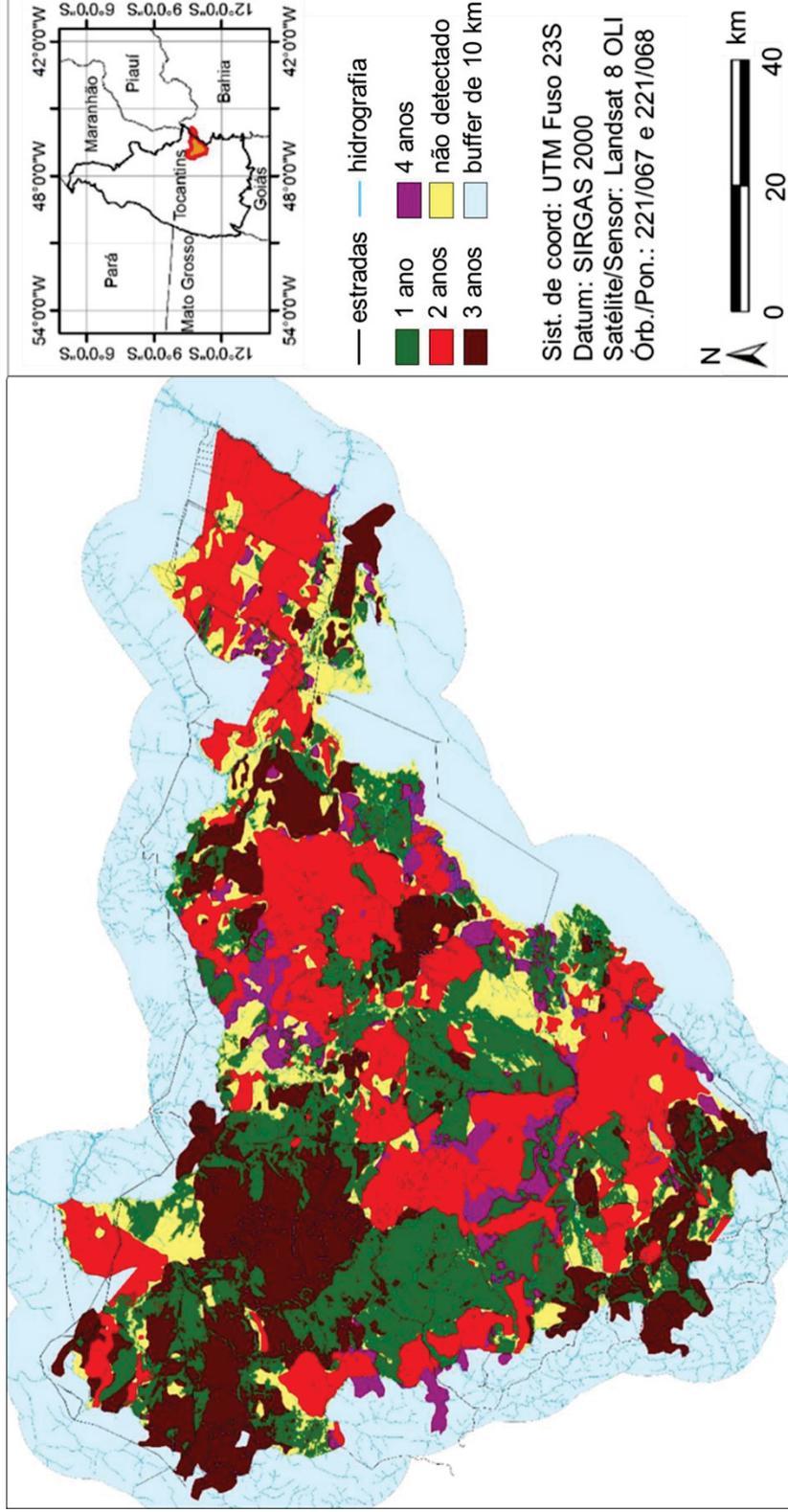
O histórico de incêndios da EESGT está associado à política de exclusão do fogo. No ano de 2007 foi dado início à política de fogo zero, com proibição de queimas praticadas por povos tradicionais, medida que contribuiu para o aumento de quantidade e continuidade dos combustíveis, resultando em grandes incêndios. Em 2012, ocorreu o rompimento com a mentalidade de supressão total do fogo e foram iniciadas as primeiras atividades de manejo do fogo, com o emprego de queimas prescritas, confeccionando aceiros negros para fragmentação da continuidade do material combustível e reduzindo os grandes incêndios (MASCARENHAS, 2013).

Com o uso do fogo no manejo ambiental, a EESGT tem apresentado diminuição da sua área queimada em incêndios ocorridos nos períodos de maior estiagem. No ano de 2012, 83,6% do território da EESGT foi queimado em incêndios tardios, em 2013 foi 56,7%, em 2014 71,3%, em 2015 53,1%, e em 2016 foi 53,6%. Outro fenômeno que foi amenizado por meio das estratégias de

manejo de fogo foi a redução de área queimada em um mesmo evento de incêndio. No ano de 2012 o maior incêndio consumiu uma área de 107.000 hectares e até 2016 o maior incêndio ocorrido foi de 31.700 hectares. Outra conquista importante, do manejo do fogo na unidade de conservação, foi a redução do tempo máximo empregado no combate a um evento de incêndio, passando de 10 para 5 dias, condição que gera efetiva e importante economia de recursos (BORGES; BARRADAS, 2016).

A fragmentação do território da EESGT em áreas com períodos sem queima distintos ilustra a efetividade das ações de queima prescrita realizada pela gestão da unidade de conservação e que se transformou em um modelo de manejo com uso do fogo no Cerrado (FIGURA 9).

FIGURA 9. FRAGMENTAÇÃO DO TERRITÓRIO DA EESGT POR TEMPO SEM QUEIMA



FONTE: Adaptado da Gestão da EESGT (2017)

Diante do sucesso da EESGT em reduzir o tamanho dos incêndios e fragmentar o combustível em continuidade e quantidade (FIGURA 9), nasceu também a necessidade de aprimorar os métodos de manejo com uso do fogo. Nesse sentido, a realização de pesquisas que quantifiquem os benefícios resultantes do manejo do ambiente com uso do fogo na EESGT é fundamental para subsidiar eventuais aprimoramentos nessa estratégia de manejo ambiental.

REFERÊNCIAS

- BARRADAS, A. C. S. **A gestão do fogo na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, Brasil**. 2017. 135 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Biodiversidade em Unidades de Conservação) - Escola Nacional de Botânica Tropical, Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=A+gest%C3%A3o+do+fogo+na+Esta%C3%A7%C3%A3o+Ecol%C3%B3gica+Serra+Geral+do+Tocantins%2C+Brasil.&btnG=>>. Acesso em: out. 2018
- BAUDENA, M.; DEKKER, S. C.; VAN BODEGOM, P. M.; CUESTA, B.; HIGGINS, S. I.; LEHSTEN, V.; REICK, C. H.; RIETKERK, M.; SCHEITER, S.; YIN, Z.; ZAVALA, M. A.; BROVKIN, V. Forests, savannas and grasslands: bridging the knowledge gap between ecology and Dynamic Global Vegetation Models. **Biogeosciences**, [s. l.], v. 12, p. 1833-1848, 2015. <https://doi.org/10.5194/bgd-11-9471-2014>
- BOND, W. J.; KEELEY, J. E. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. **Trends in ecology & evolution**, [s. l.], v. 20, n. 7, p. 387-394, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.025>
- BORGES, M. A.; BARRADAS, C. **Gestão do fogo na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. Rio da Conceição: ICMBio, 2016. 67 Slides. (Relatório técnico). Disponível em: <http://www.cemaf.org/smif/images/apresentacoes/04_Borges_e_Barradas.pdf>. Acesso em: out. 2019
- BRASIL. [Constituição (1988)]. Artigo 216. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 2019. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em: ago. 2019.
- BRASIL. **Decreto s/nº de 27 de setembro de 2001**. Cria a Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, nos estados do Tocantins e da Bahia, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/DNN/2001/Dnn9340.htm. Acesso em: fev. 2019.
- BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm. Acesso em: fev. 2019.
- BRASIL. **Projeto de lei nº 11276 apresentado em 27 de dezembro de 2018**. Câmara dos deputados. 2019. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2190265>. Acesso em: ago. 2019.

CLIMATE-DATA. **Clima**: Rio da Conceição. 2020. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/tocantins/rio-da-conceicao-312500/?amp=true>. Acesso em: fev. 2020.

COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In J. G. GOLDAMMER, (Ed.). **Fire in Tropical Biota**, Berlin: Springer-Verlag, 1990. p. 82–105. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-75395-4.pdf>. Acesso em: out. 2018.

CRISTO, S. V. **Plano de Manejo para a Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. Relatório do Meio Físico. Versão Final. Instituto Chico Mendes de Proteção da Biodiversidade (ICMBio). Porto Nacional/Tocantins, 2013. 47p.

DAVANKOV, V. A. Critical review on the origin of atmospheric oxygen: Where is organic matter?. **Planetary and Space Science**, v. 190, Artigo 105023, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2020.105023>

DIAS, B. F. S. Cerrados: uma caracterização. In: DIAS, B. F. S. **Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis**. Brasília: Fundação Pró- Natureza, 1992. p. 11–25. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/340294791_Alternativas_de_Desenvolvimento_dos_Cerrados_Manejo_e_Conservacao_dos_Recursos_Naturais_Renovaveis_FUNATURA_e_IBAMA. Acesso em: out. 2018.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Agência de Informação Embrapa. **Bioma Cerrado**. Vereda. 2019a. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_65_911200585234.html. Acesso em: 07 mar. 2019.

_____. Agência Embrapa de informação tecnológica. **Neossolo Quartzarênicos**. 2019b. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqarta66.html. Acesso em: 07 mar. 2019.

FALLEIRO, R. M. Resgate do manejo tradicional do Cerrado com fogo para proteção das terras indígenas do oeste do Mato Grosso: um estudo de caso. **Biodiversidade brasileira**, Brasília, n. 2, p. 86-96, 2011. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/article/view/114/108>. Acesso em: out. 2019.

GANASSOLI, E. **Comportamento do fogo em área de savana na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. 2019. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Conservação da Natureza, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2019. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/39602/recent-submissions>. Acesso em: out. 2019.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

Densidade demográfica: 2010. 2010. Disponível em:

<https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/demografia>. Acesso em: fev. 2019.

ICMBio. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA

BIODIVERSIDADE. Localização do projeto. 2011. Disponível em:

<https://www.icmbio.gov.br/projetojalapao/pt/corredor-2/localizacao.html>. Acesso em: fev. 2019.

LINDOSO, L. C. Termo de Ajustamento de Conduta com população quilombola residente na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. **Anais do V Seminário de Áreas Protegidas e Inclusão Social**, UFAM, Manaus-AM. 2011.

LINDOSO, L. C.; PARENTE, T. 2013. Fogo, liberdade e sofrimento nos Gerais do Jalapão: uma análise à luz do conceito de recursos de uso comum. In: **Anais do VI Seminário de Áreas Protegidas e Inclusão Social**, UFMG, Belo Horizonte - MG, 2013.

LINDOSO, L. C. **Recursos de uso comum nos Gerais do Jalapão**: uma análise institucionalista do termo de compromisso com populações tradicionais no interior de unidades de conservação. 207 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional, Palmas (TO), 2014. Disponível em:

<http://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/203/1/Lilian%20de%20Carvalho%20Lindoso%20-%20Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>. Acesso em: out. 2018.

MASCARENHAS, A. Prevenção aos incêndios florestais na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins: ações gerenciais e perspectivas de resultados. In: MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Manejo integrado do fogo em áreas protegidas no Brasil**. Iperó: ICMBio, 2013. p. 38 – 40.

MELO, M. M.; SAITO, C. H. Regime de queima das caçadas com uso do fogo realizadas pelos Xavante no cerrado. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, n. 2, p. 97-109, 2011. Disponível em:

<https://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/article/view/110/110>. Acesso em: out. 2019.

MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA, A. C. The fire factor. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The Cerrados of Brazil**: Ecology and natural history of a Neotropical Savanna. New York: Columbia University Press, 2002. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=gp2eBdNOtS0C&oi=fnd&pg=PR7&dq=The+Cerrados+of+Brazil:+Ecology+and+Natural+History+of+a+Neotropical+Savanna&ots=MossCpNRiX&sig=WrZzIXDykqp1lqY8JWuumDWW9CY#v=onepage&q=The%20Cerrados%20of%20Brazil%3A%20Ecology%20and%20Natural%20History%20of%20a%20Neotropical%20Savanna&f=false>. Acesso em out. 2018.

MISTRY, J. Decision-making for fire use among farmers in savannas: an exploratory study in the Distrito Federal, central Brazil. **Journal of environmental Management**, [s. l.], v. 54, n. 4, p. 321-334, 1998. <https://doi.org/10.1006/jema.1998.0239>

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira**. Atualização - Portaria MMA 9, de 23 de janeiro de 2007. Ministério do Meio Ambiente (MMA) / Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF). Série Biodiversidade, 31. Brasília, 2007. 301 p. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/biodiversidade31.pdf. Acesso em out. 2018.

_____. 2013. Atlas do corredor ecológico da região do Jalapão. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, v. 2. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/projetojalapao/images/stories/atlas/AtlasJica_2013_COMPLETO.pdf. Acesso em: out. 2018.

_____. **Dados Georreferenciados**. 2020a. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georreferenciados>. Acessado em: out. 2020.

_____. **O Bioma Cerrado**. 2020b. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>. Acesso em: out. 2020.

_____. Painel: unidades de conservação brasileiras. 2019a. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiMDNmZTA5Y2ItNmFkMy00Njk2LWI4YjYtZDZlZjZkOGM5NWQ4IiwidCI6IjJmY2ZmE5LTNmOTMtNGJiMS05ODMwLTZyNDY3NTJmMDNINCiSlmMiOjF9>. Acesso em: 20 fev. 2019.

_____. **Plano de manejo: Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), 2014. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/cerrado/unidades-de-conservacao-cerrado/2068-esec-serra-geral-do-tocantins>. Acesso em: out. 2018.

_____. **Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas – PNAP**. 2006. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/205/_arquivos/planonacionaareasprotegidas_205.pdf. Acesso em: out. 2020

_____. Unidades de conservação. 2019b. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/o-que-sao.html>. Acesso em: set. 2019.

MYERS, N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, [s. l.], v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000. <https://doi.org/10.1038/35002501>

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. **Biotropica**, [s. l.], v. 32, n. 4b, p. 793-810, 2000. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00619.x>

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado Biome. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical Savana**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 91-120. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=gp2eBdNOtS0C&oi=fnd&pg=PR7&dq=The+cerrados+of+Brazil:+ecology+and+natural+history+of+a+neotropical+savana&ots=MosscPNWiW&sig=oddmpnkCBlqGafwqhjFYAZNx2Q#v=onepage&q=The%20cerrados%20of%20Brazil%3A%20ecology%20and%20natural%20history%20of%20a%20neotropical%20savana&f=false>. Acesso em: out. 2018.

OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical Savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=gp2eBdNOtS0C&oi=fnd&pg=PR7&dq=The+cerrados+of+Brazil:+ecology+and+natural+history+of+a+neotropical+savana&ots=MosscPNWiW&sig=oddmpnkCBlqGafwqhjFYAZNx2Q#v=onepage&q=The%20cerrados%20of%20Brazil%3A%20ecology%20and%20natural%20history%20of%20a%20neotropical%20savana&f=false>. Acesso em: out. 2018.

PAUSAS, J. G.; KEELEY, J. E. A burning story: the role of fire in the history of life. **BioScience**, Oxford, v. 59, n. 7, p. 593-601, 2009. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.10>

PIVELLO, V. R. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. **Fire ecology**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 24-39, 2011. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024>

POSEY, D. Manejo da floresta secundária, capoeiras, campos e cerrados. In: B. RIBEIRO (org.). **Suma Etnológica Brasileira**, t. 1. Petrópolis, Vozes, 1987.

RIBEIRO, J. F.; SANO, S. M.; MACÊDO, J.; SILVA, J. A. **Os principais tipos fitofisionômicos da região dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1983. 28p. (EMBRAPA-CPAC. Boletim de Pesquisa, 21). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/548930>. Acesso em: out. 2018.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. **Cerrado: ecologia e flora**, Planaltina, v. 1, p. 151-212, 2008.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina:

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC, 1998. p. 89-166.

SANTOS, M. M. **Caracterização e modelagem do material combustível de cerrado campestre na região do Jalapão – Tocantins, Brasil**. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Conservação da Natureza, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2019. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/39602/recent-submissions>. Acesso em: out. 2019.

SCHMIDT, I. B.; SAMPAIO, M. B.; FIGUEIREDO, I. B.; TICKTIN, T. Fogo e artesanato de capim-dourado no Jalapão—usos tradicionais e consequências ecológicas. **Biodiversidade brasileira**, Brasília, n. 2, p. 67-85, 2011. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/article/view/116/99>. Acesso em: out. 2019.

SCHOLES, R. J. Convex relationships in ecosystems containing mixtures of trees and grass. **Environmental and resource economics**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 559-574, 2003. <https://doi.org/10.1023/B:EARE.0000007349.67564.b3>

SCRUTON, R. **Filosofia verde**: como pensar seriamente o planeta. São Paulo: É Realizações, 2016.

SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a Tropical Savanna hotspot. **BioScience**, Oxford, v. 52, n. 3, p. 225-234, 2002. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0225:BPACIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0225:BPACIT]2.0.CO;2)

SIMON, M. F.; GREYER, R.; QUEIROZ, L. P. DE; SKEMA, C.; PENNINGTON, R. T.; HUGHES, C. E. Recent assembly of the Cerrado, a Neotropical plant diversity hotspot, by *in situ* evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 48, p. 20359-20364, 2009. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903410106>

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

THE WORLD BANK. Terrestrial protected areas (% of total land area). 2017. Disponível em: https://data.worldbank.org/indicator/ER.LND.PTLD.ZS?end=2017&locations=BR&start=2017&view=bar&year=2016&year_high_desc=true. Acesso em: fev. 2019.

TOCANTINS. **Base de dados geográficos do Tocantins – atualização 2012**. Secretaria da Fazenda e Planejamento. 2012. Disponível em: <http://www.sefaz.to.gov.br/zonaamento/bases-vetoriais/bases-vetoriais/base-de-dados-geograficos-do-tocantins---atualizacao-2012/>. Acessado em: out. 2018.

XANTHOPOULOS, G. Forest fire policy scenarios as a key element affecting the occurrence and characteristics of fire disasters. In: **Proceeding of the 4th International Wildland Fire Conference**. 2007. p. 13-17. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/42569897/Forest_fire_policy_scenarios_as_a_key_el20160211-8561-chaz8l.pdf?1455177739=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DForest_fire_policy_scenarios_as_a_key_el.pdf&Expires=1595164957&Signature=JdwIMhFH04dHsg5s3PiU8p7wi4mb4KB0ywUKWu5-J0YBi1eweMZWLzauRDWDy9-tA7CT85TdHKin2ICBPc9BTJSJkHLQSZnDh~q2Hd8h4MHx-1j40gkiKk1DH6qEbqPUJ0IF7qHyrbUTpdpQ029T77Ea8PhDinHBEv0rMGEocpX2O2EJMdnbQQFJFT6HI1oCx4vJU-KdoujqgodRqByKv~A3T~Zwln~9h-ZrG592zSNkE4lnzkYjnTcS9WSsRyYgRQ0dmBMgM5b5RpnIKH5MO0qfHGmma0tTPO19FnL1PbvRiNc1i7jGyzg5uWh13yE3T6wUqskQGo~8L5To-kheUg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: out. 2018.

CAPÍTULO 2

2. TAXAS DE *TOPKILL* CAUSADAS PELO FOGO EM VEGETAÇÃO DE CERRADO NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS

RESUMO

A severidade do fogo pode ser compreendida como o nível de alteração causada por um incêndio em um local. Considerando a importância do fogo no bioma Cerrado, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a severidade do fogo, expressa por meio do consumo da parte aérea (*topkill*) da vegetação lenhosa do estrato de regeneração do Cerrado. A pesquisa foi realizada na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, região do Jalapão, Brasil, em áreas com dois, três e quatro anos sem ocorrência de incêndios florestais, identificadas por meio de imagens de satélite, nas quais foram realizadas queimas controladas nos meses de maio, junho, agosto e setembro de 2017. Antes da queima, foram contabilizados os indivíduos lenhosos do estrato de regeneração ($DAB < 1$ cm) e após a queima foram contabilizados os que ainda possuíam alguma parte lenhosa acima do solo. A severidade do fogo foi determinada pela variação do número total de indivíduos antes e após a passagem do fogo. Nas queimas conduzidas nos meses mais secos do ano, agosto e setembro, a taxa de *topkill* foi maior (51,8 e 52,0%, respectivamente) do que nas queimas do início da estação seca, maio e junho (35,6 e 42,7%, respectivamente). Não houve diferença significativa das taxas de *topkill* entre os tempos sem queima. Nos desdobramentos internos da ANOVA de tempo sem queima versus mês de queima, foi constatado que nas áreas de quatro anos sem queima, independente do mês em que foi realizada a queima controlada, os valores de *topkill* não diferiram estatisticamente (45 e 56%). As áreas com três anos apresentaram maiores valores de *topkill* no mês de setembro (66%); e as áreas de dois anos, apresentaram as maiores taxas em agosto (62,8%). As queimas conduzidas nos meses de maio e junho tiveram maiores taxas de *topkill* nas áreas de quatro anos sem queima (45 e 56%, respectivamente), nas queimas de setembro, as maiores taxas foram nas áreas de três e quatro anos (66,0 e 52,3%, respectivamente) e apenas o mês de agosto apresentou maior taxa de *topkill* nas áreas de dois anos sem queimar.

Palavras-chave: severidade do fogo, intensidade do fogo, incêndios florestais.

2.1. INTRODUÇÃO

As savanas estão entre os principais biomas terrestres, perfazendo uma área de aproximadamente 33 milhões de km² e são habitadas por um quinto da população mundial (RAMANKUTTY; FOLEY, 1999; HOFFMANN et al., 2002).

Apenas o Cerrado brasileiro corresponde ao segundo maior bioma da América do Sul, ocupando uma área de aproximadamente 2 milhões de km², equivalente a cerca de 22% do território nacional (MMA, 2018).

Nos ambientes savânicos, o fogo é um fenômeno comum e determinante na distribuição dos biomas (BOND et al., 2005), além de um importante agente causal de variações evolutivas na flora (BOND; MIDGLEY 1995, SCHWILK; ACKERLY, 2001).

Em um incêndio florestal, a vegetação presente no ambiente é o combustível que alimenta a reação de combustão e junto com o oxigênio e o calor compõem os três elementos básicos necessários para existência de fogo (SOARES et al., 2017).

Nos incêndios florestais, a quantidade de combustível disponível para a queima é proporcional à intensidade do fogo, termo atribuído à quantidade de energia térmica emitida por metro linear de frente de fogo (SOARES et al., 2017). A capacidade que uma determinada queima ou incêndio florestal tem em converter os combustíveis florestais (biomassa) em cinzas é denominada de severidade do fogo e reflete amplamente a intensidade do fogo (KEELEY, 2009; KNOX; CLARKE, 2016).

Os principais fatores que determinam a intensidade e a severidade de um incêndio florestal estão associados à topografia do terreno, características do combustível e condições meteorológicas no momento da queima (CLARKE et al., 2014; LECINA-DIAZ et al., 2014; HOLSINGER et al., 2016; SOARES et al., 2017).

No Cerrado, a estiagem comumente intensifica-se no início de maio e estende-se até início de outubro. O acúmulo de material combustível está associado ao tempo que a área permanece sem queimar. Em geral, nos ambientes savânicos são de aproximadamente dois a três anos (COUTINHO, 1990; RUSSELL-SMITH et al., 1997).

A estiagem e o acúmulo de combustível são determinantes no nível de severidade do fogo e a mensuração da severidade é importante, pois pode refletir a variação da dinâmica da população de plantas e a mortalidade da vegetação (KEELEY, 2009; KNOX; CLARKE, 2016).

A morte da parte aérea do vegetal (*topkill*) tem sido utilizada como medida para avaliar o nível de severidade dos incêndios florestais (HOFFMANN; SOLBRIG, 2003; NICHOLSON et al., 2017). Neste estudo foi aplicado este método para mensuração de *topkill* do estrato de regeneração do Cerrado após a passagem do fogo. Estudos que mensurem a capacidade destrutiva do fogo fomentam o desenvolvimento de novas pesquisas aplicadas e ajudam na tomada de decisão em ações de manejo florestal com uso do fogo.

Nesta pesquisa foi considerado que o vegetal apresentou *topkill* quando a parte aérea imediatamente acima do solo foi totalmente consumida pelo fogo.

2.1.1. Hipótese

O fogo na EESGT, nos meses de maior estiagem e em terrenos com mais tempo sem queimar, consome com mais eficiência a biomassa aérea da vegetação do estrato de regeneração.

2.1.2. Objetivo geral

Determinar a severidade do fogo sobre os indivíduos lenhosos do estrato de regeneração do Cerrado Campestre da EESGT, utilizando o método para mensuração de *topkill*.

2.1.3. Objetivos específicos

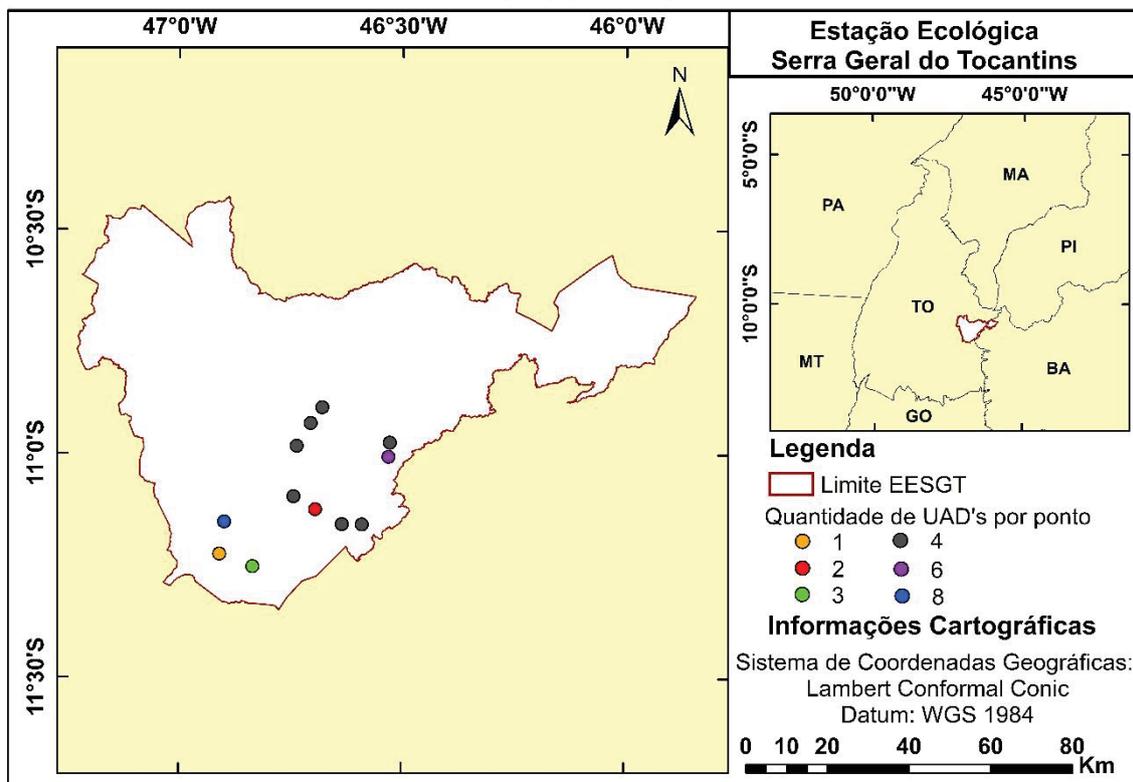
Determinar a influência da época (mês) de queima no potencial dano do fogo para consumir a biomassa aérea das plantas lenhosas do estrato de regeneração na EESGT.

Determinar a influência do tempo sem queima do terreno no potencial dano do fogo para consumir a biomassa aérea das plantas lenhosas do estrato de regeneração na EESGT.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido nas regiões central, leste, e sul da EESGT (FIGURA 10). A escolha dessa parte da unidade de conservação se deu em razão da representatividade da maior parte da cobertura vegetal, clima e relevo, bem como da disponibilidade de acessos, facilitação da logística dos trabalhos e histórico de queima do terreno.

FIGURA 10. DISTRIBUIÇÃO DAS PARCELAS NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS



FONTE: o autor (2020)

As parcelas para realização das queimas controladas, a partir daqui intituladas como UAD (Unidade de Amostragem de Dados), foram delimitadas na forma de quadrados com arestas de 30 m (900 m²).

Os tratamentos deste estudo tiveram como base os quatro principais meses da estação seca (maio, junho, agosto e setembro) e o tempo que o terreno permaneceu sem presença de fogo: dois, três e quatro anos.

Não foram consideradas as áreas com um ano sem queima devido não apresentarem carga de combustível suficiente para promover a propagação do

fogo. Na região da EESGT, onde há predominância de áreas campestres com abundância de material combustível fino (herbáceas), é necessário pelo menos $3,6 \text{ t.ha}^{-1}$ para haver propagação, contudo essa carga de material combustível deve contar com pelo menos $0,5 \text{ t.ha}^{-1}$ de material herbáceo morto para facilitar a propagação do fogo (SANTOS, 2019; GANASSOLI, 2019).

Nos tratamentos não foram consideradas áreas com mais de quatro anos sem queima em razão da pouca ou inexistência delas, em decorrência das ações de manejo de combustível na EESGT.

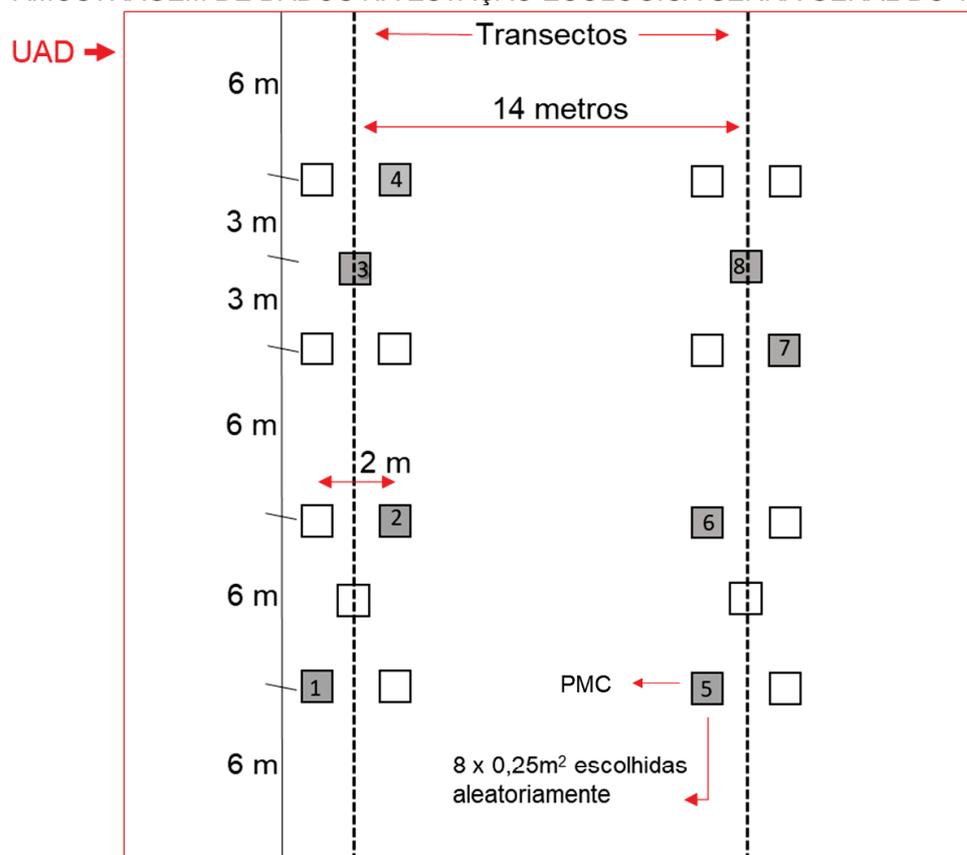
Dessa forma, o delineamento utilizado para o experimento foi constituído de quatro repetições (UADs), três períodos sem queima (dois, três e quatro anos) e quatro épocas de queima (maio, junho, agosto e setembro), totalizando 48 UADs.

2.2.1. Caracterização do material combustível

A fim de caracterizar o material combustível nas áreas com dois, três e quatro anos sem queimar, foi realizada uma amostragem nas 48 Unidades de Amostragem de Dados (UADs) estudadas.

Em cada UAD foram estabelecidos dois transectos de 30 metros, onde foram distribuídas por meio de sorteio, 8 subamostras denominadas de parcelas de material combustível (PMCs) com $0,25 \text{ m}^2$ de área. Os transectos foram separados 14 metros um do outro e as marcações das PMCs em cada transecto foram feitas a cada 6 metros, de modo que, as alocações das parcelas deveriam ter uma distância de dois metros uma da outra (FIGURA 11). Assim, com 8 PMCs em cada UAD, foram coletadas ao final de todo o trabalho 384 parcelas de material combustível.

FIGURA 11. AMOSTRAGEM DE MATERIAL COMBUSTÍVEL NAS UNIDADES DE AMOSTRAGEM DE DADOS NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS



FONTE: o autor (2020)

A amostragem foi do tipo destrutiva, com a remoção de todo o material combustível presente na PMC. Foi considerado como material combustível superficial toda biomassa acima da superfície do solo com até 1,8 m (SOARES et al., 2017).

O material combustível coletado nas PMCs foi quantificado (carga total e total herbácea) e classificado quanto a seu estado fisiológico (vivo e morto). Foi considerado como material vivo, as partes da vegetação com visível presença de água e tons de verde característicos de tecido vegetal vivo. Foi identificado como material morto, todo tipo de material em decomposição acamado sobre a superfície do solo, galhos secos e quaisquer partes da planta em estado de senescência ou similar. Os materiais finos, com diâmetro menor que 0,7 cm, maleáveis em decorrência da pouca presença de lignina, foram considerados como herbáceos.

Em cada PMC coletada foi registrada a massa do material combustível e armazenada uma subamostra para análise. No laboratório, as subamostras

foram secadas em estufa à temperatura média de 70 °C até atingir massa constante, sendo seu resultado de carga convertida para kg.m⁻².

2.2.2. Condições meteorológicas no período do experimento

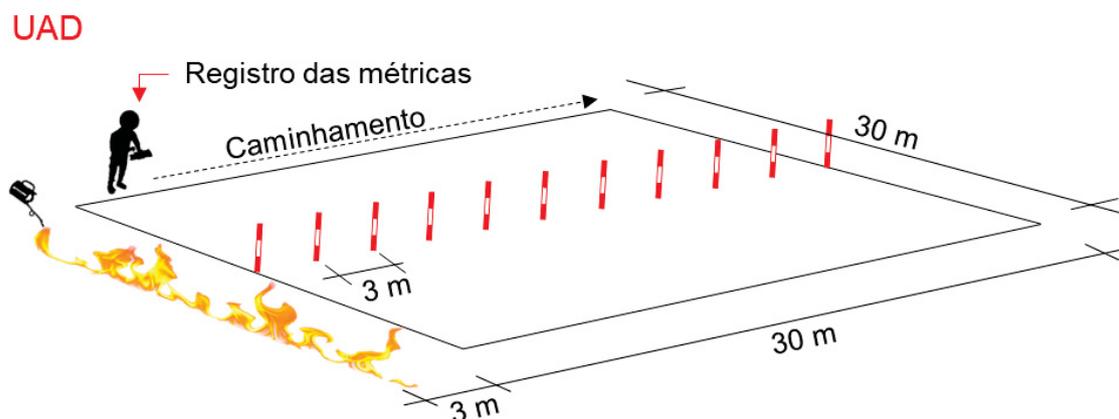
Para a caracterização da época de queima, o segundo fator considerado no delineamento, foi realizado um levantamento de dados meteorológicos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com dados referentes aos meses de maio, junho, agosto e setembro de 2017, da estação mais próxima (aproximadamente 30 km) da área experimental (estação Almas-A053). A partir desses dados, foram calculadas as médias de temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação incidente e precipitação pluviométrica.

2.2.3. Comportamento do fogo

O método para mensuração do comportamento do fogo, neste estudo expresso pela velocidade de propagação do fogo e o comprimento de chama, foi determinado de acordo com bibliografia especializada (e.g. KÜÇÜK et al., 2008; BEUTLING, 2009; SEGER et al., 2013).

Em cada UAD foram distribuídas balizas de 2,5 metros de altura (ripas de madeira sustentadas por hastes de ferro), com marcações métricas coloridas para favorecer a visada de altura das chamas, fixadas equidistantes três metros umas das outras e dispostas perpendicularmente à linha de fogo (FIGURA 12).

FIGURA 12. AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO FOGO NA UNIDADE DE AMOSTRAGEM DE DADOS



FONTE: o autor (2020)

Para todas as queimas realizadas, foi dada a ignição do fogo com um pinga fogo (equipamento especializado abastecido com uma mistura de gasolina e diesel na proporção 1 para 4 litros, respectivamente) e com o objetivo de reduzir a influência da ação do combustível fóssil, a ignição da linha de fogo era feita sempre com um espaço de pelo menos três metros da primeira baliza (FIGURA 12).

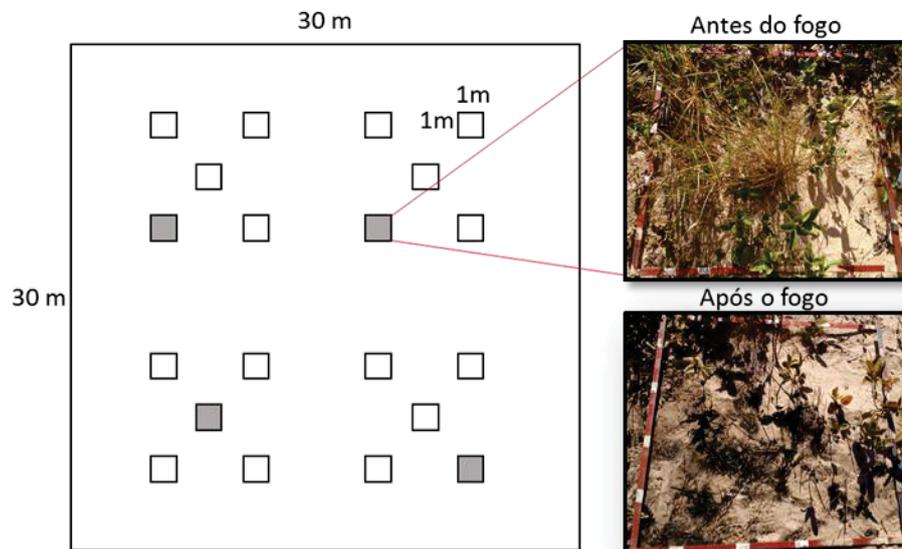
A fim de padronizar o estudo, todas as queimas realizadas foram iniciadas com fogo a favor do vento. O comprimento de chama e o tempo gasto para que a linha de fogo progredisse de uma baliza a outra foram registrados por um observador munido de cronômetro e formulário de campo, situado na lateral da UAD, que realizava a leitura das informações no momento que a linha de fogo tocava a baliza.

A mensuração da intensidade do fogo foi realizada aplicando-se a equação: $I = 62,08h_c^{2,17}$, onde I é a intensidade do fogo em $\text{kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ e h_c é o comprimento das chamas em metros (SOARES et al., 2017).

2.2.4. Mensuração da taxa de *topkill*

Para mensuração da taxa de *topkill* foram alocadas quatro parcelas de 1 m^2 em cada UAD (FIGURA 13), totalizando 192 parcelas em todo o estudo. Os critérios aplicados para seleção dos locais de instalação destas parcelas foram os mesmos empregados no estabelecimento das PMCs.

FIGURA 13. DISTRIBUIÇÃO DAS PARCELAS DE 1 m² DENTRO DA UAD PARA A CONTABILIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS



FONTE: o autor (2020)

Nestas 192 parcelas de 1 m² foi contabilizado o número de indivíduos lenhosos presentes antes da queima e com diâmetro menor que 1 cm. O local da parcela foi demarcado com hastes de ferro e um dia após a passagem do fogo foram contabilizados os indivíduos remanescentes cujo fogo não consumira suas estruturas acima do solo.

A frequência de indivíduos cuja parte aérea foi consumida pelo fogo foi considerado como a taxa de *topkill*, que foi calculada de acordo com a equação a seguir:

$$TK = \frac{(IAF - IDF)}{IAF} 100$$

onde:

TK – Taxa de *topkill* (%);

IAF – número de indivíduos antes do fogo;

IDF – número de indivíduos depois do fogo.

2.2.5. Estatística

Para os dados de carga de material combustível, velocidade de propagação do fogo e comprimento de chama, foram determinadas as médias com seu respectivo erro padrão.

Para analisar estatisticamente a taxa de *topkill*, foi aplicada a análise de variância fatorial (anos sem queima vs. época da queima controlada) pelo teste de comparação de médias Scott-Knott (1974) a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

A correlação entre as variáveis analisadas foi testada por meio da análise de correlação linear de Pearson.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. Material combustível

A mensuração das cargas de material combustível evidenciou que, ainda que pequeno, existe um aumento progressivo da carga de biomassa total e de herbáceas com o passar do tempo. Além disso, a biomassa total morta e herbácea morta também aumentam com o tempo sem queima (TABELA 3).

TABELA 3 - MATERIAL COMBUSTÍVEL EM FUNÇÃO DO TEMPO SEM QUEIMA

Características da biomassa	Tempo sem queima (anos)		
	2	3	4
Biomassa (kg.m ²)			
Total	0,55 (0,051)	0,62 (0,032)	0,64 (0,039)
Viva	0,26 (0,025)	0,25 (0,019)	0,27 (0,031)
Morta	0,29 (0,038)	0,37 (0,024)	0,37 (0,020)
Herbácea total	0,24 (0,024)	0,24 (0,014)	0,27 (0,019)
Herbácea viva	0,10 (0,010)	0,08 (0,006)	0,09 (0,010)
Herbácea morta	0,14 (0,019)	0,16 (0,013)	0,18 (0,012)

FONTE: O autor (2020).

NOTA: Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média

A carga total de combustível verificada na EESGT variou de 0,55 kg.m⁻², em áreas há dois anos sem queimar, até 0,64 kg.m⁻², em áreas há quatro anos sem queimar (TABELA 3). Em áreas de Campo Sujo de Cerrado, Miranda et al. (1996) encontraram valores médios de 0,67 até 0,99 kg.m⁻².

Por se tratar de uma área com predominância de Campo Limpo e Campo Sujo de Cerrado, o material combustível na EESGT é majoritariamente formado por combustíveis finos, menores do que 0,7 cm de diâmetro (OTTMAR et al., 2001). Observou-se na TABELA 3 que, com o passar do tempo sem queimar, o ambiente não apenas acumula combustível, mas tende a acumular material morto, fenômeno que oferece condições para uma queima mais eficiente, portanto, de maior severidade.

De acordo com Soares et al. (2017) a biomassa morta, com diâmetro inferior a 1 cm, responde rapidamente às variações meteorológicas com ganho ou perda de umidade e em períodos secos são consideradas como materiais perigosos por apresentarem menor temperatura de ignição e favorecerem a propagação com queima rápida, muito calor e chamas intensas.

2.3.2. Condições meteorológicas no período do experimento

As médias mensais das variáveis meteorológicas no período de realização da pesquisa mostraram que houve variação entre os meses de execução das queimas controladas com os meses de maio e junho, sendo mais úmidos e com menores temperaturas, e agosto e setembro, mais secos e mais quentes (TABELA 4). No Corredor Ecológico da Região do Jalapão, estas são as condições normais de início e fim da estação seca, respectivamente (MMA, 2013).

TABELA 4 - CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO PERÍODO DA PESQUISA

Mês/2017	T (°C)	UR (%)	Vento (m.s ⁻¹)	Radiação (kJ.m ⁻²)	Precipitação (mm)
Maio	25,71	69,22	1,25	821,28	0,02
Junho	24,38	59,22	1,42	801,36	0,01
Agosto	26,66	39,76	1,63	888,65	0,00
Setembro	29,48	34,40	2,45	1380,42	0,00

FONTE: INMET - Estação Almas-A053 (2018).

LEGENDA: T – temperatura do ar; UR – umidade relativa do ar.

Apenas a precipitação média mensal não diferiu entre os meses, sendo na verdade mínima e típica para o período na área de estudo. A variabilidade meteorológica e os combustíveis florestais são os principais fatores determinantes do comportamento do fogo e, portanto, são importantes para a compreensão dinâmica da severidade do fogo sob condições distintas (KANE et al., 2015; SOARES, et al., 2017).

2.3.3. Comportamento do fogo

Entre as diferentes etapas de queima, a velocidade de propagação apresentou médias de 0,17 a 0,41 m.s⁻¹ (TABELA 5) que, de acordo com Botelho e Ventura (1990), pode ser classificada como velocidade extrema de propagação do fogo.

TABELA 5 - COMPORTAMENTO DO FOGO AVALIADO

Época	Velocidade de propagação (m.s ⁻¹)	Comprimento de chama (m)
Maio	0,20 (0,047)	2,51 (0,390)
Junho	0,20 (0,031)	2,60 (0,282)
Agosto	0,17 (0,045)	2,26 (0,264)
Setembro	0,41 (0,036)	3,68 (0,211)

FONTE: O autor (2020).

NOTA: Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

As médias de comprimento de chama durante as queimas variaram de 2,26 a 3,68 m.

A partir das médias de comprimento de chama, obtiveram-se os valores de intensidade do fogo que variaram de 364,22 a 1.049,16 kcal.m⁻¹.s⁻¹.

2.3.4. *Topkill*

A ANOVA das médias das taxas de *topkill*, considerando os tratamentos (meses), indicou que os valores dos meses de maio e junho são iguais e inferiores aos de agosto e setembro (TABELA 6). Na comparação das médias entre os blocos (dois, três e quatro anos), não foi observada diferença significativa. Nesse sentido, observa-se que, de modo geral, as taxas de *topkill* parecem responder mais à variável mês de queima do que o tempo sem queima do terreno.

TABELA 6 - TAXA DE TOPKILL DA VEGETAÇÃO (%)

Mês	Tempo sem queima (anos)			Média dos meses
	2	3	4	
Maio	29,5 Ab	32,3 Ab	45,0 Aa	35,6 b
Junho	28,5 Bb	43,5 Ab	56,0 Aa	42,7 b
Agosto	62,8 Aa	43,8 Ab	48,8 Aa	51,8 a
Setembro	37,8 Bb	66,0 Aa	52,3 Aa	52,0 a
Média dos anos	39,6 A	46,4 A	50,5 A	

FONTE: O autor (2020).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha ou minúscula na coluna pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o critério de agrupamento de médias de Scott-Knott (1974), a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

A resposta das taxas de *topkill* à variável mês de queima foi observada, também, na correlação de Pearson. Foi possível observar no QUADRO 1 que existe uma correlação positiva de 0,4 ($p < 0,01$) entre as 4 etapas de queima (1 = maio, 2 = junho, 3 = agosto, 4 = setembro) e as taxas de *topkill*. Portanto, nos

meses de maior estiagem, as taxas de *topkill* tendem a ser maiores. A umidade relativa do ar apresentou correlação de -0,34 ($p < 0,05$), indicando haver uma tendência no aumento das taxas de *topkill* com a redução da umidade ar.

QUADRO 1. CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON DAS TAXAS DE *TOPKILL* COM ALGUMAS VARIÁVEIS MENSURADAS DURANTE A PESQUISA

	ETP	TSQ	C_CH	UR	MC	MC_V	MC_M
<i>TOPKILL</i>	0,39**	0,26	0,44**	-0,32*	0,20	-0,03	0,30*

ETP – etapa de queima de 1 a 4 (1 = maio; 2 = junho; 3 = agosto; e 4 = setembro); TSQ – tempo sem queima (dois, três e quatro anos sem queima); C_CH – comprimento de chama; UR – umidade relativa do ar; MC – material combustível; MC_V – material combustível vivo; MC_M – material combustível morto; * correlação é significativa a 5% de probabilidade; ** correlação é significativa a 1% de probabilidade.

Assim como a etapa de queima, o comprimento de chama também apresentou correlação positiva (0,46) e significativa ($p < 0,01$), indicando uma tendência na elevação das taxas de *topkill* com o aumento do comprimento de chama.

Nos desdobramentos internos da ANOVA (mês vs tempo sem queima), verificou-se que as taxas de *topkill*, nas áreas com quatro anos sem queimar, não apresentaram diferença significativa entre os meses de queima (TABELA 6). Como pode ser observado no QUADRO 1, existe uma correlação significativa das etapas (0,39 com $p < 0,01$) e da umidade ar (-0,34 com $p < 0,05$) com as taxas de *topkill*, contudo, são valores baixos indicando que existem outros fatores, além dos meteorológicos, que não foram identificados e que são determinantes.

A homogeneidade das taxas de *topkill* nas áreas de quatro anos sem queima pode estar associada às características do combustível nestas áreas em comparação com as de três e dois anos (TABELA 3). No QUADRO 1 é possível verificar que o material combustível morto apresentou correlação direta de 0,30 ($p < 0,05$) com as taxas de *topkill* (QUADRO 1). Do triângulo do fogo (combustível, calor e oxigênio) os combustíveis são, provavelmente, o componente mais complexo, tendo em vista que variam em quantidade, geometria, densidade, continuidade e características químicas (PARSONS et al., 2016; SOARES et al., 2017).

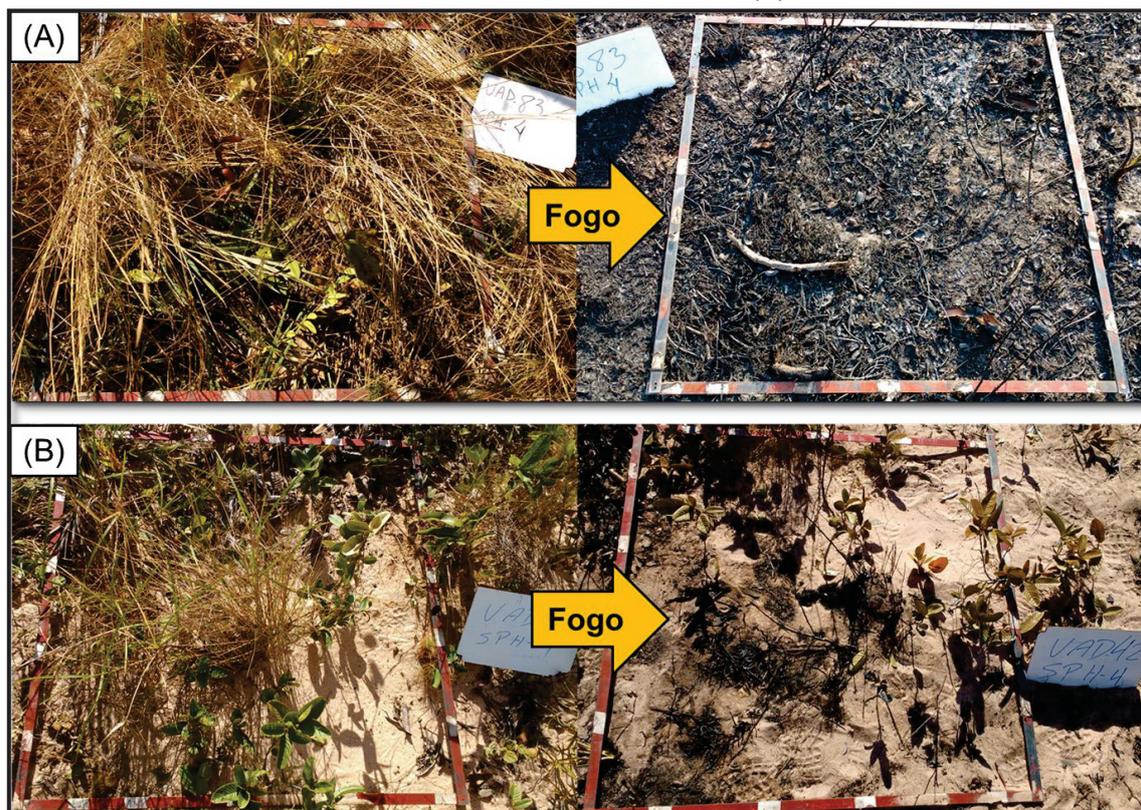
Na área com três anos sem queimar, o mês de queima foi determinante no nível de severidade do fogo. A taxa de *topkill* nestas áreas foi maior em

setembro (66%), sendo este valor está associado às condições de seca extrema nesse período, com maior temperatura do ar (29,48°C), menor umidade relativa do ar (34,40%) e maior incidência de radiação solar (1380,42kJ/m²) (TABELA 4), fatores que contribuíram para a maior velocidade de propagação do fogo (0,41 m.s⁻¹) e maior comprimento de chama (3,68 m) (TABELA 5). Na matriz de correlação de Pearson no QUADRO 1, foi possível observar que a etapa (0,39; $p < 0,01$), a umidade relativa do ar (-0,32; $p < 0,05$) e o comprimento de chama (0,44; $p < 0,01$) tiveram correlação significativa com as taxas de *topkill*. Em época de queima semelhante, contudo, em áreas com sete anos sem queimar, Hoffmann e Solbrig (2003) verificaram taxas de *topkill* de até 100%, evidenciando que o acúmulo de combustível e a época de queima são fatores determinantes no nível de severidade do fogo.

Em áreas com dois anos sem queima, a taxa de *topkill* foi maior no mês de agosto (62,8%), sendo que os valores para os meses de maio, junho e setembro não diferiram entre si ($p < 0,05$).

Essa alta taxa de *topkill* em agosto nas áreas de dois anos pode estar associada a dois fatores. O primeiro é uma possível disparidade do combustível, pois nas avaliações em campo foi perceptível a diferença nas cargas, arranjo e continuidade dos combustíveis da área avaliada em agosto (FIGURA 14A) e as demais seguiram um padrão característico da FIGURA 14B. O segundo fator é o comportamento do fogo verificado em agosto, que apresentou a menor velocidade de propagação (TABELA 5), de modo que um maior tempo de residência do fogo nesse local pode ter consumido com maior eficiência os combustíveis lenhosos, aumentando a taxa de *topkill*.

FIGURA 14. PADRÃO DE ÁREA QUEIMADA EM AGOSTO COM COMBUSTÍVEL DE DOIS ANOS (A) E PADRÃO DE ÁREAS QUEIMADAS EM MAIO, JUNHO E SETEMBRO COM COMBUSTÍVEL DE DOIS ANOS (B)



FONTE: o autor (2020)

De acordo com Cochrane et al. (1999), o tempo de residência contribui para o aumento dos danos à vegetação. Nas áreas de dois anos sem queima, a maior parte dos arbustos possui caules tenros e finos, grande parte rebrotados a partir da última queima, facilitando o consumo pelo fogo em condições de maior tempo de residência. Plantas com caules de maior diâmetro e ritidoma mais espesso tendem a ser mais resilientes ao fogo (HOFFMANN; SOLBRIG, 2003; MOREIRA et al., 2008; HOFFMANN et al., 2009).

Em relação às causas da variação nas características do combustível em áreas de dois anos podem estar associadas à nutrição do solo, relevo e histórico de queima, bem como de uso do solo, que não foram alvo de investigação deste estudo. Alguns destes fatores produziram áreas de menor cobertura do solo pela vegetação (FIGURA 14B) e áreas de maior cobertura (FIGURA 14A), onde houve a predominância de vegetação mais inflamável (capim).

2.4. CONCLUSÃO

Nas queimas conduzidas nos meses mais secos do ano (agosto e setembro), a severidade do fogo, expressa pela taxa de *topkill* das lenhosas do estrato de regeneração, foi maior do que nas queimas do início da estação seca (maio e junho).

De modo geral, as taxas de *topkill* das lenhosas do estrato de regeneração não diferiram entre os tempos sem queima, contudo, características pontuais do comportamento do fogo e dos combustíveis podem ter influenciado a severidade do fogo.

REFERÊNCIAS

- BEUTLING, A. **Modelagem do comportamento do fogo com base em experimentos laboratoriais e de campo**. 141 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2009. Disponível em: <<https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/22568>>. Acesso em: out. 2018.
- BOND, W. J.; MIDGLEY, J. J. Kill thy neighbour: an individualistic argument for the evolution of flammability. **Oikos**, Copenhagen, v. 73, n. 1, p. 79-85, 1995. Doi: 10.2307/3545728. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/3545728?casa_token=UN1LgjbldQAAAAA%3Ay5oSLUn_ZZajVfBTafNCVOVnwqvXbYpzGCxMWWduf14MdPvYn1DMtdHufexLQihljG4d6dWeTO0vYS0r6zgPKKUH3a5sUgeBwQ9AEYqAs_Gp6aoD5BXV&seq=1#metadata_info_tab_contents. Acesso em: out. 2018.
- BOND, W. J.; WOODWARD, F. L.; MIDGLEY, G. F. The global distribution of ecosystems in a world without fire. **New phytologist**, [s. l.], v. 165, n. 2, p. 525-538, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01252.x>
- BOTELHO, H. S.; VENTURA, J. Modelos de comportamento do fogo. In: REGO, F. C.; BOTELHO, H. S. (Ed.). **A técnica do fogo controlado**. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro: Vila Real, p. 49-55, 1990.
- CLARKE, P. J.; KNOX, K. J.; BRADSTOCK, R. A.; MUNOZ-ROBLES, C.; KUMAR, L. Vegetation, terrain and fire history shape the impact of extreme weather on fire severity and ecosystem response. **Journal of Vegetation Science**, v. 25, n. 4, p. 1033-1044, 2014. <https://doi.org/10.1111/jvs.12166>
- COCHRANE, M. A.; ALENCAR, A.; SCHULZE, M. D.; SOUZA, C. M.; NEPSTAD, D. C.; LEFEBVRE, P.; DAVIDSON, E. A. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. **Science**, v. 284, n. 5421, p. 1832-1835, 1999. Doi:10.1126/science.284.5421.1832
- COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: GOLDHAMMER, J. G. (Ed.). **Fire in the Tropical Biota**. Springer, Berlin, 1990. pp. 82–105. https://doi.org/10.1007/978-3-642-75395-4_6. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-75395-4.pdf>. Acesso em: out. 2018.
- HOFFMANN, W. A.; ADASME, R.; HARIDASAN, M.; DE CARVALHO, M. T.; GEIGER, E. L.; PEREIRA, M. A. B.; GOTSCH, S. G.; FRANCO, A. C. Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of savanna–forest boundaries under frequent fire in central Brazil. **Ecology**, v. 90, n. 5, p. 1326-1337, 2009. <https://doi.org/10.1890/08-0741.1>
- HOFFMANN, W. A.; SCHROEDER, W.; JACKSON, R. B. Positive feedbacks of fire, climate, and vegetation and the conversion of tropical

savanna. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 22, p. 1- 4, 2002.
<https://doi.org/10.1029/2002GL015424>

HOFFMANN, W. A.; SOLBRIG, O. T. The role of topkill in the differential response of savanna woody species to fire. **Forest ecology and management**, v. 180, n. 1-3, p. 273-286, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00566-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00566-2)

HOLSINGER, L.; PARKS, S. A.; MILLER, C. Weather, fuels, and topography impede wildland fire spread in western US landscapes. **Forest Ecology and Management**, v. 380, p. 59-69, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.08.035>

KANE, V. R.; CANSLER, C. A.; POVAK, N. A.; KANE, J. T.; MCGAUGHEY, R. J.; LUTZ, J. A.; CHURCHILL, D. J.; NORTH, M. P. Mixed severity fire effects within the Rim fire: relative importance of local climate, fire weather, topography, and forest structure. **Forest Ecology and Management**, v. 358, p. 62-79, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.001>

KEELEY, J. E. Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. **International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, v. 18, n. 1, p. 116-126, 2009. <https://doi.org/10.1071/WF07049>

KNOX, K. J.; CLARKE, P. J. Measuring fire severity: Are canopy, understorey and below-ground measures coupled in sclerophyll forest fires?. **Plant ecology**, v. 217, n. 6, p. 607-615, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11258-016-0609-6>

KÜÇÜK, Ö.; BİLGİLİ, E.; SAĞLAM, B.; BAŞKAYA, S.; DURMAZ, B. D. Some parameters affecting fire behavior in Anatolian black pine slash. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 32, n. 2, p. 121-129, 2008. Disponível em: <http://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/issues/tar-08-32-2/tar-32-2-5-0709-15.pdf>. Acesso em: out. 2018.

LECINA-DIAZ, J.; ALVAREZ, A.; RETANA, J. Extreme fire severity patterns in topographic, convective and wind-driven historical wildfires of Mediterranean pine forests. **PLoS one**, v. 9, n. 1, p. e85127, 2014.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085127>

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. (2018a). **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa (BDMEP)**. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em: 27 de março de 2018.

MIRANDA, M. S.; ROCHA E SILVA, E. P.; MIRANDA, A. C. Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo. In: Impactos de queimadas em áreas de Cerrado e Restinga (Miranda, H. S.; Saito, C. H.; Dias, B. F. S, Eds). **Anais...** Brasília, p. 1 – 10, 1996.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Atlas do corredor ecológico da região do Jalapão**. v. 2. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, 2013. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/projetojalapao/images/stories/atlas/AtlasJica_2013_COMPLETO.pdf. Acesso em: out. 2018.

_____. **O Bioma Cerrado**, 2018. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>, acesso em: fev. 2019.

MOREIRA, F.; CATRY, F.; DUARTE, I.; ACÁCIO, V.; SILVA, J. S. (2008). A conceptual model of sprouting responses in relation to fire damage: an example with cork oak (*Quercus suber* L.) trees in Southern Portugal. In: **Forest Ecology**. Springer, Dordrecht, 2008. p. 77-85. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2795-5_7

NICHOLSON, Á.; PRIOR, L. D.; PERRY, G. L.; BOWMAN, D. M. High post-fire mortality of resprouting woody plants in Tasmanian Mediterranean-type vegetation. **International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, v. 26, n. 6, p. 532-537, 2017. <https://doi.org/10.1071/WF16211>

OTTMAR, R. D.; VIHMANEK, R. E.; MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; ANDRADE, S. M. A. **Stereo-photo series for quantifying cerrado fuels in Central Brazil–Volume I**. USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station, General Technical Report PNW-GTR-519. (Portland, OR), 2001.

PARSONS, R.; JOLLY, W. M.; HOFFMAN, C.; OTTMAR, R. The role of fuels in extreme fire behavior. In: WERTH, P. A.; POTTER, B. E.; ALEXANDER, M. E.; CLEMENTS, C. B.; CRUZ, M. G.; FINNEY, M. A.; FORTHOFFER, J. M.; GOODRICK, S. L.; HOFFMAN, C.; JOLLY, W. M.; MCALLISTER, S. S.; OTTMAR, R. D.; PARSONS, R. A. **Synthesis of knowledge of extreme fire behavior**. Portland, (OR): Pacific Northwest Research Station, 2016. p. 55-82.

RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J. A. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. **Global biogeochemical cycles**, v. 13, n. 4, p. 997-1027, 1999. <https://doi.org/10.1029/1999GB900046>

RUSSELL-SMITH, J.; RYAN, P. G.; DURIEU, R. A LANDSAT MSS-Derived fire history of Kakadu National Park, monsoonal northern australial, 1980-94: seasonal extent, frequency and patchiness. **Journal of Applied Ecology**, v. 34, n. 3, p. 748-766, 1997. Doi:10.2307/2404920

SCHWILK, D. W.; ACKERLY, D. D. Flammability and serotiny as strategies: correlated evolution in pines. **Oikos**, v. 94, n. 2, p. 326-336, 2001. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2001.940213.x>

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, p. 507-512, 1974.

SEGER, C. D.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F.; SOARES, R. V. Comportamento do fogo em queimas controladas de vegetação de Estepe no município de

Palmeira, Paraná, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v.43, n.4, p.557-568, 2013.
<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v43i4.31385>

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

CAPÍTULO 3

3. SEVERIDADE DO FOGO EXPRESSA PELO DIÂMETRO DOS RAMOS CARBONIZADOS E AVALIAÇÃO VISUAL NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS

RESUMO

A queima prescrita é uma das ações mais importantes dentro de uma extensa rede de planejamento de fatores ecológicos, culturais, socioeconômicos e técnicos que são contemplados no manejo integrado e adaptativo do fogo. Em uma queima prescrita deve-se buscar sempre a redução dos níveis de severidade do fogo, a fim de conservar ou restaurar o equilíbrio ecológico da área. Neste estudo, o objetivo foi determinar a influência do tempo sem queima e da época em que são realizadas as queimas nos níveis de severidade do fogo na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. Foram realizadas queimas controladas nos meses de maio, junho, agosto e setembro de 2017 e em áreas com dois, três e quatro anos sem queima. Para avaliação da severidade do fogo foram aplicados dois métodos: o método do *Minimum Diameter of Burned Branches (MDBB)*, que consistiu na tomada das medidas do diâmetro dos ramos carbonizados de arbustos de *Rourea induta* distribuídos nas parcelas, a fim de avaliar a capacidade do fogo incidente em consumir o combustível lenhoso dos ramos dos arbustos; e a avaliação visual do nível de consumo dos combustíveis na superfície do solo. De acordo com os dois métodos empregados, os níveis de severidade do fogo foram maiores nas queimas realizadas no mês de setembro e nas áreas que não haviam sido queimadas há três e quatro anos. Os resultados permitiram concluir que as características do combustível a partir do terceiro ano sem queima, associada à secagem intensa do material combustível após um longo período de estiagem (setembro), submetido a baixos níveis de umidade relativa do ar, fez com que o fogo que incidiu no ambiente aumentasse significativamente a sua capacidade de consumo da biomassa vegetal.

Palavras-chave: intensidade do fogo, queima prescrita, Cerrado.

3.1. INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais representam um distúrbio que está presente na maior parte dos ambientes terrestres (VAN DER WERF et al., 2010). A frequência de incêndios florestais afeta a composição, estrutura e função dos ecossistemas em diversas savanas no mundo, como na Oceania (KNOX; CLARKE, 2016), África (CASE; STAVER, 2017) e na América do Sul (PIVELLO, 2011).

No Brasil, apenas no estado do Tocantins, foi queimada uma área de 4.788.136,84 hectares no ano de 2016, o que corresponde a 17,2% do território estadual (TOCANTINS, 2017).

A intensidade e a severidade da queima são duas das variáveis mais utilizadas para descrever as alterações causadas pelo fogo após um incêndio florestal (MORGAN et al., 2014; DAVIES et al., 2016; LYDERSEN et al., 2017). Dessa forma, diversas pesquisas têm buscado formas de mensurar a intensidade e a severidade após queimas controladas ou incêndios florestais (e.g. RYAN; NOSTE; 1985; MORENO; OECHEL, 1989; MORENO et al., 2012).

Durante um incêndio florestal, a combustão libera pulsos de energia de forma variada, e a intensidade da linha de fogo e a taxa de propagação mudam devido às variações na quantidade e qualidade do combustível, vento, topografia e condições meteorológicas (ROTHERMEL, 1972; SOARES et al., 2017).

A intensidade do fogo representa a energia liberada durante várias fases de uma queima. Métricas diferentes, incluindo intensidade de reação, intensidade da linha de fogo, temperatura, tempo de residência, energia radiante e outras, são úteis para diferentes propósitos, contudo necessitam de mensuração no local e no instante da queima (KEELEY, 2009).

À medida que a intensidade do fogo se eleva em um incêndio, a matéria orgânica disponível para queima tende a ser convertida em cinzas com maior eficiência (BATISTA et al., 2013) e a magnitude dessa conversão representa o nível de severidade da queima.

Para Keeley (2009), a severidade da queima é o consumo de matéria orgânica acima e abaixo do solo, às vezes subdividido em severidade da queima na vegetação e severidade da queima no solo.

As variações de intensidade do fogo resultam em reações em cadeia que afetam o solo e a biota do ambiente (OLIVEIRA-FILHO et al., 2018). Assim, conhecer a intensidade e a severidade do fogo nos ambientes propensos a incêndios possibilita atingir objetivos relativos à conservação da biodiversidade (HAMMILL; BRADSTOCK, 2006).

Moreno e Oechel (1989) propuseram o método do diâmetro mínimo dos ramos carbonizados (DMRC) para mensurar a severidade do fogo como uma alternativa à mensuração direta da intensidade do fogo. Para isso, foi conduzido um experimento em uma área com vasta distribuição da espécie arbustiva *A. fasciculatum*, que constatou que o valor do DMRC é diretamente proporcional à intensidade do fogo incidente sobre a planta.

Rourea induta é uma espécie indicada para estimativa da severidade do fogo por meio do método do DMRC em queimas na região do Jalapão, devido sua elevada abundância na região e estrutura física dos ramos, que favorece o consumo pelo fogo. Ela é uma espécie arbustiva de até quatro metros de altura comumente encontrada no Cerrado, sobretudo em fisionomias de Campo Sujo (LENZA et al., 2008). São indivíduos de copa geralmente estreita e assimétrica, com tronco tortuoso, esgalhamento ascendente, ritidoma espesso; râmulos roliços, pilosos quando jovens, glabros quando adultos, com ou sem lenticelas. Folhas alternas, imparipinadas, com 3-7 folíolos; raque roliça a levemente achatada, vilosa a glabrescente, de 4-7 cm de comprimento (ABC, 2020).

Metodologias qualitativas de avaliação da paisagem também têm sido empregadas para mensuração da severidade da queima em áreas campestres com predomínio de gramíneas, como no Cerrado Campo Sujo. Estes métodos têm se mostrado eficientes e vêm sendo utilizados por alguns pesquisadores (e.g. SÁNCHEZ et al., 2017; BARKER; PRICE, 2018). A metodologia consiste em uma análise qualitativa que caracteriza a área de estudo em três níveis de severidade (baixa, média e alta) considerando o consumo da biomassa após a queima (RYAN; NOSTE, 1985).

3.1.1. Hipóteses

O tempo sem queima do terreno e a época de realização da queima determinam os níveis de severidade do fogo na EESGT.

Os métodos do DMRC e o de avaliação visual da paisagem são capazes de diferenciar os níveis de severidade do fogo em terrenos com diferentes tempos sem queima e com queimas realizadas em épocas distintas do ano.

3.1.2. Objetivo geral

Determinar a influência do tempo sem queima do terreno e da época em que são realizadas as queimas nos níveis de severidade do fogo no Cerrado na EESGT.

3.1.3. Objetivo específico

Aplicar os métodos de DMRC e avaliação visual da paisagem para determinar níveis de severidade do fogo ocasionados pelas diferenças de características do material combustível (tempo sem queima do terreno) e época em que foi realizada a queimada (maio, junho, agosto e setembro).

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o estabelecimento do experimento, foram alocadas parcelas em áreas com dois, três e quatro anos sem ocorrência de queima, identificadas por meio de imagens de satélite, onde foram realizadas queimas controladas nos meses de maio, junho, agosto e setembro de 2017 na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins.

3.2.1. Delineamento experimental

O delineamento foi composto por blocos casualizados com fatores qualitativos, compostos por quatro blocos (parcelas de 30 x 30 m), no qual se avaliou o tempo sem queima do terreno (áreas com dois, três e quatro anos sem queima) e épocas de queima (maio, junho, agosto e setembro). Desta forma foram quatro parcelas, três tempos sem queima e quatro meses de queima (4 x 3 x 4), perfazendo um total de 48 Unidades de Amostragem de Dados (UADs).

3.2.2. Material combustível antes da queima, comportamento do fogo, e condições meteorológicas no período do experimento

O método empregado para a quantificação de material combustível, mensuração do comportamento do fogo durante a queima e caracterização das condições meteorológicas no período de realização do experimento são os mesmos descritos na metodologia do capítulo dois desta tese.

3.2.3. Diâmetro dos ramos carbonizados

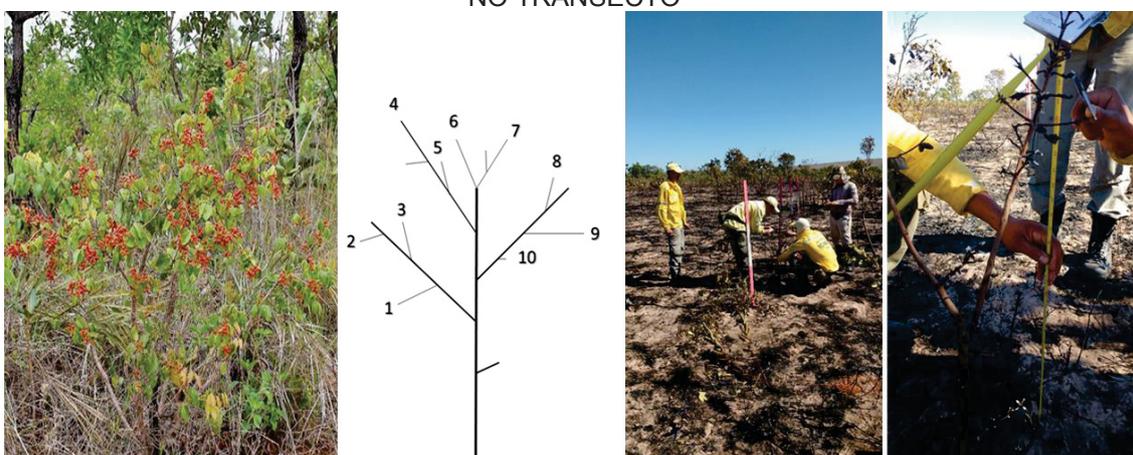
A capacidade do fogo em converter a biomassa vegetal em cinzas foi mensurada por meio da medida do consumo da parte lenhosa de *Rourea induta*, com o registro do menor valor de diâmetro localizado na extremidade dos ramos carbonizados (MORENO; OECHTEL, 1989; MORENO et al., 2012).

O método levou em consideração a arquitetura da copa ortotrópica dos vegetais, que naturalmente possui um decréscimo de diâmetro do lenho à medida que os galhos se afastam do tronco principal. Assim, os galhos mais

finos tendem a ser consumidos durante a queima e os diâmetros dos remanescentes apresentam uma relação direta com a intensidade do fogo e severidade do fogo.

Essa medida foi realizada ao final de cada queima controlada, em um transecto de 30 m (balizas utilizadas na mensuração do comportamento do fogo) e a cada três metros, com a amostragem de um vegetal e nele tomadas 10 medidas aleatórias de Diâmetro Mínimo dos Ramos Carbonizados (DMRC) (FIGURA 15).

FIGURA 15. MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DOS RAMOS CARBONIZADOS DE *Rourea linduta* NO TRANSECTO



FONTE: o autor (2020)

A escolha de *Rourea linduta* como indicador de intensidade do fogo foi feita em razão de sua anatomia, ideal para a avaliação, com copa ortotrópica e que naturalmente possui um decréscimo de diâmetro do lenho à medida que os galhos se afastam do tronco principal, com ramos de extremidades finas (aproximadamente 1 mm) que favorecem o consumo pelo fogo, possibilitando uma variação no DMRC mais sensível às oscilações de intensidade do fogo. Além disso, essa espécie está entre as mais comuns no Cerrado, em fisionomias do tipo Campo Sujo e na área de estudo (LENZA et al., 2008; MMA, 2014), portanto, contribuindo para o delineamento da pesquisa.

3.2.4. Avaliação visual da severidade da queima

A partir da metodologia proposta por Ryan e Noste (1985), foi realizada uma avaliação de caráter visual do nível de carbonização das gramíneas que cobrem o solo. Para tal, foram considerados três níveis de severidade da queima, sendo 1 a menor e 3 a maior severidade, cada um com características específicas, descritas no QUADRO 2.

QUADRO 2. DESCRIÇÃO DOS NÍVEIS DE SEVERIDADE DA QUEIMA

(continua)

Nível 1

A liteira é carbonizada ou consumida, mas partes da planta são discerníveis. A queima estende-se na superfície do solo, mas o solo mineral não é alterado. Algumas plantas ou partes delas não são totalmente queimadas. Algumas plantas não estão fortemente carbonizadas e ainda são reconhecíveis. A superfície do terreno fica predominantemente enegrecida imediatamente após a queima. As queimas podem apresentar uniformidade de carbonização, dependendo da continuidade da gramínea.



Fotografia: o autor.

QUADRO 3. DESCRIÇÃO DOS NÍVEIS DE SEVERIDADE DA QUEIMA

(conclusão)

Nível 2

A liteira é consumida e a superfície apresenta cobertura acinzentada (cinzas), que desaparecem logo após a queima, deixando o solo mineral exposto. A queima estende-se pelo solo mineral, mas a estrutura do solo não é alterada. Partes da planta já não são discerníveis e as folhas das plantas são consumidas. As bases das plantas são obscurecidas imediatamente após a queima. A queima tende a ser uniforme.



Fotografia: o autor.

Nível 3

A superfície consiste em cinzas brancas macias imediatamente após a queima. Isso logo desaparece, deixando o solo mineral exposto. A carbonização estende-se até 1,3 cm de profundidade no solo. Este nível de severidade do fogo é geralmente limitado às situações com cargas pesadas onde a queima ocorreu sob condições secas e de pouco vento.

(Não foi registrada severidade de nível 3)

FONTE: Adaptado de Ryan e Noste (1985).

3.2.5. Estatística

Para as cargas de biomassa e variáveis do comportamento do fogo (velocidade de propagação e comprimento de chama) foram obtidas as médias em cada tratamento com respectivo erro padrão.

A partir dos dados meteorológicos do INMET (Estação Almas-A053), foram obtidas médias mensais referentes a cada época de queima controlada.

Para analisar estatisticamente os dados de DMRC, foi aplicada a análise de variância fatorial (tempo sem queima vs. mês de queima controlada) pelo teste de comparação de médias Scott-Knott (1974) a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Foi aplicado o teste de correlação linear de Pearson para identificar as associações entre o DMRC e as variáveis do comportamento do fogo, meteorológicas e características do material combustível.

Com a valoração do nível de severidade da queima (1 a 3) foram geradas médias a partir das repetições.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. Material combustível antes da queima

A biomassa total e biomassa de herbáceas disponível nas áreas com tempo sem queima de dois, três e quatro anos seguem um padrão de aumento de carga com o passar do tempo sem ocorrência de queima, além de um predomínio de vegetação morta (TABELA 7).

TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS DA BIOMASSA POR TEMPO SEM QUEIMA DO TERRENO
Características da biomassa

Biomassa (kg.m ⁻²)	Tempo sem queima (anos)		
	2	3	4
Total	0,55 (0,051)	0,62 (0,032)	0,64 (0,039)
Viva	0,26 (0,025)	0,25 (0,019)	0,28 (0,031)
Morta	0,30 (0,038)	0,37 (0,024)	0,37 (0,020)
Herbácea total	0,24 (0,024)	0,24 (0,014)	0,27 (0,019)
Herbácea viva	0,10 (0,010)	0,08 (0,006)	0,09 (0,010)
Herbácea morta	0,14 (0,019)	0,16 (0,013)	0,18 (0,012)

FONTE: O autor (2020).

NOTA: Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média

3.3.2. Comportamento do fogo

Entre as diferentes épocas de queima, a velocidade de propagação foi de 0,17 a 0,41 m.s⁻¹ (TABELA 8), valores classificados como velocidade extrema (BOTELHO; VENTURA, 1990). O comprimento das chamas durante as queimas foi de 2,26 a 3,68 m. Importante ressaltar que quanto maior o comprimento das chamas, maior o calor liberado e maior a intensidade do fogo (ROTHERMEL, 1972; SOARES et al., 2017).

TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS DO FOGO POR ÉPOCA DE QUEIMA

Características do fogo		
Época	Velocidade propagação média (m.s ⁻¹)	Comprimento de chama médio (m)
Mai	0,20 (0,047)	2,51 (0,390)
Junho	0,20 (0,031)	2,60 (0,282)
Agosto	0,17 (0,045)	2,26 (0,264)
Setembro	0,41 (0,036)	3,68 (0,211)

FONTE: O autor (2020).

NOTA: Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média

3.3.3. Condições meteorológicas no período do experimento

As médias mensais das variáveis meteorológicas no período de realização da pesquisa (TABELA 9) mostram que as condições meteorológicas variaram entre os meses de realização das queimas controladas, sendo os meses de maio e junho mais úmidos e com menores temperaturas e agosto e setembro, mais secos e mais quentes. No Corredor Ecológico da Região do Jalapão estas são as condições normais de início e fim da estação seca, respectivamente (MMA, 2013).

TABELA 9 - CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

Mês/Ano	T (°C)	UR (%)	Vento (m.s ⁻¹)	Radiação (kJ.m ⁻²)	Precipitação (mm)
Maio/2017	25,71	69,22	1,25	821,28	0,02
Junho/2017	24,38	59,22	1,42	801,36	0,01
Agosto/2017	26,66	39,76	1,63	888,65	0,00
Setembro/2017	29,48	34,40	2,45	1380,42	0,00

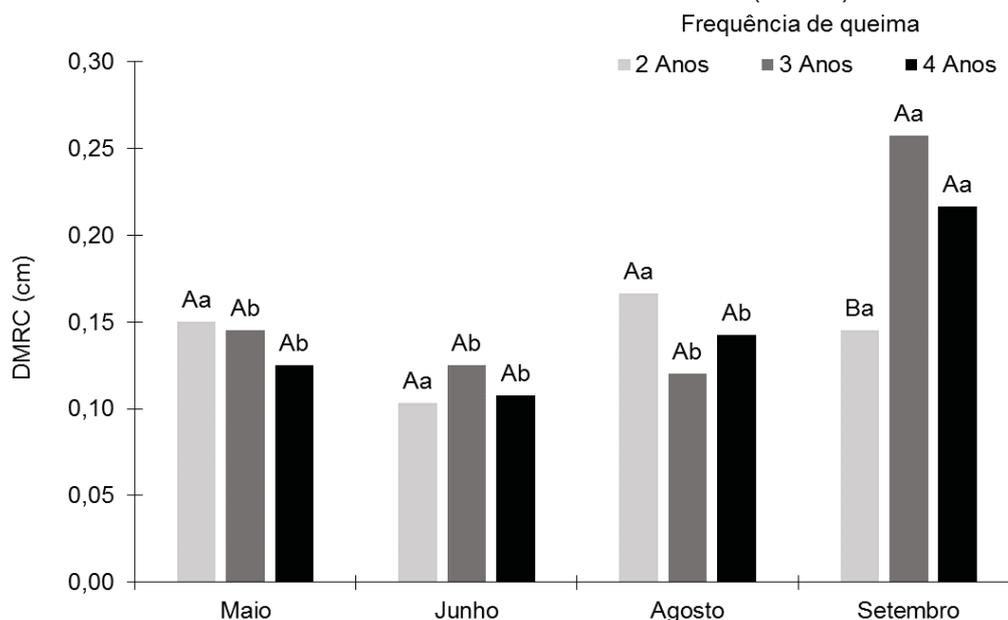
FONTE: INMET - Estação Almas-A053 (2018).

NOTA: Os valores de T, UR, Vento e Radiação são médias do mês, precipitação é o acumulado.

Apenas a precipitação média mensal não diferiu entre os meses (TABELA 9), sendo mínima e típica para o período na área de estudo (MMA, 2013). A variabilidade meteorológica e os combustíveis florestais são os principais fatores determinantes do comportamento do fogo e, portanto, são importantes para a compreensão da dinâmica da severidade do fogo sob condições variadas (KANE et al., 2015; SOARES et al., 2017).

3.3.4. Diâmetro mínimo dos ramos carbonizados

A medição do diâmetro mínimo dos ramos carbonizados (DMRC) demonstrou a existência de variação entre os valores após queimas realizadas em diferentes meses do ano e em áreas com tempos sem queima distintos (FIGURA 16).

FIGURA 16. DIÂMETRO MÍNIMO DOS RAMOS CARBONIZADOS (DMRC) DE *Rourea induta*

FONTE: o autor (2020)

NOTA: Médias seguidas de mesma letra maiúscula comparando os anos sem queima, e minúsculas comparando os meses de queima, pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o critério de agrupamento de médias Scott-Knott (1974), a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Os resultados encontrados demonstraram que no mês de setembro e em áreas com tempo sem queima de três e quatro anos a severidade do fogo foi maior, com valores de DMRC de 0,26 e 0,22 cm, respectivamente (FIGURA 16). Este comportamento é explicado pela baixa umidade relativa do ar, altas temperaturas e maior velocidade de propagação do vento (TABELA 9), que resultaram em maiores médias de comprimento de chamas (3,68 m) no mês de setembro (TABELA 8).

Por meio da matriz de correlação de Pearson (QUADRO 3), é possível identificar que há uma correlação moderada do DMRC com a etapa de queima de 0,50 ($p < 0,01$), indicando aumento da severidade do fogo nas áreas queimadas nos meses de maior estiagem. Este comportamento é reforçado pela correlação do DMRC com a umidade do ar que foi de -0,35 ($p < 0,05$), indicando que nos meses mais secos a severidade do fogo tende a ser maior.

QUADRO 4. CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON DO DMRC COM ALGUMAS VARIÁVEIS MENSURADAS DURANTE A PESQUISA

	ETP	TSQ	TOPKILL	UR	C_CH	MC	MC_V	MC_M	MC_Mherb
DMRC	0,50**	0,03	0,24	-0,35*	0,39*	0,06	-0,30	0,40*	0,42**

NOTA: ETP – etapa de queima de 1 a 4 (1 = maio; 2 = junho; 3 = agosto e 4 = setembro); TSQ – tempo sem queima (dois, três e quatro anos sem queima); TOPKILL – taxa de *topkill*; UR – umidade relativa do ar; C_CH – comprimento de chama; MC – material combustível; MC_V – material combustível vivo; MC_M – material combustível morto; MC_Mherb – material combustível morto herbáceo; * correlação é significativa a 5% de probabilidade; ** correlação é significativa a 1% de probabilidade.

A variável comprimento de chama apresentou correlação positiva significativa com o DMRC (0,39; $p < 0,05$), indicando maior severidade do fogo quando o comprimento das chamas aumenta (QUADRO 3). É possível observar, também, que a variável tempo sem queima, que está associada ao combustível da área, não apresentou correlação significativa. Todavia, algumas características específicas do combustível, como a carga de material morto e de material morto herbáceo, apresentaram correlações significativas moderadas, sendo 0,40 ($p < 0,05$) e 0,42 ($p < 0,01$) respectivamente. Dessa forma, observa-se que as especificidades do combustível, e não apenas sua carga total, são importantes para analisar as nuances da severidade do fogo.

Assim como em outros trabalhos, observa-se que o combustível decorrente do tempo sem queima da área, bem como as condições meteorológicas do período da queima influenciam fortemente as características do fogo (MARTÍN; BIRK, 2010; CLARKE et al., 2014).

Os maiores valores de DMRC encontrados nesta pesquisa são semelhantes aos verificados em outros trabalhos. De acordo com Davies et al. (2010), em queimas realizadas em vegetação com predominância de *Calluna vulgaris* e em áreas de até 25 anos sem queima, o maior DMRC encontrado foi de 0,19 cm. Hammill e Bradstock (2006) em vegetação de charneca na Austrália, queimada em dezembro, verificaram valor máximo de 0,22 cm, valor igual ao encontrado neste experimento.

As áreas com tempo sem queima de dois anos tiveram intensidade do fogo inferior às de três e quatro anos nas queimas realizadas em setembro, entretanto, comparada às demais áreas de dois anos, não diferiram entre si nas queimas realizadas em maio, junho, agosto e setembro.

Outro resultado importante verificado em áreas de dois anos foram os menores valores de DMRC (0,10 cm), evidenciando a baixa severidade do fogo sobre os arbustos de *Rourea induta*, mesmo em períodos críticos de seca. Valor semelhante (0,11 cm) foi verificado em vegetação com predominância de *Calluna vulgaris*, no Reino Unido (DAVIES et al., 2010), e em vegetação de charneca, na Austrália, cujo menor valor foi 0,16 cm (HAMMILL; BRADSTOCK, 2006).

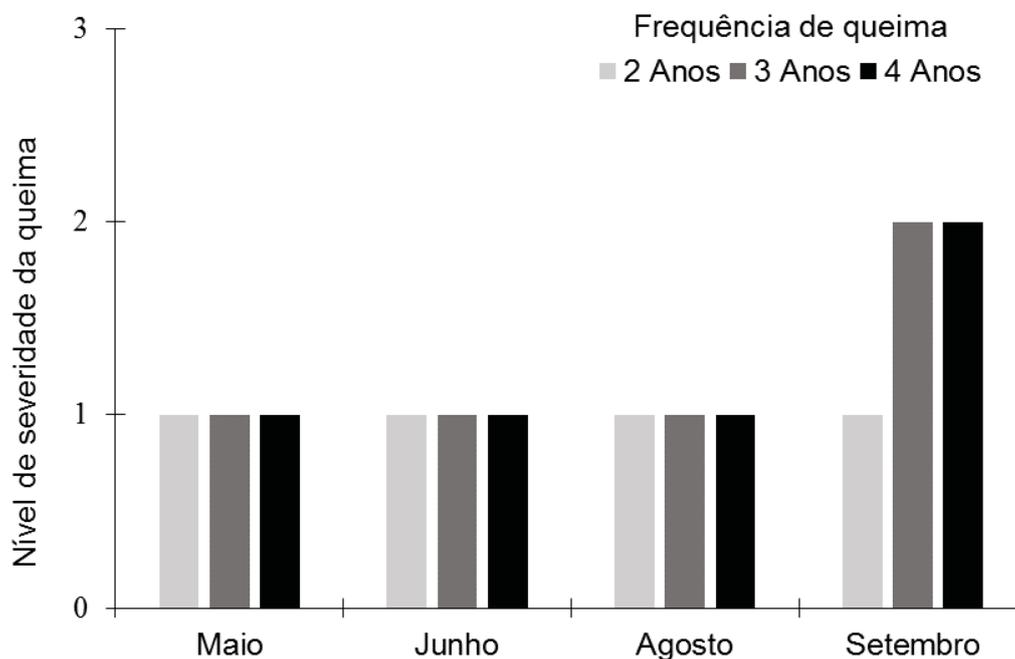
As áreas de dois anos foram as que apresentaram a menor carga de combustível (0,55 kg.m⁻²) e são as que possuem a menor carga de material morto e material morto herbáceo, sendo 0,30 e 0,14 kg.m⁻², respectivamente (TABELA 7). Tendo em vista que o material morto e o morto herbáceo foram os componentes do combustível que tiveram maior correlação com o DMRC (QUADRO 3), as menores cargas deste tipo de combustível podem ter sido fator determinante para a menor severidade do fogo nas áreas com dois anos sem queima.

Dessa forma, as características da biomassa combustível presentes no ambiente estão entre os principais fatores que determinam a intensidade do fogo em um incêndio florestal (CLARKE et al., 2014; SOARES et al., 2017), sendo que nas áreas de dois anos foi possivelmente o fator preponderante para estabilidade da intensidade do fogo sob condições meteorológicas distintas.

3.3.5. Avaliação visual da severidade da queima

O método visual de avaliação da severidade da queima, proposto por Ryan e Noste (1985), é uma avaliação qualitativa de fácil aplicação em campo. Por se tratar de um método cujo alvo da observação é o consumo dos materiais combustíveis finos (gramíneas), e ainda que sejam dados qualitativos, seu resultado é apresentado sob a forma de gráfico (FIGURA 17) para facilitar a observação comparativa com o método do DMRC.

FIGURA 17. AVALIAÇÃO VISUAL DO NÍVEL DE SEVERIDADE DA QUEIMA (MENOR SEVERIDADE 1 E MAIOR SEVERIDADE 3)



FONTE: o autor (2020)

Seguidos os critérios descritos no QUADRO 2, não foi possível verificar área com padrões paisagísticos referentes ao nível 3 de severidade. Isso se deve as características da biomassa em áreas campestres, que além de apresentar baixa carga de combustível, o material disponível para queima é, em grande parte, herbáceo que apresenta curto tempo de queima, características que conduzem a uma queima de menor intensidade e severidade (RYAN; NOSTE, 1985).

Os resultados demonstraram que a maior severidade ocorreu nas queimas do mês de setembro nas áreas de três e quatro anos (FIGURA 17). A diferenciação dos níveis de severidade apresentou o mesmo padrão da intensidade do fogo mensurada pelo DMRC (FIGURA 16), indicando que os dois métodos possuem sensibilidade semelhante em áreas de Cerrado Campestre.

Estes métodos de avaliação podem ser uma boa ferramenta de mensuração de intensidade e severidade das queimas no campo, devido sua praticidade. Contudo, estas avaliações identificam as alterações físicas imediatas causadas pela ação do fogo e não respondem questões ecológicas

que necessitam de estudos específicos (HARTFORD; FRANSEN, 1992; KEELEY, 2009).

3.4. CONCLUSÃO

A partir deste estudo foi possível concluir que os métodos de avaliação de intensidade e severidade da queima apresentaram sensibilidade às variações meteorológicas dos meses de queima e às características do combustível em razão do tempo sem queima do terreno. Os maiores valores de severidade do fogo, tanto para método do diâmetro mínimo dos ramos carbonizados, quanto para o de avaliação visual, foram verificados nas queimas realizadas no mês de setembro e em áreas com tempo sem queima de três e quatro anos.

REFERÊNCIAS

- ABC. ÁRVORES DO BIOMA CERRADO. *Rourea induta* Planch. 2020. Disponível em: <<http://www.arvoresdobiomacerrado.com.br/site/2017/04/03/rourea-induta-planch/>>. Acessado em: out. 2020.
- BARKER, J. W.; PRICE, O. F. Positive severity feedback between consecutive fires in dry eucalypt forests of southern Australia. **Ecosphere**, v. 9, n. 3, p. 1-14, 2018. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2110>
- BATISTA, A. C.; BEUTLING, A.; PEREIRA, J. F. Estimativa do comportamento do fogo em queimas experimentais sob povoamentos de *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 5, p.779-787, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622013000500001>
- BOTELHO, H.; VENTURA, J. Modelos de comportamento do fogo. In: REGO, F. C.; BOTELHO, H. **A técnica do fogo controlado**. Apartado: Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, 1990. p. 49-55.
- CASE, M. F.; STAYER, A. C. Fire prevents woody encroachment only at higher-than-historical frequencies in a South African Savanna. **Journal of Applied Ecology**, Londres, v. 54, n. 3, p. 955-962, 2017. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12805>
- CLARKE, P. J.; KNOX, K. J. E.; BRADSTOCK, R. A.; MUNOZ-ROBLES, C.; KUMAR, L. Vegetation, terrain and fire history shape the impact of extreme weather on fire severity and ecosystem response. **Journal of Vegetation Science**, v. 25, n. 4, p. 1033-1044, 2014. <https://doi.org/10.1111/jvs.12166>
- DAVIES, G. M.; DOMENECH-JARDI, R.; GRAY, A.; JOHNSON, P. C. D. Vegetation structure and fire weather influence variation in burn severity and fuel consumption during peatland wildfires. **Biogeosciences**, v. 12, n. 18, p. 15737-15762, 2016. <https://doi.org/10.5194/bg-13-389-2016>
- DAVIES, G. M.; SMITH, A. A.; MACDONALD, A. J.; BAKKER, J. D.; LEGG, C. J. Fire intensity, fire severity and ecosystem response in heathlands: factors affecting the regeneration of *Calluna vulgaris*. **Journal of Applied Ecology**, Londres, v. 47, n. 2, p. 356-365, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01774.x>
- HAMMILL, K. A.; BRADSTOCK, R. A. Remote sensing of fire severity in the Blue Mountains: influence of vegetation type and inferring fire intensity. **International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, v. 15, n. 2, p. 213-226, 2006. <https://doi.org/10.1071/WF05051>
- HARTFORD, R. A.; FRANSEN, W. H. When it's hot, it's hot... or maybe it's not! (Surface flaming may not portend extensive soil heating). **International**

Journal of Wildland Fire, Melbourne, v. 2, n. 3, p. 139-144, 1992.
<https://doi.org/10.1071/WF9920139>

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **BDMEP** - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>, acesso em: 27 de março de 2018.

KANE, V. R.; CANSLER, C. A.; POVAK, N. A.; KANE, J. T.; MCGAUGHEY, R. J.; LUTZ, J. A.; CHURCHILL, D. J.; NORTH, M. P. Mixed severity fire effects within the Rim fire: relative importance of local climate, fire weather, topography, and forest structure. **Forest Ecology and Management**, v. 358, p. 62-79, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.001>

KEELEY, J. E. Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. **International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, v. 18, n. 1, p. 116-126, 2009. <https://doi.org/10.1071/WF07049>

KNOX, K. J. E; CLARKE, P. J. Measuring fire severity: Are canopy, understorey and below-ground measures coupled in sclerophyll forest fires?. **Plant Ecology**, v. 217, n. 6, p. 607-615, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11258-016-0609-6>

LENZA, E.; FERREIRA, J. N.; CONSOLARO, H.; AQUINO, F. G. Biologia reprodutiva de *Rourea induta* Planch. (Connaraceae), uma espécie heterostílica de cerrado do Brasil Central. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 389-398, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042008000300003>

LYDERSEN, J. M.; COLLINS, B. M.; BROOKS, M. L.; MATCHETT, J. R.; SHIVE, K. L.; POVAK, N. A.; KANE, V. R.; SMITH, D. F. Evidence of fuels management and fire weather influencing fire severity in an extreme fire event. **Ecological applications**, v. 27, n. 7, p. 2013-2030, 2017. <https://doi.org/10.1002/eap.1586>

MARTÍN, S. D.; BIRK, E. L. The singular role of the atmospheric stability in forest fires. **Atmósfera**, Ciudad de México, v. 23, n. 2, p. 129-139, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-62362010000200002&script=sci_arttext&tIng=en>. Acesso em: out. 2018.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de manejo: Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), 2014. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/cerrado/unidades-de-conservacao-cerrado/2068-esec-serra-geral-do-tocantins>. Acesso em: out. 2018.

_____. **Atlas do corredor ecológico da região do Jalapão**, 2013. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, v. 2. Disponível em:

https://www.icmbio.gov.br/projetojalapao/images/stories/atlas/AtlasJica_2013_COMPLETO.pdf. Acesso em: out. 2018.

MORENO, J. M.; OECHEL, W. C. A simple method for estimating fire intensity after a burn in California chaparral. **Acta Oecologica-Oecologia Plantarum**, v. 10, n. 1, p. 57–68, 1989. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jose_Moreno16/publication/236872127_moreno_oechel_1989_acta_oecol_10_57-68/links/00463519c58d9ded93000000.pdf. Acesso em: out. 2018

MORENO, J. M.; TORRES, I.; LUNA, B.; OECHEL, W. C.; KEELEY, J. E. Changes in fire intensity have carry-over effects on plant responses after the next fire in southern California chaparral. **Journal of Vegetation Science**, v. 24, n. 2, p. 395-404, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2012.01466.x>

MORGAN, P.; KEANE, R. E.; DILLON, G. K.; JAIN, T. B.; HUDAK, A. T.; KARAU, E. C.; SIKKINK, P. G.; ZACHARY A. HOLDEN, Z. A.; STRAND, E. K. Challenges of assessing fire and burn severity using field measures, remote sensing and modelling. **International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, v. 23, n. 8, p. 1045-1060, 2014. <https://doi.org/10.1071/WF13058>

OLIVEIRA-FILHO, E. C.; BRITO, D. Q.; DIAS, Z. M. B.; GUARIEIRO, M. S.; CARVALHO, E. L.; FASCINELI, M. L.; NIVA, C.C.; GRISOLIA, C. K. Effects of ashes from a Brazilian savanna wildfire on water, soil and biota: an ecotoxicological approach. **Science of the Total Environment**, v. 618, p. 101-111, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.051>

PIVELLO, V. R. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. **Fire ecology**, v. 7, n. 1, p. 24-39, 2011. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024>

ROTHERMEL, R. C. **A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels**. Res. Pap. INT-115. Ogden, UT: USDA, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 40 p., v. 115, 1972.

RYAN, K.; NOSTE, N. Evaluating prescribed fires. In: LOTAN, J. E. et al. (tech. coor) Proceedings - **Symposium and Workshop on Wilderness Fire**. USDA Forest Service Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-182. pp. 230-238, 1985.

SÁNCHEZ, E. G.; DE LAS HERAS, J.; LUCAS-BORJA, M.; MOYA, D. Assessing fire severity in semi-arid environments: application in Donceles 2012 wildfire (SE Spain). **Revista de Teledetección**, n. 49, p. 103-113, 2017. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7121>

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, p. 507-512, 1974.

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

TOCANTINS. **Estatísticas das áreas queimadas no estado do Tocantins: 2006 - 2016**. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMARH. Centro de Monitoramento Ambiental e Manejo do Fogo – CeMAF. The Global Fire Monitoring Center – GFMC, 2017.

VAN DER WERF, G. R.; RANDERSON, J. T.; GIGLIO, L.; COLLATZ, G. J.; MU, M.; KASIBHATLA, P. S.; MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; JIN, Y.; VAN LEEUWEN, T. T. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 10, n. 23, p. 11707-11735, 2010. <https://doi.org/10.5194/acp-10-11707-2010>

CAPÍTULO 4

4. DINÂMICA DE VEGETAÇÃO HERBÁCEA E DO ESTRATO DE REGENERAÇÃO DE LENHOSAS NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS

RESUMO

O Cerrado é um *hotspot* de biodiversidade global e a região do Jalapão apresenta um dos mais importantes fragmentos preservados deste bioma, sendo, portanto, uma região chave para a compreensão da regeneração da vegetação a partir de sua relação com o fogo. O objetivo deste estudo foi avaliar a severidade do fogo sobre as herbáceas e as lenhosas do estrato de regeneração da vegetação de Cerrado na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT), em função da época de queima e do tempo sem queimar. Para isso, foram realizadas queimas controladas nos meses de maio, junho, agosto e setembro de 2017, em terrenos com dois, três e quatro anos sem queimar. Nestas áreas foram instaladas 192 parcelas de 1 m², nas quais, foi inventariada a vegetação antes da queima controlada e um ano após a realização das queimas, segmentando-as em: i. número de indivíduos e espécies herbáceas; e ii. número indivíduos e espécies lenhosas (DAB ≤ 1cm). Para avaliar a dinâmica de herbáceas e lenhosas em função dos tratamentos empregados, foi aplicada a análise de variância fatorial (tempo sem queima vs. mês de queima controlada) pelo teste de comparação de médias Scott-Knott a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$) e para identificar possíveis variáveis indicadoras de severidade, foi realizada uma análise de correlação de Pearson. Desta forma, constatou-se que as queimas conduzidas em agosto e setembro foram mais severas para herbáceas e lenhosas, com as de agosto sendo mais danosas para espécies e indivíduos lenhosos pertencentes ao estrato de regeneração. As condições que mais contribuíram para a recuperação da vegetação foram nas queimas realizadas em maio (em alguns casos até junho) nas áreas com quatro anos sem queimar. A umidade relativa do ar registrada antes de iniciar a queima e a altura das herbáceas com um ano após a queima foram indicadores significativos da severidade do fogo sobre a vegetação herbácea e as lenhosas do estrato de regeneração.

Palavras-chave: ecologia do fogo, impactos do fogo, queimadas.

4.1. INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais têm causado diversos danos no mundo. Somente neste século, incêndios com perdas de vidas humanas como os ocorridos na Austrália em 2009; Bolívia 2010; Canadá 2016; Chile 2014; EUA 2000, 2003, 2013, 2016, 2017, 2018; Grécia em 2007; Israel 2010; Portugal 2003 e 2017; Rússia 2010 e 2015; além de tantos outros pelo mundo, atemorizam as pessoas. Esses incêndios podem provocar impactos ambientais, sociais e econômicos de grande magnitude.

O fogo também é um fenômeno global natural que afeta fundamentalmente muitos padrões e processos ecossistêmicos, incluindo a distribuição e a estrutura da vegetação (KILGORE, 1981).

Em uma série histórica de 2000 a 2016 foi estimado que 340 milhões de hectares são queimados todos os anos no mundo (GFED, 2019).

Entre os biomas terrestres, as savanas, entre elas o Cerrado, são os ambientes que mais queimam todos os anos (CHUVIECO et al., 2018). Isso se deve em razão da distribuição esparsa da vegetação lenhosa que caracteriza as savanas, condição que permite a chegada de insolação ao nível do solo e promove o desenvolvimento abundante do estrato herbáceo. Em razão de seu ciclo de vida, as gramíneas têm suas folhas e partes florais dessecadas na época de maior estiagem, na região dos Cerrados, que geralmente vai de maio a setembro. Desta forma esse material fino e seco passa a constituir um combustível altamente inflamável (PIVELLO, 2006; GANASSOLI, 2019; SANTOS, 2019).

Embora esse fenômeno possa parecer danoso, as plantas evoluíram a partir da sua relação com o fogo e desenvolveram estratégias que lhes permitem resistir e tirar proveito da ação do fogo (KILGORE, 1981; COUTINHO, 1990; BOND et al., 2003). Algumas dessas estratégias características da vegetação do Cerrado são: o ritidoma grosso das lenhosas, que servem de isolante térmico durante um incêndio; a vasta floração e rápida rebrota das herbáceas pouco tempo após o fogo; a abertura sincronizada de frutos e intensa dispersão de suas sementes; e a superação da dormência em algumas sementes. Além disso, após a conversão dos combustíveis florestais em cinzas, o fogo promove a

solubilização dos nutrientes que são disponibilizados para os sistemas radiculares (COUTINHO, 1990; PIVELLO, 2006; SOARES et al., 2017).

Dessa forma, embora o fogo possa causar danos socioeconômicos importantes, ele não é inerentemente danoso, sua ação no ambiente é fortemente dependente do contexto, sendo um processo vital em diversos ecossistemas (PYNE, 1998; FUHLENDORF et al., 2011).

O fogo pode, por exemplo, ser aplicado como método de prevenção contra incêndios, através da utilização de técnicas específicas de queima controlada (SOARES et al., 2017).

Atualmente, os mais modernos sistemas de prevenção contra incêndios florestais e manejo ecológico do fogo vêm se apoiando em pesquisas que identifiquem as nuances da relação do fogo com a vegetação local. A ideia central é conseguir identificar o melhor regime de queima que contribua para a redução dos riscos de incêndio e que favoreça a manutenção dos ecossistemas locais.

O Cerrado é um ambiente extremamente rico em espécies herbáceas e lenhosas e a região da EESGT é uma área com grande endemismo de espécies. Contudo, a ação do fogo sobre esse ambiente ainda é pouco conhecida (DIAS, 1992; MYERS et al., 2000; SILVA; BATES, 2002; MMA, 2014). Compreender a influência do comportamento do fogo sobre a vegetação herbácea, bem como sobre as lenhosas do estrato de regeneração na EESGT é fundamental para desenvolver estratégias de queimas controladas que contribuam para a manutenção e recuperação ecológica deste ambiente.

4.1.1. Hipóteses

O fogo que atinge o Cerrado na EESGT nos meses de maior estiagem pode estar retardando a recuperação do número de indivíduos e espécies, tanto herbáceas quanto lenhosas do estrato de regeneração.

O tempo sem queima do terreno pode ser um fator determinante da severidade do fogo sobre os indivíduos e espécies herbáceas e lenhosas do estrato de regeneração.

4.1.2. Objetivo geral

Avaliar a severidade do fogo sobre as herbáceas e as lenhosas do estrato de regeneração do Cerrado na EESGT, em função da época e do tempo sem queima do terreno.

4.1.3. Objetivos específicos

Verificar os efeitos do fogo sobre o número de indivíduos e espécies herbáceas e lenhosas do estrato de regeneração, a partir de queimas controladas realizadas em áreas com diferentes tempos sem queima.

Identificar os efeitos do fogo sobre o número de indivíduos e espécies herbáceas e lenhosas do estrato de regeneração, a partir de queimas controladas realizadas nos meses do início e fim da temporada de incêndios.

Identificar as melhores e piores condições para se realizar uma queima controlada, considerando-se a conservação da vegetação herbácea e as lenhosas do estrato de regeneração.

Identificar variáveis indicadoras da severidade do fogo sobre a vegetação.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

De maio a setembro de 2017 foram conduzidas queimas controladas na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins com a colaboração dos gestores e das brigadas de combate a incêndios florestais da unidade de conservação.

As queimas controladas, referentes aos meses de maio e junho, foram realizadas acompanhando as operações ordinárias da brigada do ICMBio, a fim de avaliar a severidade do fogo dessas queimas controladas e compará-las com queimas que simularam condições de incêndios na região (agosto e setembro).

Para encontrar áreas seguras para a realização das queimas controladas, referentes aos meses de agosto e setembro, foi realizado um mapeamento para identificação de “ilhas” onde o fogo não havia queimado e que se encontravam cercadas por área queimada, portanto, não ofereciam risco de causar um eventual incêndio na unidade de conservação (FIGURA 9). Este mapeamento foi advindo de dados institucionais elaborados pelos gestores da EESGT.

Em cada uma das 48 Unidades de Amostragem de Dados (UAD), foram alocadas 4 subparcelas de 1 m², distribuídas por sorteio em 20 possíveis posições (FIGURA 13). Ao todo foram instaladas 192 subparcelas de 1 m² para o estudo.

Em cada subparcela de 1 m² foi inventariada a vegetação antes da queima controlada e um ano após a realização das queimas (FIGURA 18), segmentando-a em: número de indivíduos e espécies herbáceas; e número indivíduos e espécies lenhosas com diâmetro a altura da base (DAB) menor ou igual a 1cm.

FIGURA 18. SUBPARCELA DE HERBÁCEAS E LENHOSAS ANTES DA QUEIMA E UM ANO APÓS



FONTE: o autor (2020)

Durante a condução de cada uma das queimas controladas foi registrada a temperatura e a umidade relativa do ar por meio de uma estação meteorológica portátil, a fim de realizar as análises de correlação entre estas variáveis e a recuperação das herbáceas e lenhosas do estrato de regeneração.

Além da época de queima (maio, junho, agosto e setembro), foi utilizado como tratamento o tempo sem queima, sendo: dois, três e quatro anos sem queimar. O mapeamento do histórico de queima dessas áreas foi realizado a partir de imagens de satélite pela própria equipe de gestão da EESGT (FIGURA 9).

Não foram conduzidos experimentos em áreas de um ano sem queima em razão da insuficiência de material combustível (no mínimo $3,6 \text{ t.ha}^{-1}$, com pelo menos $0,5 \text{ t.ha}^{-1}$ de material herbáceo morto) para propagação do fogo nestas condições (GANASSOLI, 2019). Da mesma forma, não foram utilizadas áreas com mais de quatro anos sem queima por serem escassas na EESGT, em razão da condução de queimas prescritas como estratégia ecológica e de prevenção contra incêndios na área, fato que dificultaria o delineamento experimental.

O método empregado para a quantificação de material combustível é o mesmo descrito na metodologia do capítulo dois desta tese. Para determinação da umidade do combustível foi feita a secagem das amostras em estufa no laboratório a 75°C durante um período de 48 horas, para posterior pesagem e

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 ($U\%$), conforme a equação seguinte:

$$U\% = \frac{Mu - Ms}{Ms} * 100$$

onde: Mu = Massa úmida do combustível; Ms = Massa seca do combustível; e $U\%$ = Umidade do combustível em porcentagem.

Dessa forma, o delineamento do trabalho foi composto por quatro blocos (UAD), no qual se avaliou o tempo sem queima do terreno (áreas com dois, três e quatro anos sem ocorrência de incêndios ou queima controlada) e as épocas de realização das queimas (maio, junho, agosto e setembro).

4.2.1. Análise estatística dos dados

Para avaliar a variação nas taxas de perda ou incremento de indivíduos e espécies, herbáceas e lenhosas em função dos tratamentos empregados, foi aplicada a análise de variância fatorial (tempo sem queima vs. mês de realização da queima) pelo teste de comparação de médias Scott-Knott (1974) a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

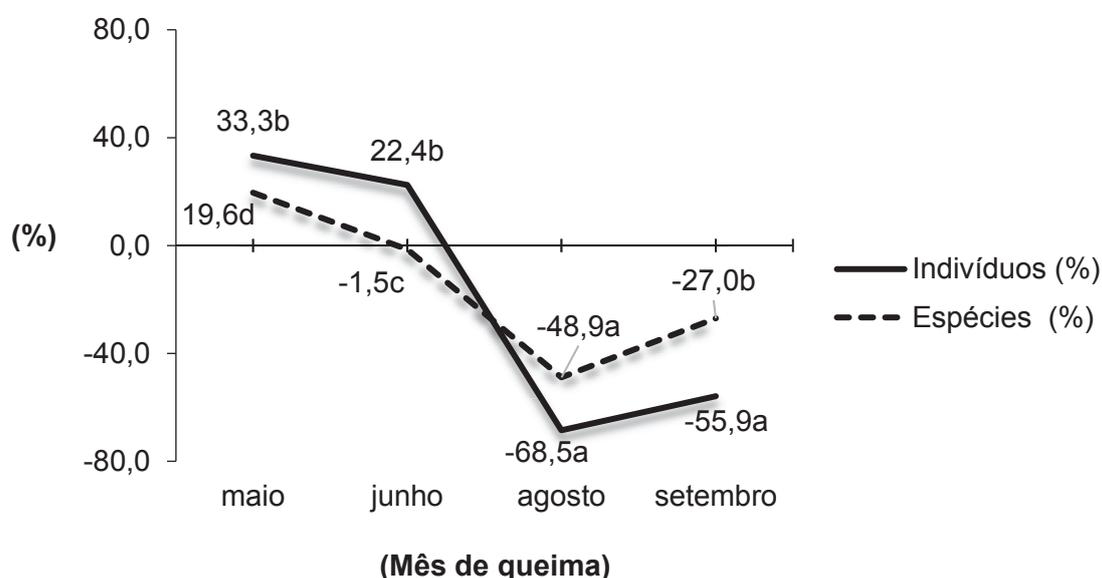
Para identificar quais variáveis possuem maior grau de interação com as taxas de incremento ou perdas da vegetação herbácea e lenhosa do estrato de regeneração, foram realizadas análises de correlação linear de Pearson.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1. Dinâmica de herbáceas após o fogo

A resposta da vegetação herbácea ao tratamento época/mês de queima está representada na FIGURA 19. Os valores apresentados correspondem aos percentuais do número de indivíduos e espécies que rebrotaram, em comparação com o que havia antes da passagem do fogo. Desta forma, são apresentados valores positivos quando houve um incremento em relação ao que havia antes do fogo e valores negativos quando houve redução do número de indivíduos ou espécies no local. Além disso, os percentuais de rebrota em função do mês de queima são comparados por meio do teste de comparação de médias Scott-Knott (1974).

FIGURA 19. DIFERENÇA ENTRE OS PERCENTUAIS DE REBROTA DAS HERBÁCEAS EM FUNÇÃO DO MÊS DE REALIZAÇÃO DAS QUEIMAS



FONTE: o autor (2020)

NOTA: 33,3% e 22,4% - incremento de indivíduos; -68,5% e -55,9% - redução de indivíduos; 19,6% - incremento de espécies; -1,5%, -48,9% e -27% - redução de espécies. Médias seguidas de mesma letra pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o critério de agrupamento de médias Scott-Knott (1974), a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Os resultados demonstraram que o mês de realização da queima, variável que buscou representar de maneira genérica as características

meteorológicas do local, foi determinante na severidade do fogo sobre as herbáceas. As queimas realizadas em maio e junho contribuíram para que o número de indivíduos herbáceos tivesse um incremento estatisticamente igual, sendo 33 e 22%, respectivamente, em relação ao estágio pré-fogo da área. Em contrapartida, para as queimas realizadas em agosto e setembro foram observadas perdas da ordem de 68 e 56%, respectivamente, consideradas estatisticamente iguais (FIGURA 19).

Por meio da matriz de correlação de Pearson (TABELA 15), é possível observar que a rebrota dos indivíduos herbáceos está fortemente associada às condições meteorológicas no momento da queima. A correlação entre a taxa de rebrota e a etapa de queima foi de $-0,68$ ($p < 0,01$), indicando redução do número de indivíduos em razão das queimas conduzidas nos meses do fim da estação seca. Este comportamento, também, foi observado na correlação com a umidade do ar que foi de $0,66$ ($p < 0,01$), indicando aumento nas taxas de rebrota quando as queimas foram conduzidas em períodos úmidos e redução em queimas com o ar mais seco. O material combustível vivo herbáceo que havia na área antes da queima também apresentou correlação significativa com o número de indivíduos que rebrotaram ($0,51$; $p < 0,01$), indicando que com um maior conteúdo de umidade nos tecidos da planta ela tende a ser mais resiliente à ação do fogo.

As taxas de espécies herbáceas diferiram estatisticamente para os quatro meses em que foram realizadas as queimas. As queimas realizadas no mês de maio contribuíram para um aumento de 19,6% das espécies e as de junho apresentaram perdas de 1,5%. As queimas de maior severidade foram as de agosto e setembro, 48,9 e 27% respectivamente (FIGURA 19).

Assim como para número de indivíduos, as espécies herbáceas possuem correlação significativa com as condições meteorológicas da hora da queima. A correlação da taxa de rebrota das espécies herbáceas com a etapa (mês de queima) foi de $-0,58$ ($p < 0,01$) e com a umidade relativa do ar foi de $0,58$ ($p < 0,01$), indicando redução de espécies em meses do final da estação seca (mais secos) e aumento do percentual de espécies a partir de queimas realizadas em meses mais úmidos (TABELA 15). O material combustível vivo herbáceo que havia na área antes da queima também apresentou correlação significativa ($0,49$; $p < 0,01$), indicando maior percentual de espécies herbáceas

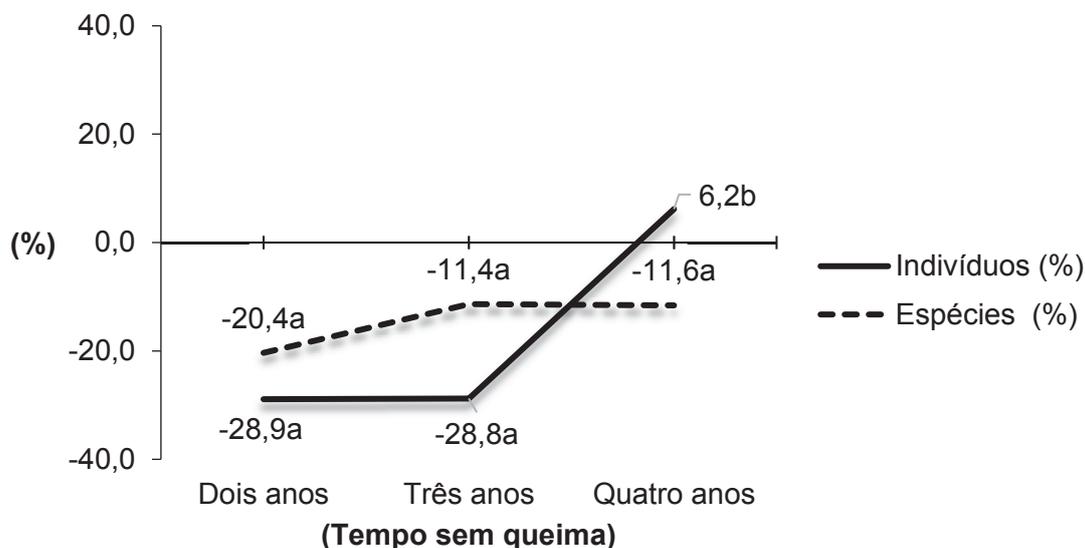
quando as queimas foram conduzidas em áreas com vegetação herbácea com maior conteúdo de água.

Grande parte das espécies herbáceas possuem órgãos de reserva subterrâneos, os xilopódios, rizóforos, raízes tuberosas, rizomas, sóboles e raízes gemíferas, e após a queima são eles que irão subsidiar a rebrota após a perda completa da parte aérea da planta (FIDELIS et al., 2012). Desta forma, a maior severidade do fogo em agosto e setembro deve estar associada aos danos causados aos xilopódios em razão do aquecimento do solo.

Desta forma, observado o comportamento das herbáceas (FIGURA 19), pode-se depreender que as estratégias de manejo do fogo empregadas na EESGT, como verificado em Borges e Barradas (2016), e abordadas no capítulo um deste trabalho, favorecem o retorno da vegetação herbácea ao seu estado pré-queima.

A análise da severidade do fogo sobre as herbáceas, em função do tempo sem queima, mostrou que o período de um ano após as queimas não foi suficiente para subsidiar uma recuperação do número de espécies pré-inventariada na área (FIGURA 20). Além disso, não houve diferença significativa ($p < 0,05$) na redução do número de espécies em áreas com tempos sem queima distintos (dois, três e quatro anos).

FIGURA 20. DIFERENÇA ENTRE OS PERCENTUAIS DE REBROTA DAS HERBÁCEAS EM FUNÇÃO DO TEMPO SEM QUEIMA



FONTE: o autor (2020)

NOTA: -28,9% e -28,8% - redução de indivíduos; 6,2% - incremento de indivíduos; -20,4%, -11,4% e -11,6% - redução de espécies. Médias seguidas de mesma letra pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o critério de agrupamento de médias Scott-Knott (1974), a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Como pode-se observar na TABELA 15, não há correlação significativa entre os percentuais de espécies herbáceas e o tempo sem queima do terreno. A correlação do percentual de espécies herbáceas que rebrotaram se deu com características específicas do combustível, como a umidade do material combustível vivo herbáceo cuja correlação foi de 0,49 ($p < 0,01$).

Para o número de indivíduos herbáceos, foi observada maior severidade do fogo nas queimas realizadas em áreas com dois e três anos sem queimar, aproximadamente -29% em ambos (FIGURA 20). Houve um incremento de 6,2% no número de indivíduos para queimas realizadas em áreas com quatro anos sem queimar (FIGURA 20). Este incremento no número de indivíduos em áreas com quatro anos sem queima pode estar associado à disponibilidade de luz. De um modo geral, em áreas com mais tempo sem queimar, a tendência é que os indivíduos que melhor se desenvolveram exerçam maior sombreamento do solo impedindo que indivíduos menores se desenvolvam plenamente (OVERBECK et al., 2005; MUNHOZ; FELFILI, 2006).

A interação entre os tratamentos empregados (mês de queima vs tempo sem queima) e sua influência sobre a dinâmica do número de indivíduos herbáceos, pode ser verificada por meio dos desdobramentos internos da ANOVA com os dois fatores (TABELA 10).

TABELA 10 - VARIAÇÃO DO PERCENTUAL DE INDIVÍDUOS HERBÁCEOS UM ANO APÓS AS QUEIMAS CONTROLADAS

Mês de queima	Tempo sem queima do terreno (anos)		
	2	3	4
Maio	4,34 Ba	-5,91 Ba	101,53 Cb
Junho	5,22 Ba	21,25 Ba	40,85 Ba
Agosto	-70,55 Aa	-72,79 Aa	-62,18 Aa
Setembro	-54,63 Aa	-57,67 Aa	-55,48 Aa

FONTE: O autor (2020).

NOTA: Valores positivos e negativos representam, respectivamente, o percentual de incremento e redução de indivíduos em relação ao que havia antes da queima. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna ou minúscula na linha pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o critério de agrupamento de médias Scott-Knott (1974), a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Os resultados apresentados na TABELA 10 indicam que a taxa de redução do número de indivíduos herbáceos foi maior e estatisticamente igual nas queimas controladas realizadas nos meses de agosto e setembro, com valores de 54,6 a 72,8% de perdas. Este comportamento foi verificado em todas as áreas, independentemente do tempo sem queima do terreno (dois, três e quatro anos), indicando que o mês de queima (condições meteorológicas) foi determinante para a severidade do fogo sobre o número de indivíduos herbáceos. As queimas realizadas em maio e junho foram as de menor severidade para o número de indivíduos herbáceos, tendo como melhor condição as queimas realizadas em maio em áreas com quatro anos sem queimar, cuja taxa de incremento foi de 101,5%.

A dinâmica das espécies herbáceas em função dos tratamentos empregados (mês de queima vs tempo sem queima) é apresentada por meio dos desdobramentos internos da ANOVA com os dois fatores (TABELA 11).

TABELA 11 - VARIAÇÃO DO PERCENTUAL DE ESPÉCIES HERBÁCEAS UM ANO APÓS AS QUEIMAS CONTROLADAS

Mês de queima	Tempo sem queima (anos)		
	2	3	4
Maio	5,70 Ba	-0,67 Ca	53,75 Bb
Junho	-14,86 Ba	28,20 Cb	-17,74 Aa
Agosto	-44,78 Aa	-54,14 Aa	-47,72 Aa
Setembro	-27,46 Aa	-18,82 Ba	-34,68 Aa

FONTE: O autor (2020).

NOTA: Valores positivos e negativos representam, respectivamente, o percentual de incremento e redução de espécies em relação ao que havia antes da queima. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna ou minúscula na linha pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o critério de agrupamento de médias Scott-Knott (1974), a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Para as espécies herbáceas, nas áreas que foram queimadas com dois anos, as maiores taxas de redução de espécies ocorreram em terrenos queimados em agosto e setembro, 44,8 e 27,5% respectivamente, valores estatisticamente iguais. O mês de maio apresentou incremento de 5,7% e junho perdas de 14,8%, valores considerados estatisticamente iguais ($p < 0,05$).

Nas áreas com 3 anos sem queimar, as maiores taxas de redução de espécies foram verificadas nos terrenos queimados em agosto e setembro, com 54,1 e 18,8% respectivamente, valores diferentes estatisticamente. Os melhores cenários foram observados quando as queimas foram realizadas em maio (perdas de 0,7%) e junho (incremento de 28,2%), cujos valores foram estatisticamente iguais.

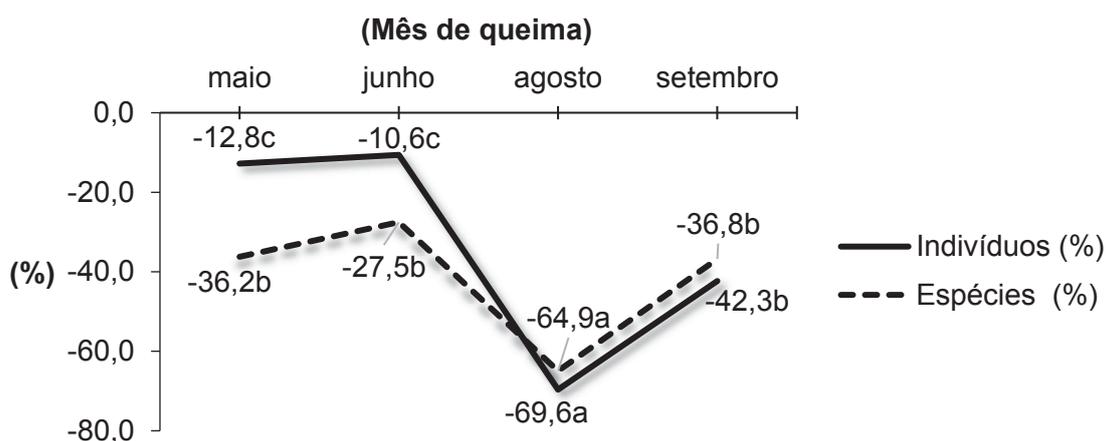
Nas áreas com quatro anos sem queima, as maiores perdas de espécies herbáceas ocorreram nos terrenos queimados em junho, agosto e setembro (17,7; 47,7 e 34,7%, respectivamente), sendo os valores estatisticamente iguais. Os terrenos queimados em maio apresentaram um incremento de 53,7%, sendo, portanto, o melhor cenário observado.

Os resultados apresentados nas TABELAS 10 e 11 demonstram que o mês de realização da queima foi o fator determinante do nível de severidade da queima sobre as herbáceas, tendo como divisor o mês de julho, com queimas de menor severidade antes dele e maior após ele. Por fim, a condição mais favorável observada para as herbáceas foi a queima realizada em maio em áreas com quatro anos sem queimar, onde ocorreu o maior incremento de indivíduos (101,5%) e espécies (53,7%).

4.3.2. Dinâmica de lenhosas após o fogo

A resposta dos indivíduos e espécies lenhosas do estrato de regeneração ao tratamento época/mês de queima está representada na FIGURA 21. Os valores apresentados correspondem aos percentuais do número de indivíduos e espécies que rebrotaram, em comparação com o que havia antes da passagem do fogo. Desta forma, os valores negativos correspondem ao percentual de redução em relação ao que havia antes da queima. Além disso, os percentuais de rebrota em função do mês de queima são comparados por meio do teste de comparação de médias Scott-Knott (1974).

FIGURA 21. DIFERENÇA ENTRE OS PERCENTUAIS DE REBROTA DAS LENHOSAS DO ESTRATO DE REGENERAÇÃO EM FUNÇÃO DO MÊS DE QUEIMA



FONTE: o autor (2020)

NOTA: -12,8%, -10,6%, -69,6% e -42,3% - redução de indivíduos; -36,2%, -27,5%, -64,9% e -36,8% - redução de espécies. Médias seguidas de mesma letra pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o critério de agrupamento de médias Scott-Knott (1974), a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Um ano após as queimas controladas, a vegetação lenhosa do estrato de regeneração não retornou ao estado pré-fogo. Ainda que apresente capacidade de rebrota, as espécies lenhosas tendem a apresentar maior número de indivíduos em áreas com mais tempo sem queimar, de modo que seu processo de recuperação pós-fogo é mais lento que o das herbáceas (FIDELIS et al., 2007).

As áreas queimadas no mês de agosto foram as que apresentaram as maiores perdas nas taxas de número de indivíduos (-69,6%), seguidas pelas queimas em setembro (-42,3%). As áreas que apresentaram maior capacidade de restabelecimento do número de indivíduos foram aquelas cujas queimas foram conduzidas nos meses de maio e junho, com redução de 12,8 e 10,6% respectivamente, valores estatisticamente iguais (FIGURA 21).

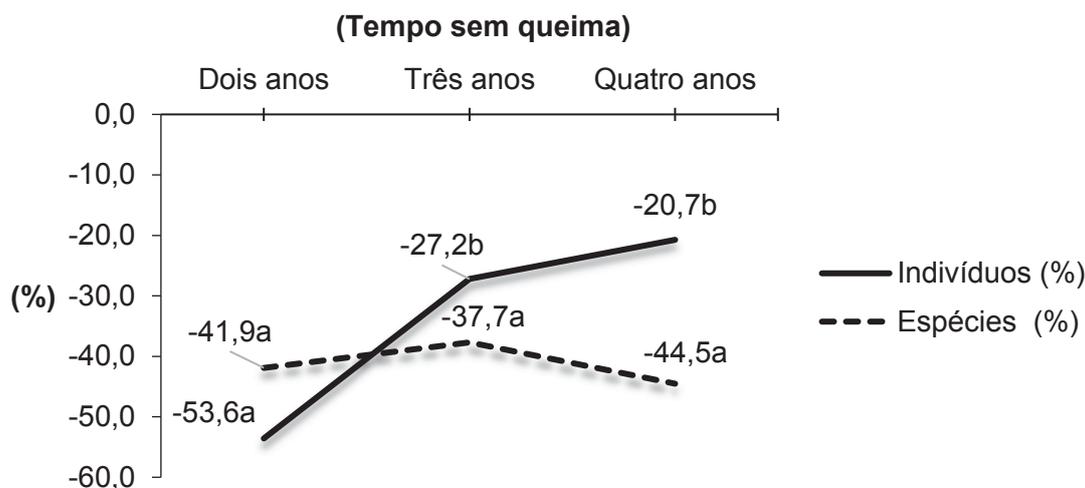
Como foi observado na FIGURA 21 as queimas realizadas em maio e junho permitiram uma recuperação mais rápida do número de indivíduos lenhosos do estrato de regeneração e as conduzidas em agosto e setembro foram mais danosas. Esta associação com as características meteorológicas dos meses de queima foi verificada, também, na análise de correlação (TABELA 15). A correlação com a etapa/mês de queima foi de -0,49 ($p < 0,01$) e com a umidade do ar foi de 0,60 ($p < 0,01$), indicando que quando as queimas foram realizadas nos meses finais da estação seca (menor umidade do ar) o número de indivíduos lenhosos que rebrotaram foi menor que em meses do início da estação seca (maior umidade do ar).

As espécies lenhosas do estrato de regeneração não retornaram ao estágio pré-fogo no prazo de um ano, independentemente do mês de realização das queimas. Os valores das taxas de perdas de espécies foram menores nas áreas queimadas em maio (-36,2%), junho (-27,5%) e setembro (-36,8%), e não diferiram estatisticamente. A queima de agosto foi de maior severidade, com 69,6% de redução de espécies em relação ao estágio pré-fogo.

A temperatura e a umidade do ar foram as variáveis coletadas antes da queima que tiveram maior correlação com os percentuais de rebrota das espécies lenhosas do estrato de regeneração, sendo, respectivamente, -0,36 e 0,34 ($p < 0,05$), indicando maior severidade nas queimas conduzidas em períodos mais quentes e secos (TABELA 15).

A resposta dos indivíduos e espécies lenhosas do estrato de regeneração ao tratamento tempo sem queima do terreno está representado na FIGURA 22, com o teste de agrupamento de médias para identificar a influência do tratamento.

FIGURA 22. VARIACÃO DAS TAXAS DE INDIVÍDUOS E ESPÉCIES LENHOSAS EM FUNÇÃO DO TEMPO SEM QUEIMA DO TERRENO, UM ANO APÓS A PASSAGEM DO FOGO



FONTE: o autor (2020)

NOTA: -53,6%, -27,2% e -20,7% - redução de indivíduos; -41,9%, -37,7% e -44,5% - redução de espécies. Médias seguidas de mesma letra pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o critério de agrupamento de médias Scott-Knott (1974), a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Para os três cenários verificados, dois, três e quatro anos sem queima, não houve reestabelecimento da vegetação ao estado pré-fogo. A taxa de indivíduos apresentou maiores perdas nas áreas com dois anos sem queimar (-53,6%). Entre as áreas sem queimas de três e quatro anos não houve diferença significativa e apresentaram os menores valores de redução, -27,2 e -20,7% respectivamente (FIGURA 22).

A variável tempo sem queima apresentou correlação de 0,40 ($p < 0,01$) com o percentual de indivíduos lenhosos, indicando que em áreas a mais tempo sem queima a severidade do fogo foi maior (TABELA 15). A característica do combustível que apresentou maior correlação com a rebrota dos indivíduos lenhosos foi a umidade do material vivo herbáceo (0,53; $p < 0,01$), indicando que quando o combustível de herbáceas apresentou maior conteúdo de água a recuperação das lenhosas foi mais eficiente (TABELA 15).

As taxas de perdas de espécies não diferiram estatisticamente entre os tempos sem queima, com valores de 41,9% nas áreas de dois anos, 37,7% nas de três anos e 44,5% nas de quatro anos (FIGURA 22). Além disso, as taxas de perdas de espécies não apresentaram correlação significativa com as características do material combustível.

Para melhor compreender a interação entre os tratamentos empregados (mês de queima vs tempo sem queima) e sua influência sobre a dinâmica do número de indivíduos lenhosos do estrato de regeneração, são apresentados os desdobramentos internos da ANOVA com os dois fatores (TABELA 12).

TABELA 12 - VARIACÃO DAS TAXAS DE INDIVÍDUOS LENHOSOS DO ESTRATO DE REGENERAÇÃO UM ANO APÓS AS QUEIMAS CONTROLADAS

Mês de queima	Tempo sem queima do terreno (anos)		
	2	3	4
Maio	-44,42 Ba	-6,40 Bb	12,37 Cb
Junho	-40,86 Ba	3,79 Bb	5,25 Cb
Agosto	-79,30 Aa	-62,89 Aa	-66,76 Aa
Setembro	-49,78 Ba	-43,39 Aa	-33,79 Ba

FONTE: O autor (2020).

NOTA: Valores positivos e negativos representam, respectivamente, o percentual de incremento e redução de indivíduos em relação ao que havia antes da queima. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna ou minúscula na linha pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o critério de agrupamento de médias Scott-Knott (1974), a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Os resultados encontrados demonstraram que nas áreas há dois anos sem queima a severidade do fogo foi maior quando as queimas foram conduzidas no mês de agosto, onde a taxa de redução de indivíduos lenhosos foi de 79,3% um ano após a queima, embora a redução também tenha sido alta nos outros meses em que foi realizada a queima (TABELA 12). Este comportamento específico das áreas há dois anos sem queima permite inferir que este é um ambiente mais sensível ao fogo, mesmo em queimas realizadas no início da estação seca (mês de maio).

Para as áreas há dois anos sem queima não foi verificada correlação significativa das taxas de rebrota das lenhosas com a etapa/mês de queima e a umidade do ar. Contudo, houve correlação de -0,66 ($p < 0,01$) com as taxas de *topkill*, indicando que com o aumento das taxas de *topkill* ocorre uma redução na rebrota das lenhosas do estrato de regeneração (TABELA 13).

TABELA 13 - CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON POR TEMPO SEM QUEIMA, ENTRE O PERCENTUAL DE REBROTA DE LENHOSAS E AS DIVERSAS VARIÁVEIS MENSURADAS

	<i>TOPKILL</i>	ETAPA	UR
LENHOSAS TSQ DE 2 ANOS	-0,66**	-0,29	0,34
LENHOSAS TSQ DE 3 ANOS	-0,10	-0,60*	0,62**
LENHOSAS TSQ DE 4 ANOS	0,00	-0,65**	0,76**

LEGENDA: TSQ – tempo sem queima; ETAPA - mês de queima; UR – umidade relativa do ar.

Nas áreas há três anos sem queima os resultados dos agrupamentos das médias formaram dois grupos. No primeiro grupo verificou-se a menor severidade do fogo, com redução de 6,4% no número de indivíduos lenhosos nas queimas realizadas em maio e um incremento de 3,8% nas de junho, valores iguais estatisticamente. O segundo grupo, o de maior severidade do fogo, composto pelos meses de agosto e setembro apresentou perdas de 62,9 e 43,4%, respectivamente (TABELA 12).

Nas áreas há três anos sem queima foi constatada uma correlação de -0,60 com a etapa ($p < 0,05$) e de 0,62 com umidade do ar ($p < 0,01$), indicando que nos meses mais secos do ano, agosto e setembro, o fogo tende a ser mais danoso em áreas há três anos sem queimar (TABELA 13).

As áreas há quatro anos sem queima, bem como as de três anos, apresentaram menor severidade para as queimas conduzidas nos meses de maio e junho, cenário que propiciou plena recuperação do número de indivíduos pré-fogo, sendo observados incrementos de 12,4 e 5,2%, respectivamente. O mês de agosto foi o que apresentou maior severidade, 66,8% de redução no número de indivíduos, seguido pelo mês de setembro, com 33,8% de redução (TABELA 12).

Nas áreas há quatro anos sem queimar a correlação das rebrotas das lenhosas foi de -0,65 com a etapa de queima ($p < 0,01$) e de 0,70 com umidade do ar ($p < 0,01$), indicando que a severidade está fortemente associada às condições meteorológicas, com aumento da severidade do fogo nas queimas realizadas em meses mais secos do ano (TABELA 13).

A dinâmica das espécies lenhosas do estrato de regeneração em função dos tratamentos empregados (mês de queima vs tempo sem queima) é apresentada por meio dos desdobramentos internos da ANOVA com os dois fatores (TABELA 14).

TABELA 14 - VARIAÇÃO DAS TAXAS DE ESPÉCIES LENHOSAS DO ESTRATO DE REGENERAÇÃO UM ANO APÓS AS QUEIMAS COTROLADAS

Mês de queima	Tempo sem queima (anos)		
	2	3	4
Maio	-47,56 Aa	-29,28 Ba	-31,88 Ba
Junho	-37,93 Aa	-11,46 Ba	-33,19 Ba
Agosto	-62,38 Aa	-63,34 Aa	-69,11 Aa
Setembro	-19,74 Aa	-46,71 Aa	-43,94 Ba

FONTE: O autor (2020).

NOTA: Valores positivos e negativos representam, respectivamente, o percentual de incremento e redução de espécies em relação ao que havia antes da queima. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna ou minúscula na linha pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o critério de agrupamento de médias Scott-Knott (1974), a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Ao contrário do observado para número de indivíduos lenhosos (TABELA 12), em nenhum dos tratamentos empregados neste estudo observou-se retorno aos valores pré-queima para número de espécies lenhosas (TABELA 14).

Nas áreas há dois anos sem queima não houve diferença significativa das taxas de redução de espécies entre os meses de maio, junho, agosto e setembro.

Em áreas há três anos sem queima, as taxas de redução de espécies nas queimas realizadas em maio e junho não apresentaram diferença significativa e foram as queimas de menor severidade, com redução de 29,3 e 11,5%, respectivamente. As maiores taxas de redução de espécies foram observadas nos meses de agosto (63,3%) e setembro (46,7%) e não diferiram estatisticamente entre si.

Para áreas há quatro anos sem queima, a maior severidade foi observada nas queimas conduzidas em agosto, com 69,1% de redução de espécies lenhosas. Para os demais meses não houve diferença significativa entre as taxas de redução de espécies, com taxas de 31,9 a 43,9%.

4.3.3. Variáveis que se correlacionam com a recuperação da vegetação herbácea e lenhosa do estrato de regeneração

A seguir são apresentadas algumas variáveis mensuradas durante o desenvolvimento desta pesquisa e que em algum grau possuem uma interação

com as taxas de incremento ou perdas da vegetação herbácea e lenhosa do estrato de regeneração (TABELA 15).

TABELA 15 - CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON DE HERBÁCEAS E LENHOSAS DO ESTRATO DE REGENERAÇÃO COM ALGUMAS VARIÁVEIS MENSURADAS DURANTE A PESQUISA

	E_LENH	E_HERB	N_LENH	N_HERB
DMRC	-0,24	-0,19	-0,23	-0,45 **
HH	-0,42 **	-0,68 **	-0,66 **	-0,76 **
UMVH	0,24	0,49 **	0,53 **	0,51 **
UMV07	0,03	0,33 *	0,34 *	0,45 **
T	-0,36 *	-0,27	-0,33 *	-0,35 *
UR	0,34 *	0,58 **	0,60 **	0,66 **
ETP	-0,20	-0,58 **	-0,49 **	-0,68 **
TSQ	-0,07	0,08	0,40 **	0,24

FONTE: O autor (2020).

LEGENDA: **corresponde a 1% de significância; *corresponde a 5% de significância; DMRC – diâmetro mínimo dos ramos carbonizados; HH – altura das herbáceas um ano após o fogo; UMVH – umidade do material combustível vivo herbáceo; UMV07 – umidade do material combustível vivo com diâmetro inferior a 0,7 cm; T – temperatura do ar; UR – umidade relativa do ar; ETP – mês de realização das queimas controladas; TSQ – tempo sem queima do terreno; E_LENH – variação do número de espécies lenhosas um ano após a queima; E_HERB - variação do número de espécies herbáceas um ano após a queima; N_LENH - variação do número de indivíduos lenhosos um ano após a queima; N_HERB - variação do número de indivíduos herbáceos um ano após a queima.

Entre as variáveis mensuradas, a umidade relativa do ar registrada no momento da queima, é a que possui maior potencial preditivo e indicador da severidade do fogo sobre as herbáceas e as lenhosas do estrato de regeneração. Para espécies lenhosas a temperatura do ar apresentou correlação de -0,36 ($p < 0,05$) e a umidade relativa do ar 0,34 ($p < 0,05$), contudo, para espécies herbáceas, número de herbáceas e número de lenhosas a variável pré-fogo de maior correlação foi sempre a umidade relativa do ar com 0,58, 0,66 e 0,6 ($p < 0,01$) respectivamente (TABELA 15). Deste modo, verifica-se que queimas conduzidas em épocas em que a umidade relativa do ar é menor tendem a retardar a recuperação do ambiente ao seu estado pré-queima.

Deve-se ressaltar que, mesmo em casos onde o tratamento “etapa de queima” apresente maior correlação é preferível dar maior atenção às variáveis meteorológicas, tendo em vista que o tratamento “época de queima” é uma busca de representar as condições meteorológicas do local. Dessa forma, a

umidade relativa do ar apresenta-se como um importante indicador da severidade do fogo sobre as herbáceas e lenhosas do estrato de regeneração.

A segunda variável de maior relevância como indicador de severidade de herbáceas e lenhosas do estrato de regeneração foi a umidade do material combustível vivo herbáceo. Embora não tenha apresentado correlação significativa com a dinâmica de espécies lenhosas, apresentou correlação significativa a 1% de probabilidade com as espécies herbáceas (0,49), número de herbáceas (0,51) e número de lenhosas (0,53), indicando que nas queimas conduzidas em ambientes onde as herbáceas possuem maior conteúdo de água a recuperação da vegetação foi mais promissora (TABELA 15).

A variável diâmetro mínimo dos ramos carbonizados (DMRC), abordada do capítulo 3 desta tese, apresentou correlação de -0,45 ($p < 0,01$) com o número de herbáceas. Este resultado indica que nos terrenos onde o diâmetro dos ramos carbonizados foi maior, a restauração do número de indivíduos herbáceos foi mais lenta. Contudo, para as lenhosas e as espécies de herbáceas, não foi verificada correlação significativa (TABELA 15).

A altura das herbáceas um ano após o fogo foi a variável que apresentou maior correlação com a recuperação das espécies lenhosas (-0,42), espécies herbáceas (-0,68), número de lenhosas (-0,66) e número de herbáceas (-0,76), indicando que quanto maior a altura das herbáceas rebrotadas mais eficiente está sendo a recuperação do ambiente ao seu estado pré-fogo (TABELA 15). Desta forma, embora a altura das herbáceas um ano após o fogo não seja uma variável preditiva, ela pode ser utilizada como um indicador de severidade pós-queima.

4.4. CONCLUSÕES

De um modo geral quando o fogo incide sobre a vegetação herbácea na região da EESGT em meses mais secos (agosto e setembro), esta vegetação apresenta maior dificuldade de regressar ao seu estado pré-fogo, seja para número de espécies ou para número de indivíduos. A condição ideal para realização de uma queima que beneficie as herbáceas deve ocorrer no mês de maio, em áreas há quatro anos sem queimar.

A maior severidade do fogo para os indivíduos lenhosos do estrato de regeneração ocorre quando as queimas são conduzidas nos meses mais secos (agosto e setembro), enquanto as queimas conduzidas em agosto são as que mais retardaram a recuperação do número de indivíduos e espécies de lenhosas. As melhores condições para realização de uma queima que favoreça a recuperação do número de indivíduos lenhosos foram observadas em maio e junho em áreas há três ou quatro anos sem queimar.

A umidade relativa do ar, registrada imediatamente antes de iniciar uma queima controlada, é um forte indicador da severidade do fogo sobre a vegetação herbácea e as lenhosas do estrato de regeneração. Da mesma forma, a altura das herbáceas um ano após a passagem do fogo é um forte indicador da severidade que acometeu aquele ambiente.

REFERÊNCIAS

- BOND, W. J.; MIDGLEY, G. F.; WOODWARD, F. I. The importance of low atmospheric CO₂ and fire in promoting the spread of grasslands and savannas. **Global Change Biology**, v. 9, n. 7, p. 973-982, 2003. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00577.x>
- BORGES, M. A.; BARRADAS, C. **Gestão do fogo na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. Rio da Conceição: ICMBio, 2016. 67 Slides. Relatório técnico. Disponível em: http://www.cemaf.org/smif/images/apresentacoes/04_Borges_e_Barradas.pdf >. Acesso em: out. 2019
- CHUVIECO, E., LIZUNDIA-LOIOLA, J., PETTINARI, M. L., RAMO, R., PADILLA, M., TANSEY, K., MOUILLOT, F., LAURENT, P., STORM, T. HEIL, A., PLUMMER, S. Generation and analysis of a new global burned area product based on MODIS 250 m reflectance bands and thermal anomalies. **Earth System Science Data**, v. 10, n. 4, p. 2015-2031, 2018. Disponível em: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers18-11/010074408.pdf. Acesso em: out. 2019.
- COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: GOLDHAMMER, J. G. (Ed.). **Fire in the Tropical Biota**. Springer, Berlin, 1990. pp. 82–105. https://doi.org/10.1007/978-3-642-75395-4_6. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-75395-4.pdf>. Acesso em: out. 2018.
- DIAS, B. F. S. Cerrados: uma caracterização. In: DIAS, B. F. S. **Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis**. Brasília: Fundação Pró-Natureza, p. 11–25, 1992.
- FIDELIS, A.; BLANCO, C. C.; MÜLLER, S. C.; PILLAR, V. D.; PFADENHAUER, J. Short-term changes caused by fire and mowing in Brazilian Campos grasslands with different long-term fire histories. **Journal of Vegetation Science**, v. 23, n. 3, p. 552-562, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2011.01364.x>
- FIDELIS, A.; MÜLLER, S. C.; PILLAR, V. D.; PFADENHAUER, J. Efeito do fogo na ecologia de populações de herbáceas e arbustos dos campos sulinos. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. S1, p. 303-305, 2007. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/325/282>. Acesso em: out. 2019.
- FUHLENDORF, S. D.; LIMB, R. F.; ENGLE, D. M.; MILLER, R. F. Assessment of prescribed fire as a conservation practice. In: BRISKE, D. D. **Conservation benefits of rangeland practices: assessment, recommendations, and knowledge gaps**. Washington: US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2011. p. 75-104. Disponível em:

<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/technical/nra/ceap/?=&cid=stelprdb1045811>. Acesso em: out. 2019.

GANASSOLI, E. **Comportamento do fogo em área de savana na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Conservação da Natureza, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2019. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/39602/recent-submissions>. Acesso em: out. 2019.

GFED. GLOBAL FIRE EMISSIONS DATABASE. 2019. Disponível em: <https://www.globalfiredata.org/index.html>, acesso em: mar./ 2019.

KILGORE, B. M. Fire in ecosystem distribution and structure: western forests and scrublands. In: MOONEY, H. A.; BONNICKSEN, T. M.; CHRISTENSEN, N. L. (tech.cord). **Proceedings of the Conference: Fire Regimes and Ecosystem Properties**, USDA Forest Service, General Technical Report WO-GTR-26. Logan, p. 58-89, 1981. Disponível em: <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1077&context=bark-beetles>. Acesso em: out. 2018.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de manejo: Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), 2014. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/cerrado/unidades-de-conservacao-cerrado/2068-esec-serra-geral-do-tocantins>. Acesso em: out. 2018.

MUNHOZ, C. B. R.; FELFILI, J. M. Fitossociologia do estrato herbáceo-subarbustivo de uma área de campo sujo no Distrito Federal, Brasil. **Acta botânica brasílica**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 671-685, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000300017>

MYERS, N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, Londres, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000. <https://doi.org/10.1038/35002501>

OVERBECK, G.; MÜLLER, S. C.; PILLAR, V. D.; PFADENHAUER, J. Fine-scale post-fire dynamics in southern Brazilian subtropical grasslands. **Journal of Vegetation Science**, v. 16, n. 6, p. 655-664, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2005.tb02408.x>

PIVELLO, V. R. Fire management for biological conservation in the Brazilian Cerrado. In: MISTRY, J.; BERARDI, A. (Ed.) **Savanas and dry forests - linking people with nature**. [S.l.: s.n.], 2006. p. 129-154. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=NpGf-10VG-IC&oi=fnd&pg=PR10&dq=Savanas+and+dry+forests+-linking+people+with+nature&ots=Xppmolhql-&sig=-QRilvKpNi9jPV8W7EHvJ33Pirw#v=onepage&q=Savanas%20and%20dry%20fo>

rests%20-%20linking%20people%20with%20nature&f=false. Acesso em: out. 2018.

PYNE, S. J. Forged in fire: history, land, and anthropogenic fire. In: BALÉE, W. **Advances in historical ecology**. New York: Columbia University Press, 1998. p. 62-103. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=PuadAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=Advances+in+historical+ecology&ots=nD8Drhm45m&sig=mpTuJ886wAnhlbQK0nr9n5ITZkQ#v=onepage&q=Advances%20in%20historical%20ecology&f=false>. Acesso em: out. 2018.

SANTOS, M. M. **Caracterização e modelagem do material combustível de cerrado campestre na região do Jalapão – Tocantins, Brasil**. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Conservação da Natureza, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2019. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/39602/recent-submissions>. Acesso em: out. 2019.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, p. 507-512, 1974.

SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. Biogeographic Patterns and conservation in the South American Cerrado: a Tropical Savanna Hotspot. **BioScience**, Oxford, v. 52, n. 3, p. 225-234, 2002. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0225:BPACIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0225:BPACIT]2.0.CO;2)

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

CAPÍTULO 5

5. PADRÕES DE REBROTA DA VEGETAÇÃO ARBÓREA DEVIDO A SEVERIDADE DO FOGO NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS

RESUMO

A vasta diversidade vegetal e constante presença de fogo torna a região do Jalapão estratégica no desenvolvimento de estudos de severidade do fogo. O objetivo deste estudo foi determinar a influência do tempo sem queima do terreno e do mês de realização da queima sobre os padrões de rebrota da vegetação arbórea na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT). O delineamento do trabalho foi composto por quatro blocos casualizados (parcelas de 452,4 m²), sendo avaliado o tempo sem queima (áreas há dois, três e quatro anos sem ocorrência de queimas) e mês de queima (maio, junho, agosto e setembro). No total foram estabelecidas 48 parcelas, onde foram inventariados todos os indivíduos arbóreos, com diâmetro ≥ 1 cm na base do tronco, antes da passagem do fogo e um ano após a passagem do fogo. Para caracterização das variáveis dendrométricas foram confeccionados gráficos de distribuição de frequência para altura e diâmetro dos indivíduos inventariados. Para determinação do nível de associação entre as diversas variáveis coletadas e os padrões de rebrota da vegetação arbórea foi realizada uma análise de correlação linear de Pearson. Foram gerados modelos de regressão, tendo como variáveis dependentes as taxas de rebrota aérea e as taxas de rebrota basal das arbóreas. O método utilizado para o ajuste das equações de regressão lineares foi o de Stepwise. Desta forma, foi constatado que quanto maior a altura, o diâmetro do caule e a espessura do ritidoma dos indivíduos arbóreos, maior foi a capacidade resiliência à ação do fogo. Indivíduos a partir de 2 m de altura, com diâmetro à altura da base (DAB) maior que 4 cm e espessura do ritidoma maior que 0,5 cm tendem a não perder a parte aérea após uma queima. Por sua vez, a taxa de mortalidade foi maior em indivíduos mais desenvolvidos, de 2 a 3 m de altura, com diâmetro de 7 a 10 cm e com espessura do ritidoma de 1 a 1,5 cm. As queimas realizadas nos meses mais secos foram mais severas com maiores taxas de rebrota basal e as queimas no início da temporada seca apresentaram maiores taxas de rebrota aérea. A mortalidade das arbóreas não foi influenciada pela época de queima. O aumento do tempo sem queima aumentou as taxas de rebrota basal, enquanto em áreas queimadas a menos tempo houve um aumento das taxas de rebrota aérea. A mortalidade dos indivíduos não apresentou mudança em função do tempo sem queima. A variável que melhor explicou as taxas de rebrota aérea e basal foi a umidade relativa do ar. A taxa de mortalidade não variou significativamente entre os tratamentos empregados. Foi possível ajustar dois modelos para estimativa de rebrota aérea, um tendo como variáveis independentes a umidade relativa do ar e o combustível morto herbáceo, e o outro utilizando como variáveis independentes a umidade relativa do ar e a altura de chama. O modelo que apresentou o melhor ajuste para estimativa de rebrota basal teve a umidade relativa do ar como variável independente.

Palavras-chave: queima controlada, armadilha de fogo, manejo do fogo.

5.1. INTRODUÇÃO

O fogo tem desempenhado um papel fundamental na formação da maioria dos ecossistemas savânicos no mundo (KILGORE, 1981; COUTINHO, 1990; BOND et al., 2003). Em decorrência de ações antrópicas os regimes naturais de queima foram alterados ao longo da história (PYNE, 1998; FUHLENDORF et al., 2011).

Em diversas savanas pelo mundo as alterações nos regimes de queima têm conduzido o componente arbóreo a um estado de incapacidade de regeneração dos indivíduos. Algumas pesquisas têm aplicado um conceito chamado de *fire-trape* (armadilha de fogo) para descrever o fenômeno, segundo o qual, a grosso modo, os indivíduos arbóreos permanecem em um estágio constante de perda recorrente de sua parte aérea em razão de incêndios florestais (WAKELING et al., 2011; BOND et al., 2012; HOFFMANN et al., 2012 e 2019; FREEMAN et al., 2017; NGUYEN et al., 2019).

Os fatores que são determinantes para compreensão da dinâmica das relações da armadilha de fogo parecem estar majoritariamente associados à severidade do fogo e à frequência de queima das áreas (REBERTUS et al., 1993; HIGGINS et al., 2000).

Portanto, considerando que estes ambientes são ecossistemas dependentes de fogo, o resgate de regimes históricos de incêndio é de fundamental importância quando o objetivo do gerenciamento é restaurar ou manter as comunidades naturais (PYNE, 1998; FUHLENDORF et al., 2011).

A restauração ou manutenção de ambientes dependentes do fogo pode ser realizada com o controle da frequência de queima e do comportamento do fogo por meio das queimas controladas (FUHLENDORF et al., 2011). A queima controlada consiste da aplicação do fogo em um local sob determinadas condições meteorológicas, de umidade dos combustíveis e umidade do solo, de tal forma que o fogo seja confinado a uma área pré-determinada e produza a intensidade e a taxa de propagação necessária para se alcançar certos objetivos do manejo da vegetação (SOARES et al., 2017).

Neste sentido, a realização de queimas controladas tem se apresentado como ferramenta eficaz nas estratégias de prevenção contra incêndios florestais e manejo ecológico em todo o mundo e as savanas são os principais ambientes

onde esta prática vem sendo realizada (HOUESHELL, 2011; SOW et al., 2013; KELLY et al., 2015; SCHMIDT et al., 2016).

Em unidades de conservação do Cerrado brasileiro têm sido conduzidas queimas controladas a fim de manejar os regimes de queima destes ambientes, controlando a frequência de queima e o comportamento do fogo, tanto como estratégia de prevenção contra incêndios, como ferramenta de manejo ecológico (SCHMIDT et al., 2016; GANASSOLI, 2019).

Dada a crescente difusão das estratégias de manejo do fogo, naturalmente, são suscitados questionamentos acerca dos efeitos sobre a regeneração da vegetação, e tem sido um grande desafio estimar as alterações nas densidades de árvores causadas pelas variações do comportamento do fogo para o gerenciamento das savanas no mundo (HOFFMANN et al., 2020).

Neste sentido, compreender os atributos que conferem resiliência da vegetação ao poder do fogo, verificar a eficiência das estratégias de manejo do fogo no Cerrado e desenvolver ferramentas capazes de estimar danos e benefícios é fundamental para a conservação dos ambientes dependentes do fogo.

5.1.1. Hipóteses

Este estudo considerou as seguintes hipóteses:

O fogo que atinge a vegetação na EESGT nos meses de maior estiagem e nas áreas com mais material combustível, causam a mortalidade da parte aérea das arbóreas exigindo que elas rebrotem desde a base do tronco ou do sistema radicular.

Algumas características anatômicas dos indivíduos como a altura, diâmetro do tronco e espessura do ritidoma são fatores determinantes para a sobrevivência da parte aérea das plantas lenhosas do Cerrado na EESGT.

É possível estimar as taxas de rebrota aérea, basal e mortalidade dos indivíduos submetidos a variados tratamentos de fogo.

5.1.2. Objetivo geral

Determinar a influência do tempo sem queima e do mês de realização da queima sobre os padrões de rebrota da vegetação arbórea na EESGT.

5.1.3. Objetivos específicos

Identificar as classes de indivíduos mais vulneráveis e mais resistentes à ação do fogo na vegetação da EESGT, com base na sua respectiva altura, diâmetro do tronco e espessura da casca.

Determinar o impacto do fogo sobre os padrões de rebrota e mortalidade da vegetação arbórea em função do período de realização da queima.

Determinar o impacto do fogo sobre os padrões de rebrota e mortalidade da vegetação arbórea em função do tempo sem queima.

Estimar as taxas de rebrota da vegetação arbórea.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

No período de maio a setembro de 2017 foram realizados experimentos com queima controlada na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins com a colaboração dos gestores e das brigadas de combate a incêndios florestais da unidade de conservação.

Tendo em vista que a unidade de conservação tem como um de seus métodos de prevenção contra incêndios florestais a realização de queimas controladas, para redução de material combustível e manejo ecológico dos ecossistemas; as queimas que fundamentaram esta pesquisa, referente aos meses de maio e junho, foram realizadas acompanhando as operações ordinárias da brigada do ICMBio, a fim de avaliar a severidade do fogo dessas queimas controladas e compará-las com queimas que simularam condições de incêndios na região.

No período do ano com maior perigo de incêndio, em que não há manejo de áreas com o uso do fogo, foi realizado um mapeamento para identificação de “ilhas” onde o fogo não havia queimado e que se encontravam cercadas por área queimada, portanto, não ofereciam risco de causar um eventual incêndio na unidade de conservação. Nessas áreas foram realizadas as queimas experimentais referentes aos meses de agosto e setembro, com o objetivo de simular os incêndios que ocorrem nesse período.

Ao todo na unidade de conservação, foram alocadas 48 parcelas, tendo como referência o tempo que a área teve para acumular combustível, sendo identificadas áreas há dois, três e quatro anos sem queimar. O mapeamento do histórico de queima dessas áreas foi realizado a partir de imagens de satélite pela própria equipe de gestão da EESGT.

Os motivos pelos quais não foi conduzido experimento de severidade do fogo em áreas há um ano sem queimar ou mais que quatro anos são os seguintes: foram realizados testes em áreas com um ano desde a última queima e verificou-se que este tempo não é suficiente para haver uma recuperação da biomassa que possa propiciar propagação do fogo (GANASSOLI, 2019). Como a EESGT é uma das unidades de conservação pioneiras em manejo de combustível com uso do fogo, existem poucas áreas com acúmulo de

combustível de mais de quatro anos, o que dificultaria o estabelecimento do delineamento experimental desejado por esta pesquisa.

Dessa forma, o delineamento do trabalho foi composto por quatro blocos casualizados (parcelas de 452,4 m²), no qual se avaliou o tempo sem queima (áreas com dois, três e quatro anos sem ocorrência de incêndios ou queima) e as épocas de realização das queimas (maio, junho, agosto e setembro).

Em cada uma das parcelas, antes da queima e um ano após as queimas, foi realizado um inventário dos indivíduos arbóreos com diâmetro igual ou superior a 1 cm medido na base do tronco. Foram medidos o diâmetro do tronco, a altura total e a espessura do ritidoma de cada indivíduo.

Um ano após as queimas controladas, os indivíduos foram novamente inventariados para constatação do grau de severidade sofrido. Para isso, foram considerados três níveis de severidade (FIGURA 23).

FIGURA 23. NÍVEIS DE SEVERIDADE DO FOGO CONSIDERADO A PARTIR DO TIPO DE REBROTA OU MORTE DA ÁRVORE

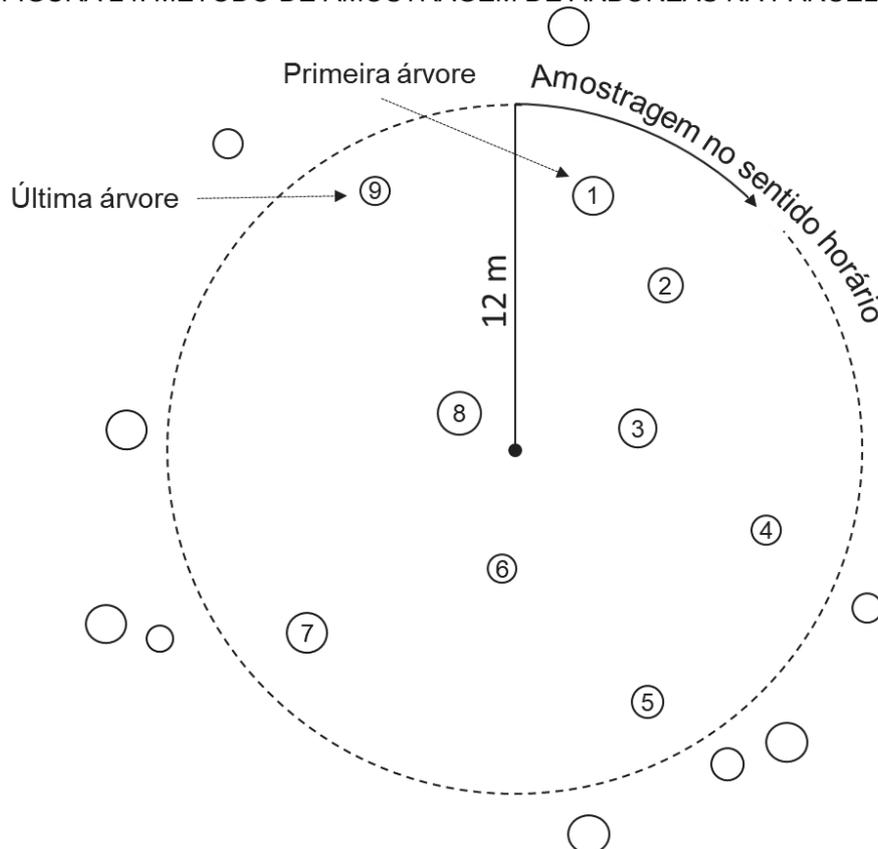


Foi utilizado como critério de seleção a definição de “arbóreo” proposta pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação, que considera “arbóreos” todos os indivíduos lenhosos perenes com um único caule principal ou que possuam mais de um caule, mas que apresentem copa mais ou menos definida (FAO, 2018).

As parcelas do inventário possuíam forma circular com raio de 12 m, seu centro era marcado com uma haste de ferro de 1,5 m de comprimento e a

localização era determinada com um aparelho de GPS. Para sistematização do inventário, foi utilizado o método proposto por Keane (2006), onde se convencionou iniciar a medição sempre na primeira árvore a partir de um azimute de 0° norte e com uma trena fixada no eixo central da parcela circular movia-se a trena no sentido horário dando sequência na coleta de dados dos indivíduos que tocavam a trena (FIGURA 24).

FIGURA 24. MÉTODO DE AMOSTRAGEM DE ARBÓREAS NA PARCELA



FONTE: Adaptado de Keane (2006)

Para cada indivíduo foram aferidos:

- (i) altura total, medindo-se a partir do solo até o ponto mais alto da copa com uma trena;
- (ii) circunferência a altura da base (CAB), a 10 cm do solo;
- (iii) diâmetro do ritidoma a 10 cm do solo (FIGURA 25).

FIGURA 25. MEDIDA DA ESPESSURA DO RITIDOMA COM PAQUÍMETRO



FONTE: o autor (2020)

Foi determinada a área basal da vegetação com base nas equações (1) e (2).

$$g = \frac{\pi d^2}{40.000} \quad (1)$$

onde:

g = área transversal (m^2)

d = diâmetro considerado (cm)

$\pi = 3,1415\dots$

$$G = \sum_{i=1}^n g_i \quad (2)$$

onde:

G = área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$)

g_i = área transversal da árvore i (m^2)

n = número de árvores consideradas

5.2.1. Análise estatística dos dados

Para caracterização das variáveis dendrométricas foram confeccionados, no *software* Microsoft Excel 2016, gráficos de distribuição de frequência para altura e diâmetro dos indivíduos inventariados.

Para verificar a correlação entre as diversas variáveis coletadas e os padrões de rebrota da vegetação arbórea foi empregado coeficiente de correlação linear de Pearson a 1 e 5% de significância.

Com base nas variáveis de maior correlação, observada a partir da matriz de correlação de Pearson, procedeu-se com os ajustes das equações de regressão para estimativa da rebrota dos indivíduos.

O método utilizado para o ajuste das equações de regressão lineares foi o de *Stepwise*. As melhores equações foram escolhidas, tendo-se como base a análise dos maiores valores dos coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}). Além disso, para a escolha dos melhores modelos considerou-se também os menores valores do erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$), e através da análise gráfica dos resíduos.

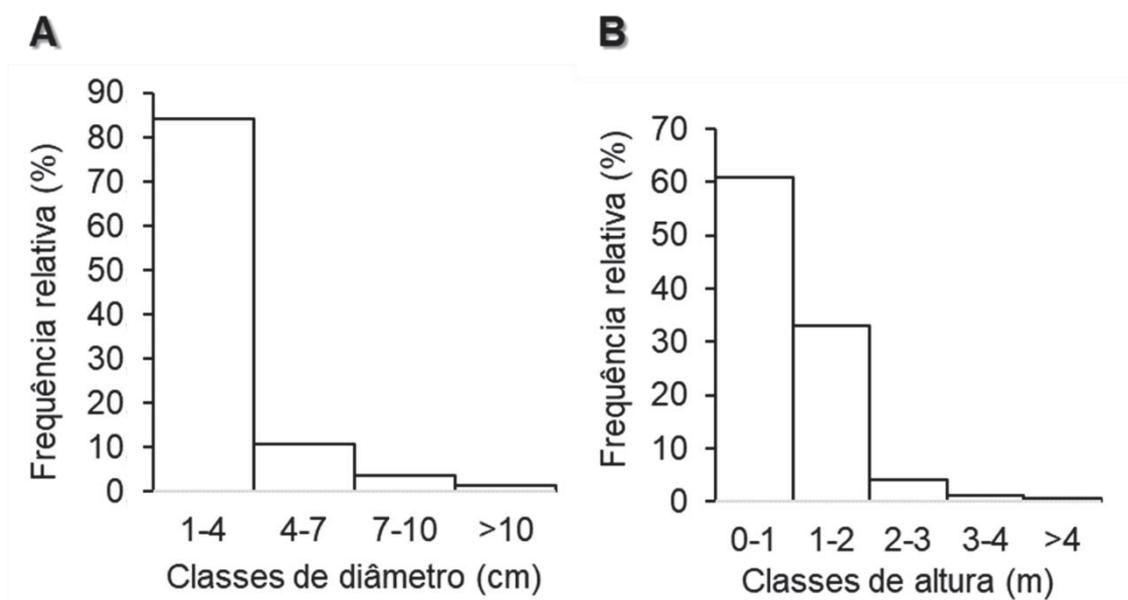
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1. Características anatômicas dos indivíduos e influência nos padrões de rebrota

Na amostragem da vegetação lenhosa da EESGT, foram contabilizados 2.403 indivíduos, que apresentaram uma área basal de $3,45 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ e altura média de 1 m.

A distribuição diamétrica dos indivíduos inventariados mostrou que a maior parte deles (84,1%) pertence à classe de 1,0 a 4,0 cm (FIGURA 26A) e na distribuição de altura verificou-se que 60,8% têm até 1,0 m e 33% possui de 1,0 a 2,0 m de altura (FIGURA 26B).

FIGURA 26. FREQUÊNCIA RELATIVA DE DIÂMETRO (A) E ALTURA (B) DA VEGETAÇÃO ARBÓREA INVENTARIADA NA EESGT



FONTE: o autor (2020)

Diversos autores têm relatado a existência de uma relação entre a altura da árvore e o diâmetro do tronco com sua resiliência ao fogo (e.g. DANTAS; PAUSAS, 2013; MASSI; FRANCO, 2016; HOFFMANN et al., 2020). Neste estudo, buscou-se compreender como se dá essa relação na vegetação de Cerrado na EESGT, acrescentando ao estudo o fator espessura do ritidoma do tronco. Para Dantas e Pausas (2013), o ritidoma das árvores funciona como um

mecanismo de proteção, que dificulta a transferência de calor do fogo para os tecidos responsáveis pelo carreamento de nutrientes na planta.

Nesse sentido, a matriz de correlação (TABELA 16) demonstra a interação entre a espessura do ritidoma, o diâmetro do tronco e a altura da árvore, com a severidade do fogo sobre as árvores um ano após as queimas. Na análise estatística, a severidade está quantificada em três níveis: 1 (rebrotar aérea), 2 (rebrotar basal) e 3 (morte da árvore).

TABELA 16 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PERSON ENTRE O NÍVEL DE SEVERIDADE SOBRE AS ÁRVORES (1, 2 E 3) E CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DOS INDIVÍDUOS

	DAB	Altura	Ritidoma	Severidade
DAB	1			
Altura	0,81**	1		
Ritidoma	0,78**	0,59**	1	
Severidade	-0,54**	-0,43**	-0,52**	1

FONTE: O autor (2020).

LEGENDA: ** a correlação é significativa ao nível de 1% de probabilidade; DAB: diâmetro a altura da base.

Na matriz de correlação é possível observar (TABELA 16) que existe uma correlação moderada entre DAB e a severidade (-0,54), altura e severidade (-0,43), bem como o ritidoma e a severidade (-0,52). A correlação mostra que os danos causados pelo fogo ao vegetal são reduzidos à medida que o DAB, a altura e o ritidoma aumentam seus valores. Estas relações de dependência da severidade do fogo sobre as árvores do Cerrado Campestre, com as variáveis dendrométricas apresentam-se como uma tendência geral, contudo, existem singularidades comportamentais de determinadas espécies que devem ser mais bem compreendidas. Um exemplo desta especificidade pode ser visto em Massi e Franco (2016) que compararam três espécies de grande abundância no Cerrado e concluíram que existem diferenças significativas nas correlações entre variáveis dendrométricas e o tipo de rebrotar destas espécies.

Considerando que a taxa de mortalidade dos indivíduos foi baixa e não apresentou uma tendência de aumento ou diminuição em função dos tratamentos empregados (FIGURAS 27 e 28), a matriz de correlação da TABELA 17 apresenta a interação do DAB, altura e ritidoma dos indivíduos, com a severidade sem considerar a mortalidade. Desta forma a valoração da

severidade foi composta por dois níveis, sendo 1 (rebrotar aérea) e 2 (rebrotar basal). Assim, observa-se que ocorreu um aumento nas correlações com a severidade, indicando que o DAB, altura e ritidoma são mais determinantes nas taxas de rebrotar aérea e basal do que na mortalidade dos indivíduos.

TABELA 17 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PERSON ENTRE A SEVERIDADE (REBROTA AÉREA E BASAL) E CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DOS INDIVÍDUOS

	DAB	Altura	Ritidoma	Rebrota
DAB	1			
Altura	0,81**	1		
Ritidoma	0,78**	0,59**	1	
Rebrota	-0,64**	-0,50**	-0,60**	1

FONTE: O autor (2020).

LEGENDA: ** a correlação é significativa ao nível de 1% de probabilidade; DAB: diâmetro a altura da base.

A segmentação por classes de altura dos padrões de rebrotar da vegetação, um ano após o fogo (TABELA 18), oferece uma visualização mais específica da severidade do fogo, permitindo compreender a vulnerabilidade e resiliência dos indivíduos por classes específicas de tamanho. Neste sentido, foi verificado que os indivíduos com até um metro de altura são pouco resistentes ao fogo e em 90,8% dos casos tiveram perda da parte aérea, necessitando rebrotar desde as raízes ou da base do tronco. Os indivíduos da segunda classe de altura (1 a 2 m) possuem maior resistência às ações nocivas do fogo e passaram de 7,5 para 27,4% de rebrotar aérea. O maior salto de resiliência ao fogo ocorreu da classe de 1 a 2 m para 2 a 3 m, onde se observou que a rebrotar aérea vai de 27,4 para 78,4% e a rebrotar basal cai de 69,8 para 17,7%, entretanto, foi verificado que essa classe possui o maior percentual de mortalidade (3,9%).

TABELA 18 - PADRÕES DE REBROTA DOS INDIVÍDUOS EM FUNÇÃO DE SUA ALTURA

Classes de altura (m)	Nº indivíduos			FR (%)		
	A	B	S	A	B	S
0 - 1	109	1327	25	7,5	90,8	1,7
1 - 2	218	554	22	27,4	69,8	2,8
2 - 3	80	18	4	78,4	17,7	3,9
3 - 4	26	4	1	83,9	12,9	3,2
> 4	14	1	0	93,3	6,7	0,0

FONTE: O autor (2020).

LEGENDA: Tipos de rebrota: A - aérea; B - basal; S - sem rebrota.

Assim como a altura, há notadamente um aumento da frequência de rebrotas na parte aérea da planta, na medida em que o diâmetro do tronco aumenta. As rebrotas basais apresentaram uma relação inversa com o diâmetro do tronco, com exceção da classe maior que 10 cm, que apresentou aumento em relação à classe de 7 a 10 cm (TABELA 19). A mortalidade observada foi maior (8%) na classe de 7 a 10 cm de diâmetro do caule, classe em que as taxas de rebrota aérea foram altas (87,4%) e as basais baixas (4,6%).

TABELA 19 - PADRÃO DE REBROTA DOS INDIVÍDUOS POR CLASSE DE DIÂMETRO

Classes de diâmetro (cm)	Nº indivíduos			FR (%)		
	A	B	S	A	B	S
1 - 4	179	1807	34	8,9	89,5	1,7
4 - 7	158	90	10	61,2	34,9	3,9
7 - 10	76	4	7	87,4	4,6	8,0
> 10	34	3	1	89,5	7,9	2,6

FONTE: O autor (2020).

LEGENDA: Tipos de rebrota: A = aérea; B = basal ou radicular; S = sem rebrota/morta

Os padrões de rebrota da vegetação demonstraram relação, também, com a espessura do ritidoma dos indivíduos (TABELA 20). Existe um incremento nas taxas de rebrota aérea e redução de rebrotas basais com o aumento da espessura de ritidoma dos indivíduos. De acordo com a tabela 20, da primeira para a segunda classe de espessura de ritidoma houve um aumento de rebrota aérea de 8,9 para 62,4% de rebrota aérea e uma queda de 89,3 para 34% de rebrota basal. A mortalidade foi maior (5,2%) na classe de 1 a 1,5 cm de espessura de ritidoma, sendo que nessa classe foi verificado o maior valor de rebrota aérea (88,5%) e o menor de rebrota basal (6,3%).

TABELA 20 - PADRÃO DE REBROTA DOS INDIVÍDUOS POR CLASSE DE ESPESSURA DE RITIDOMA

Espessura do ritidoma (cm)	Nº indivíduos			FR (%)		
	A	B	S	A	B	S
0,0 - 0,5	180	1801	37	8,9	89,3	1,8
0,5 - 1,0	174	95	10	62,4	34,0	3,6
1,0 - 1,5	85	6	5	88,5	6,3	5,2
> 1,5	8	2	0	80	20	0

FONTE: O autor (2020).

LEGENDA: Tipos de rebrota: A = aérea; B = basal ou radicular; S = sem rebrota/morta

A taxa de mortalidade não apresentou valores altos ou mesmo uma tendência de aumento ou diminuição em função da altura, diâmetro do caule ou espessura do ritidoma. Contudo, observou-se que as maiores taxas de mortalidade após o fogo ocorrem em um estágio de desenvolvimento ‘intermediário’ com altura de 2 a 3 m, diâmetro do tronco de 7 a 10 cm e espessura do ritidoma de 1 a 1,5 cm. Esse padrão nas taxas de mortalidade indica que em um determinado momento do ciclo de vida da vegetação arbórea do Cerrado Campestre na EESGT parece haver uma condição crítica, onde os indivíduos estão mais vulneráveis. Esse comportamento pode estar associado a fatores fisiológicos das plantas desta região. Neste sentido, recomenda-se a realização de estudos específicos para determinar a razão da mortalidade desses indivíduos neste estágio de desenvolvimento.

As pesquisas de ecologia do fogo têm alertado para a necessidade de se quantificar as fontes de variação e as consequências das *fire-trapes* em savanas, a fim de melhorar a compreensão, previsão e manejo da dinâmica desses ambientes dependentes do fogo (WAKELING et al., 2011; BOND et al., 2012, HOFFMANN et al., 2012 e 2020, FREEMAN et al., 2017; NGUYEN et al., 2019).

Um estudo recente em uma savana de pine-wiregrass (*Aristida stricta* Michx.), na Carolina do Norte, EUA, demonstrou que existem duas razões pelas quais os indivíduos conseguem escapar das *fire-trapes*: eles são “melhores” (ou seja, crescem mais rápido que a média) ou porque eles têm “sorte” (eles experimentam um intervalo ocasional acima da média, sem fogo ou com uma severidade abaixo da média) (HOFFMANN et al., 2020).

O presente estudo corrobora a teoria de Hoffmann et al. (2020), supracitada. Pode ser destacado, ainda, que em ambientes de Cerrado, como

os que ocorrem na EESGT, além da altura vertical do indivíduo, fatores como o diâmetro do caule e espessura do ritidoma são até mais determinantes para o tipo de rebrota, como se pode observar nos dados das TABELAS 19 e 20.

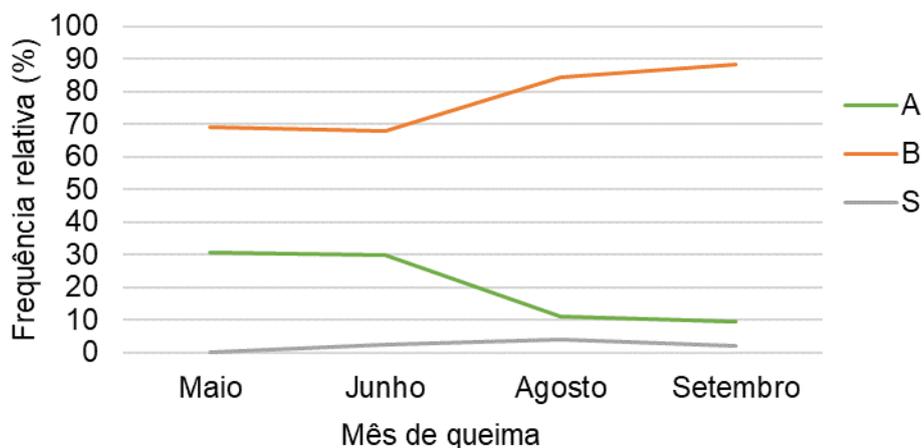
5.3.2. Tempo sem queima e época de realização da queima controlada

Os resultados até aqui mencionados permitiram verificar que a vegetação na área estudada (EESGT) é composta, majoritariamente, por indivíduos de pequeno porte (até 1 m) e de caules finos (até 4 cm de diâmetro), o que se pode chamar de “grupo de risco”, pois sofrem perda da parte aérea após a passagem do fogo, demandando um novo esforço fisiológico para rebrotar desde o solo e permanecendo em uma armadilha de fogo.

A gestão da EESGT suplantou a ideia de supressão total do fogo, apresentando como método alternativo o uso do próprio fogo em ações com queimas prescritas nos primeiros meses de estiagem e evitando que grandes áreas permaneçam por longos períodos sem queimar, causando o acúmulo de material combustível e aumentando o perigo de incêndios de alta intensidade. Um dos objetivos da unidade de conservação é evitar que os indivíduos arbóreos, tratados neste capítulo, percam a parte aérea em incêndios de alta severidade e necessitem rebrotar desde o solo ou mesmo que morram.

Nesse sentido, os resultados encontrados corroboram com a ideia de gestão ecológica aplicada na EESGT. Foi constatado que há um aumento progressivo de rebrota basal dos indivíduos à medida que a queima é realizada nos meses de maior estiagem (temporada de incêndios na EESGT) com o mês de maio apresentando 69,3% de rebrota basal e setembro 88,5% (FIGURA 27).

FIGURA 27. FREQUÊNCIA RELATIVA DE PADRÕES DE REBROTA E MORTE DE ÁRVORES EM FUNÇÃO DO PERÍODO DE QUEIMA



FONTE: o autor (2020)

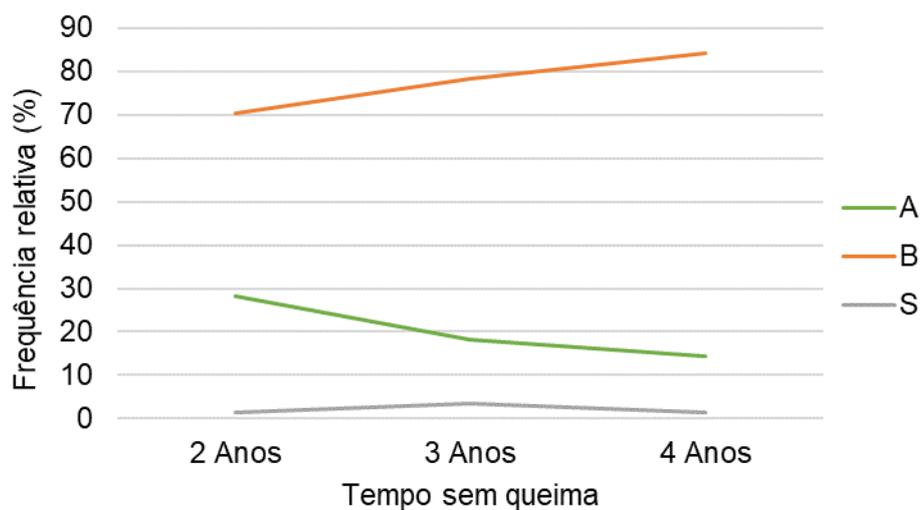
LEGENDA: A = rebrota aérea; B = rebrota basal; S = sem rebrota/morte.

Diferente dos padrões de rebrota basal, existe um decréscimo do número de indivíduos que rebrotam na sua parte aérea após a passagem do fogo nos períodos de maior estiagem, sendo constatado 30,6% de rebrota aérea nas áreas queimadas em maio (temporada de queimas prescritas) e 9,6% nas de setembro (temporada de incêndios).

A mortalidade dos indivíduos arbóreos não apresentou tendência em resposta aos tratamentos realizados, contudo, nas queimas realizadas no mês de maio, 0,1% dos indivíduos morreram e o mês de agosto teve a maior frequência de morte (4,2%).

Os padrões de rebrota da vegetação, observados a partir da sua relação com o tempo sem queima (FIGURA 28), evidenciaram um comportamento de aumento de rebrota basal (70,2% em áreas de dois anos e 84,3% nas de quatro) e redução de rebrota aérea (28,3% nas áreas de dois anos e 14,4% nas de quatro) à medida que se eleva o tempo desde a última queima da área. Além disso, a mortalidade de indivíduos teve um pequeno aumento nas áreas de três anos sem queima (1,5% em áreas de dois anos, 3,5% nas de três e 1,3% nas de quatro).

FIGURA 28. FREQUÊNCIA RELATIVA DE PADRÕES DE REBROTA E MORTE DE ÁRVORES EM FUNÇÃO DO TEMPO SEM QUEIMA



FONTE: o autor (2020)

LEGENDA: Tipos de rebrota: A = aérea; B = basal ou radicular; S = sem rebrota/morta

Os padrões de rebrota verificados na FIGURA 28 mostram que o manejo com uso do fogo na EESGT está correto em considerar, além da época do ano, o histórico de queima da área, pois ele é um indicativo de carga e das características do combustível e é determinante no nível de severidade da queima.

5.3.3. Correlações e modelagens dos tipos de rebrotas com variáveis meteorológicas, de comportamento do fogo e de material combustível

A interação entre os padrões de rebrota da vegetação lenhosa e as demais variáveis registradas durante este estudo são apresentados através dos coeficientes de correlação linear de Pearson (TABELA 21).

TABELA 21 - CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON ENTRE AS TAXAS DE REBROTA E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS, DO COMPORTAMENTO DO FOGO E DO MATERIAL COMBUTÍVEL

	HCH	VP	T	UR	Cons	MC	MCM	MCMH
LnRA	-0,43**	-0,32*	-0,48**	0,59**	-0,10	-0,13	-0,37**	-0,44**
RB	0,48**	0,40**	0,33*	-0,56**	0,08	0,13	0,39**	0,49**

FONTE: O autor (2020).

LEGENDA: LnRA - logaritmo natural da taxa de rebrota aérea; RB – taxa de rebrota basal; HCH - altura de chama (m); VP – velocidade de propagação do fogo (m.s⁻¹); T – temperatura do ar antes de iniciar a queima (°C); UR – umidade relativa do ar antes de iniciar a queima (%); Cons – consumo de material combustível durante a queima (%); MC – carga total de material combustível antes da queima (t.ha⁻¹); MCM – carga de combustível morto antes da queima (t.ha⁻¹); MCMH – carga de combustível morto herbáceo antes da queima (t.ha⁻¹); * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

De acordo com a matriz de correlação (TABELA 21), verificou-se que o fator de maior interação com a rebrota aérea das arbóreas nas áreas campestres do Cerrado na EESGT foi a umidade relativa do ar (0,59 $p < 0,01$). Este resultado indica que em queimas realizadas em períodos do ano mais úmidos (início da estação seca) a severidade do fogo tende a ser menor, contribuindo para o aumento das taxas de rebrota aérea. Ao contrário, quando as queimas são realizadas nos meses mais secos, ocorre um aumento das taxas de rebrota basal, neste caso a correlação foi de -0,56 ($p < 0,01$) com a umidade relativa do ar (TABELA 21).

Estes resultados demonstram que as condições meteorológicas são determinantes no nível de severidade do fogo e, portanto, a umidade relativa do ar, aferida antes de iniciar a queima, pode ser considerada um fator de balizamento para planejamento de atividades de queima prescrita que visem uma preservação do componente arbóreo na EESGT.

A resposta da vegetação arbórea às condições de material combustível antes da queima, na EESGT, não está associada à carga total do material combustível disponível, mas às características específicas dele.

De acordo com a TABELA 21, os componentes que apresentaram as maiores correlações com as rebrotas aéreas foram: o material combustível morto (-0,37; $p < 0,01$) e o material combustível morto herbáceo (-0,44; $p < 0,01$). Para a rebrota basal, a correlação com o material combustível morto foi de 0,39 ($p < 0,01$) e com material combustível morto herbáceo foi de 0,49 ($p < 0,01$). Desta forma, com o aumento do material combustível morto, principalmente o fino e seco, elevou-se a severidade do fogo no ambiente, aumentando as taxas de

rebrotas basal e reduzindo a rebrota aérea. O material morto herbáceo, combustível fino e seco, é o que responde mais rapidamente as oscilações de umidade e é o maior responsável pela propagação do fogo durante a queima (SANTOS, 2019; GANASSOLI, 2019).

A altura de chama é a principal medida do comportamento do fogo que fornece um indicativo da sua intensidade do fogo. A compreensão do grau de associação dessa variável com os padrões de rebrota da vegetação lenhosa é importante para começar a compreender a influência do fogo sobre a vegetação na EESGT. Os valores de rebrota aérea e rebrota basal apresentaram correlação moderada com a altura de chama, -0,45 ($p < 0,01$) e 0,48 ($p < 0,01$), respectivamente (TABELA 21), de modo que com o aumento da altura de chama ocorre a redução das taxas de rebrota aérea e aumento de rebrota basal.

A mortalidade das arbóreas, além de não ter apresentado altas taxas, não teve correlação significativa com as variáveis avaliadas. Considerando a resistência destes indivíduos à ação do fogo, devem ser realizadas pesquisas específicas a fim de conhecer os fatores determinantes da mortalidade das árvores das áreas de Cerrado na EESGT.

Na TABELA 22 são apresentadas as equações de regressão linear ajustadas para a estimativa indireta das taxas de rebrota aérea e basal.

TABELA 22 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DAS TAXAS DE REBROTA AÉREA E REBROTA BASAL

Var Dep	Equações de Regressão	R ² aj	Syx	Syx%
LnRA	$-1,627 + (\text{LnUR} * 1,604) + (\text{MCMH} * -6,151) + \epsilon$	0,31	6,04	32,44
LnRA	$-1,420 + (\text{LnUR} * 1,462) + (\text{HCH} * -0,255) + \epsilon$	0,43	6,52	35,01
RB	$86,915 + (\text{UR} * -0,962) + (\text{MCMH} * 119,173) + \epsilon$	0,55	09,19	11,61
LnRB	$4,735 + (\text{UR} * -0,014) + \epsilon$	0,65	7,32	9,24

FONTE: O autor (2020).

LEGENDA: Var Dep – variável dependente; LnRA – logaritmo natural da taxa de rebrota aérea; LnRB – logaritmo natural da taxa de rebrota basal; RB – taxa de rebrota basal; LnUR – logaritmo natural da taxa de umidade relativa do ar; UR – taxa de umidade relativa do ar (%); MCMH – carga de material combustível morto herbáceo ($t \cdot ha^{-1}$); HCH – altura de chama (m); R²aj – coeficiente de determinação ajustado; Syx – erro padrão da estimativa; Syx% - erro padrão da estimativa em porcentagem; ϵ – erro do modelo.

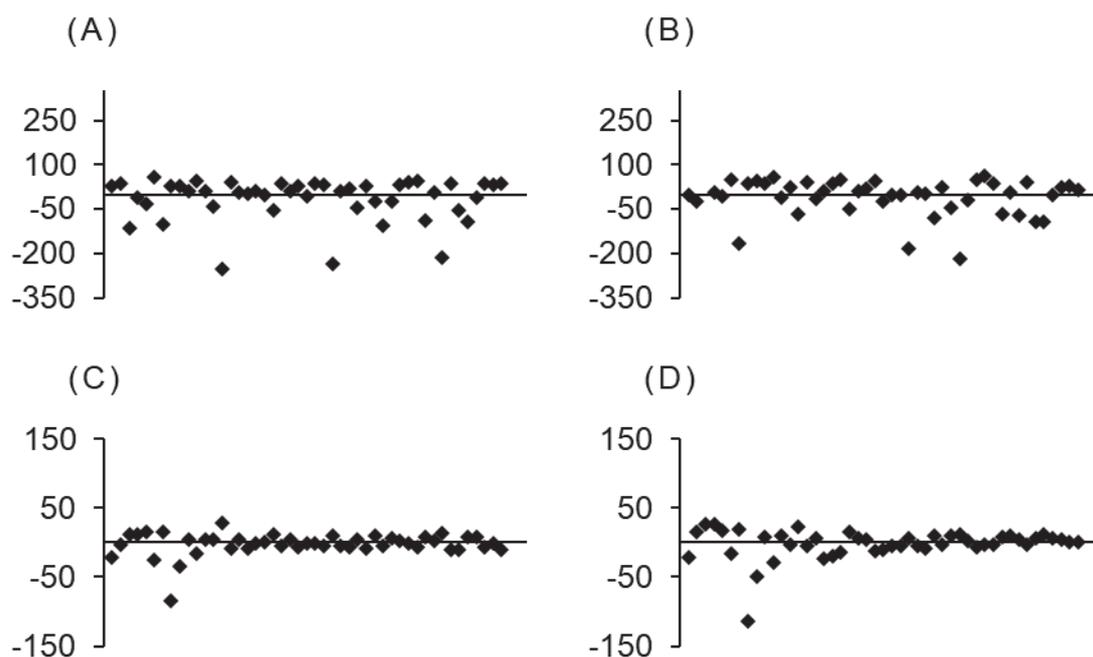
De modo geral verificou-se que as equações que têm como variável dependente a rebrota basal apresentaram melhores coeficientes de determinação ajustado (R²aj) e menor erro padrão da estimativa em

porcentagem ($Syx\%$). Neste sentido, os modelos preditivos de rebrota basal são mais eficientes em relação aos de rebrota aérea.

A equação que apresentou o melhor R^2_{aj} (0,65) e menor $Syx\%$ (9,24) foi a preditiva do logaritmo natural de rebrota basal ($LnRB$) (TABELA 22). Além disso, a equação foi ajustada com apenas uma variável independente (umidade relativa do ar). A umidade relativa do ar pode ser coletada antes da realização de uma queima controlada, por meio de uma estação meteorológica portátil, ou mesmo após um incêndio, na estação meteorológica mais próxima do local queimado. Tudo isso faz com que esta equação se apresente como uma alternativa prática e útil para estimativa de danos e como ferramenta para manejo adequado do fogo.

O segundo modelo com o melhor R^2_{aj} (0,55) e menor $Syx\%$ (11,61%) foi o preditivo de rebrota basal (RB), tendo como variável independente a umidade relativa do ar (UR) e o material combustível morto herbáceo ($MCMH$) (TABELA 22). Embora esta equação tenha apresentado valores qualitativamente inferiores de R^2_{aj} e $Syx\%$ do que o modelo preditivo de $LnRB$, a distribuição dos resíduos das equações mostrou que ela apresenta maior número de resíduos próximos da linha zero (FIGURA 29 C e D), apresentando-se também como um bom modelo preditivo de rebrota basal.

FIGURA 29. DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DAS TAXAS DE REBROTA AÉREA E BASAL



FONTE: o autor (2020)

LEGENDA: (A) resíduos da equação para estimar a taxa de rebrota aérea que tem como variável independente LnUR e MCMH; (B) resíduos da equação para estimar a taxa de rebrota aérea que tem como variável independente LnUR e HCH; (C) resíduos da equação para estimar a taxa de rebrota basal; (D) resíduos da equação para estimar a taxa de rebrota basal em logaritmo natural.

Para estimativa da taxa de rebrota aérea foram ajustados dois modelos: um cujas variáveis independentes são logaritmo natural de umidade relativa (LnUR) e carga de material combustível herbáceo morto (MCMH), com R^2_{aj} de 0,31 e $Syx\%$ de 32,44; e outro com LnUR e altura de chama durante a queima (HCH), com R^2_{aj} de 0,43 e $Syx\%$ de 35,01 (TABELA 22). O primeiro apresentou melhor distribuição dos resíduos (FIGURA 29 A e B) e menor $Syx\%$, contudo, o segundo modelo pode ser útil para estimativa de rebrota aérea quando não se é possível quantificar o material combustível em razão da área já estar queimando.

5.4. CONCLUSÕES

Quanto maior a altura, o diâmetro do caule e a espessura do ritidoma dos indivíduos arbóreos na EESGT, maior é a sua capacidade de resiliência à ação do fogo. Indivíduos com mais de 2 m de altura, diâmetro à altura da base maior que 4 cm e espessura do ritidoma maior que 0,5 cm tendem a não perder sua parte aérea após uma queima. Por sua vez, a taxa de mortalidade é maior em indivíduos mais desenvolvidos, de 2 a 3 m de altura, de 7 a 10 cm de diâmetro a altura da base e 1 a 1,5 cm de espessura do ritidoma.

As queimas realizadas nos meses de maior estiagem foram mais severas e aumentaram o número de indivíduos que perdem sua parte aérea e precisaram rebrotar desde a base, enquanto as queimas do início da temporada seca apresentaram maior número de indivíduos que não perderam sua parte aérea e rebrotaram a partir de suas copas.

A época de queima não influenciou as taxas de mortalidade das arbóreas.

Em áreas há mais tempo sem queima a severidade do fogo foi maior, aumentando as taxas de rebrota basal e reduzindo as de rebrota aérea. A mortalidade dos indivíduos não apresentou expressiva mudança em função do tempo sem queima.

A variável que melhor explica as taxas de rebrota aérea e basal foi a umidade relativa do ar.

O modelo que apresentou o melhor ajuste foi o que estima a rebrota basal e teve como única variável independente a umidade relativa do ar.

REFERÊNCIAS

BOND, W. J.; COOK, G. D.; WILLIAMS, R. J. Which trees dominate in savannas? The escape hypothesis and eucalypts in northern Australia. **Austral Ecology**, v. 37, n. 6, p. 678-685, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2011.02343.x>

BOND, W. J.; MIDGLEY, G. F.; WOODWARD, F. I. The importance of low atmospheric CO₂ and fire in promoting the spread of grasslands and savannas. **Global Change Biology**, v. 9, n. 7, p. 973-982, 2003. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00577.x>

COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: GOLDHAMMER, J.G. (Ed.). **Fire in the Tropical Biota**. Springer, Berlin, 1990. pp. 82–105. https://doi.org/10.1007/978-3-642-75395-4_6. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-75395-4.pdf>>. Acesso em: out. 2018.

DANTAS, V. L.; PAUSAS, J. G. The lanky and the corky: fire-escape strategies in savanna woody species. **Journal of Ecology**, v. 101, n. 5, p. 1265-1272, 2013. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12118>

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FRA 2020: Terms and definitions**. 188. ed. Roma: FAO Forestry Department, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/3/I8661EN/i8661en.pdf>. Acesso em: jan. 2020.

FREEMAN, M. E.; VESK, P. A.; MURPHY, B. P.; COOK, G. D.; RICHARDS, A. E.; WILLIAMS, R. J. Defining the fire trap: extension of the persistence equilibrium model in mesic savannas. **Austral ecology**, v. 42, n. 8, p. 890-899, 2017. <https://doi.org/10.1111/aec.12516>

FUHLENDORF, S. D.; LIMB, R. F.; ENGLE, D. M.; MILLER, R. F. Assessment of prescribed fire as a conservation practice. In: BRISKE, D. D. **Conservation benefits of rangeland practices: assessment, recommendations, and knowledge gaps**. Washington: US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2011. p. 75-104. Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/technical/nra/ceap/?=&cid=stelprdb1045811>. Acesso em: jan. 2020.

GANASSOLI, E. **Comportamento do fogo em área de savana na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Conservação da Natureza, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2019. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/39602/recent-submissions>. Acesso em: out. 2019.

HIGGINS, S. I.; BOND, W. J.; TROLLOPE, W. S. W. Fire, resprouting and variability: a recipe for grass–tree coexistence in savanna. **Journal of Ecology**, v. 88, n. 2, p. 213-229, 2000. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2000.00435.x>

HOFFMANN, W. A.; GEIGER, E. L.; GOTSCH, S. G.; ROSSATTO, D. R.; SILVA, L. C.; LAU, O. L.; HARIDASAN, M.; FRANCO, A. C. Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. **Ecology letters**, v. 15, n. 7, p. 759-768, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01789.x>

HOFFMANN, W. A.; SANDERS, R. W.; JUST, M. G.; WALL, W. A.; HOHMANN, M. G. Better lucky than good: How savanna trees escape the fire trap in a variable world. **Ecology**, v. 101, n. 1, p. e02895, 2020. <https://doi.org/10.1002/ecy.2895>

HOUESHELL, H.; FRIEDRICH, R. L.; PHILPOTT, S. M. Effects of prescribed burning on ant nesting ecology in oak savannas. **The American Midland Naturalist**, v. 166, n. 1, p. 98-111, 2011. <https://doi.org/10.1674/0003-0031-166.1.98>

KEANE, R. E. Tree Data (TD): sampling method. In: LUTES, D. C.; KEANE, R. E.; CARATTI, J. F.; KEY, C. H.; BENSON, N. C.; SUTHERLAND, S.; GANGI, L. J. **FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System**. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 1 CD., v. 164, 2006. TD1 – TD19. <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-164>

KELLY, L. T.; BENNETT, A. F.; CLARKE, M. F.; MCCARTHY, M. A. Optimal fire histories for biodiversity conservation. **Conservation Biology**, v. 29, n. 2, p. 473-481, 2015. <https://doi.org/10.1111/cobi.12384>

KILGORE, B. M. Fire in ecosystem distribution and structure: western forests and scrublands. In: MOONEY, H. A.; BONNICKSEN, T. M.; CHRISTENSEN, N. L. (tech.cord). **Proceedings of the Conference: Fire Regimes and Ecosystem Properties**, USDA Forest Service, General Technical Report WO-GTR-26. Logan, p. 58-89, 1981. Disponível em: <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1077&context=bark-beetles>. Acesso em: out. 2018.

MASSI, K. G.; FRANCO, A. C. How does resprouting response differ among three species of savanna trees and in relation to plant size?. **Acta Botanica Brasilica**, v. 30, n. 4, p. 693-699, 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-33062016abb0264>

NGUYEN, T. T.; MURPHY, B. P.; BAKER, P. J. The existence of a fire-mediated tree-recruitment bottleneck in an Asian savanna. **Journal of Biogeography**, v. 46, n. 4, p. 745-756, 2019. <https://doi.org/10.1111/jbi.13518>

PYNE, S. J. Forged in fire: history, land, and anthropogenic fire. In: BALÉE, W. **Advances in historical ecology**, New York: Columbia University Press, 1998.

p. 62-103. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=PuadAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=Advances+in+historical+ecology&ots=nD8Drjm-5h&sig=v9dCJsWs2IN1vs0_yX6qOoDH1KM#v=onepage&q=Advances%20in%20historical%20ecology&f=false. Acesso em: jan. 2020.

REBERTUS, A. J.; WILLIAMSON, G. B.; PLATT, W. J. Impacts of temporal variation in fire regime on savanna oaks and pines. In: **Proceedings of the Tall Timbers Fire Ecology Conference**. 1993. p. 215-225.

SANTOS, M. M. **Caracterização e modelagem do material combustível de cerrado campestre na região do Jalapão – Tocantins, Brasil**. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Conservação da Natureza, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2019. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/39602/recent-submissions>. Acesso em: out. 2019.

SCHMIDT, I. B.; FONSECA, C. B.; FERREIRA, M. C.; SATO, M. N. Implementação do programa piloto de manejo integrado do fogo em três unidades de conservação do Cerrado. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, v. 6, n. 2, p. 55-70, 2016. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/article/view/656/493>. Acesso em: jan. 2020.

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

SOW, M.; HÉLY, C.; MBOW, C.; SAMBOU, B. Fuel and fire behavior analysis for early-season prescribed fire planning in Sudanian and Sahelian savannas. **Journal of arid environments**, v. 89, p. 84-93, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.09.007>

WAKELING, J. L.; STAVER, A. C.; BOND, W. J. Simply the best: the transition of savanna saplings to trees. **Oikos**, v. 120, n. 10, p. 1448-1451, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19957.x>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa mensurou a severidade do fogo considerando dois critérios. O primeiro critério refere-se à severidade causada unicamente pela capacidade de conversão da biomassa em cinzas, portanto, a alteração física causada imediatamente após a passagem do fogo. O segundo critério para mensuração da severidade do fogo foi referente a uma avaliação da dinâmica de número de indivíduos e espécies de diferentes estratos, a médio prazo, um ano após a queima.

Neste sentido, por meio das taxas de *topkill* abordadas no capítulo 2, foram quantificadas as perdas imediatas de indivíduos lenhosos do estrato de regeneração e observou-se que estas taxas respondem muito mais à variável mês de queima do que ao tempo sem queima do terreno. Em queimas conduzidas nos meses mais secos do ano (agosto e setembro) as taxas de *topkill* foram maiores do que nas queimas do início da estação seca (maio e junho).

Por meio das métricas de Diâmetro Mínimo dos Ramos Carbonizados (DMRC) e Avaliação Visual, abordadas no capítulo 3, constatou-se que a maior severidade, imediatamente após a passagem do fogo, ocorre nas queimas conduzidas no mês de setembro e em áreas há três e quatro anos sem queimar.

Desta forma, foi possível concluir que tanto para o método abordado no capítulo 2 quanto nos do capítulo 3 a severidade do fogo esteve mais presente nos meses mais secos do ano, demonstrando que a época de realização da queima é fundamental para determinar o grau de severidade que irá acometer o ambiente.

O estudo da dinâmica das herbáceas um ano após a passagem do fogo, capítulo 4, permitiu concluir que, de modo geral, quando o fogo incidiu sobre a vegetação herbácea em meses mais secos (agosto e setembro), ela apresentou maior dificuldade de regressar ao seu estado pré-fogo, seja para número de espécies ou para número de indivíduos.

Com o estudo da dinâmica das lenhosas do estrato de regeneração um ano após a passagem do fogo, capítulo 4, foi possível observar que a maior severidade do fogo ocorre quando as queimas são conduzidas nos meses mais secos (agosto e setembro), enquanto as queimas conduzidas em agosto foram

as que mais retardaram a recuperação do número de indivíduos e espécies de lenhosas.

No estudo da severidade do fogo sobre as arbóreas, capítulo 5, constatou-se que a resiliência dos indivíduos está fortemente associada a algumas de suas características dendrométricas como a altura, o diâmetro e a espessura do ritidoma. Foi observado, também, que a rebrota dos indivíduos possui forte associação com o mês de realização das queimas e umidade do ar, sendo que queimas do início da estação seca produzem maiores taxas de rebrota aérea e as do fim da estação seca produzem maiores taxas de rebrota basal.

O tempo sem queima do terreno também foi determinante para o tipo de rebrota apresentado pelas arbóreas. Queimas conduzidas nos terrenos há mais tempo sem queima produziram maiores taxas de rebrota basal e menores de rebrota aérea das arbóreas.

A mortalidade dos indivíduos não apresentou alteração em resposta aos tratamentos de queima empregados. Sugere-se estudos específicos que investiguem os fatores determinantes da mortalidade das arbóreas na região da EESGT.

A umidade relativa do ar no momento da queima se mostrou uma variável de grande importância para explicar as estratégias de rebrota adotada pelos indivíduos arbóreos. Desta forma, foi possível ajustar um modelo para estimativa de rebrota basal, tendo como única variável independente a umidade relativa do ar.

Por fim, deve ser ressaltado que este estudo exerce a função de prospectar características do ambiente em sua relação com o fogo e não se propõe a substituir estudos ecológicos especializados, sendo, portanto, pesquisa de base para instituição de experimentos científicos mais específicos.

REFERÊNCIAS

- ABC. ÁRVORES DO BIOMA CERRADO. *Rourea induta* Planch. 2020. Disponível em: <<http://www.arvoresdobiomacerrado.com.br/site/2017/04/03/rourea-induta-planch/>>. Acessado em: out. 2020.
- BARKER, J. W.; PRICE, O. F. Positive severity feedback between consecutive fires in dry eucalypt forests of southern Australia. **Ecosphere**, v. 9, n. 3, p. 1-14, 2018. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2110>
- BARRADAS, A. C. S. **A gestão do fogo na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, Brasil**. 2017. 135 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Biodiversidade em Unidades de Conservação) - Escola Nacional de Botânica Tropical, Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=A+gest%C3%A3o+do+fogo+na+Esta%C3%A7%C3%A3o+Ecol%C3%B3gica+Serra+Geral+do+Tocantins%2C+Brasil.&btnG=>>. Acesso em: out. 2018
- BATISTA, A. C.; BEUTLING, A.; PEREIRA, J. F. Estimativa do comportamento do fogo em queimas experimentais sob povoamentos de *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 5, p.779-787, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622013000500001>
- BAUDENA, M.; DEKKER, S. C.; VAN BODEGOM, P. M.; CUESTA, B.; HIGGINS, S. I.; LEHSTEN, V.; REICK, C. H.; RIETKERK, M.; SCHEITER, S.; YIN, Z.; ZAVALA, M. A.; BROVKIN, V. Forests, savannas and grasslands: bridging the knowledge gap between ecology and Dynamic Global Vegetation Models. **Biogeosciences**, [s. l.], v. 12, p. 1833-1848, 2015. <https://doi.org/10.5194/bgd-11-9471-2014>
- BEUTLING, A. **Modelagem do comportamento do fogo com base em experimentos laboratoriais e de campo**. 141 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2009. Disponível em: <<https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/22568>>. Acesso em: out. 2018.
- BOND, W. J.; COOK, G. D.; WILLIAMS, R. J. Which trees dominate in savannas? The escape hypothesis and eucalypts in northern Australia. **Austral Ecology**, v. 37, n. 6, p. 678-685, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2011.02343.x>
- BOND, W. J.; KEELEY, J. E. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. **Trends in ecology & evolution**, [s. l.], v. 20, n. 7, p. 387-394, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.025>
- BOND, W. J.; MIDGLEY, G. F.; WOODWARD, F. I. The importance of low atmospheric CO₂ and fire in promoting the spread of grasslands and savannas.

Global Change Biology, v. 9, n. 7, p. 973-982, 2003.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00577.x>

BOND, W. J.; MIDGLEY, J. J. Kill thy neighbour: an individualistic argument for the evolution of flammability. **Oikos**, Copenhagen, v. 73, n. 1, p. 79-85, 1995. Doi: 10.2307/3545728. Disponível em:
https://www.jstor.org/stable/3545728?casa_token=UN1LgjbLqDQAAAAA%3Ay5oSLUn_ZZajVfBTAfNCVOVnwqvXbYpzGCxMWWduf14MdPvYn1DMtdHufexLQihljG4d6dWeTO0vYS0r6zgPKKUH3a5sUgeBwQ9AEYqAs_Gp6aoD5BXV&seq=1#metadata_info_tab_contents. Acesso em: out. 2018.

BOND, W. J.; WOODWARD, F. L.; MIDGLEY, G. F. The global distribution of ecosystems in a world without fire. **New phytologist**, [s. l.], v. 165, n. 2, p. 525-538, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01252.x>

BORGES, M. A.; BARRADAS, C. **Gestão do fogo na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. Rio da Conceição: ICMBio, 2016. 67 Slides. (Relatório técnico). Disponível em:
 <http://www.cemaf.org/smif/images/apresentacoes/04_Borges_e_Barradas.pdf>. Acesso em: out. 2019

BOTELHO, H.; VENTURA, J. Modelos de comportamento do fogo. In: REGO, F. C.; BOTELHO, H. **A técnica do fogo controlado**. Apartado: Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, 1990. p. 49-55.

BRASIL. [Constituição (1988)]. Artigo 216. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 2019. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em: ago. 2019.

BRASIL. **Decreto s/nº de 27 de setembro de 2001**. Cria a Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, nos estados do Tocantins e da Bahia, e dá outras providências. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/DNN/2001/Dnn9340.htm. Acesso em: fev. 2019.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm. Acesso em: fev. 2019.

BRASIL. **Projeto de lei nº 11276 apresentado em 27 de dezembro de 2018**. Câmara dos deputados. 2019. Disponível em:
<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2190265>. Acesso em: ago. 2019.

CASE, M. F.; STAVER, A. C. Fire prevents woody encroachment only at higher-than-historical frequencies in a South African Savanna. **Journal of Applied**

Ecology, Londres, v. 54, n. 3, p. 955-962, 2017. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12805>

CHUVIECO, E., LIZUNDIA-LOIOLA, J., PETTINARI, M. L., RAMO, R., PADILLA, M., TANSEY, K., MOUILLOT, F., LAURENT, P., STORM, T. HEIL, A., PLUMMER, S. Generation and analysis of a new global burned area product based on MODIS 250 m reflectance bands and thermal anomalies. **Earth System Science Data**, v. 10, n. 4, p. 2015-2031, 2018. Disponível em: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers18-11/010074408.pdf. Acesso em: out. 2019.

CLARKE, P. J.; KNOX, K. J.; BRADSTOCK, R. A.; MUNOZ-ROBLES, C.; KUMAR, L. Vegetation, terrain and fire history shape the impact of extreme weather on fire severity and ecosystem response. **Journal of Vegetation Science**, v. 25, n. 4, p. 1033-1044, 2014. <https://doi.org/10.1111/jvs.12166>

CLIMATE-DATA. **Clima**: Rio da Conceição. 2020. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/tocantins/rio-da-conceicao-312500/?amp=true>. Acesso em: fev. 2020.

COCHRANE, M. A.; ALENCAR, A.; SCHULZE, M. D.; SOUZA, C. M.; NEPSTAD, D. C.; LEFEBVRE, P.; DAVIDSON, E. A. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. **Science**, v. 284, n. 5421, p. 1832-1835, 1999. Doi:10.1126/science.284.5421.1832

COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: GOLDHAMMER, J. G. (Ed.). **Fire in the Tropical Biota**. Springer, Berlin, 1990. pp. 82–105. https://doi.org/10.1007/978-3-642-75395-4_6. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-75395-4.pdf>. Acesso em: out. 2018.

CRISTO, S. V. **Plano de Manejo para a Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. Relatório do Meio Físico. Versão Final. Instituto Chico Mendes de Proteção da Biodiversidade (ICMBio). Porto Nacional/Tocantins, 2013. 47p.

DANTAS, V. L.; PAUSAS, J. G. The lanky and the corky: fire-escape strategies in savanna woody species. **Journal of Ecology**, v. 101, n. 5, p. 1265-1272, 2013. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12118>

DAVANKOV, V. A. Critical review on the origin of atmospheric oxygen: Where is organic matter?. **Planetary and Space Science**, v. 190, Artigo 105023, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2020.105023>

DAVIES, G. M.; DOMENECH-JARDI, R.; GRAY, A.; JOHNSON, P. C. D. Vegetation structure and fire weather influence variation in burn severity and fuel consumption during peatland wildfires. **Biogeosciences**, v. 12, n. 18, p. 15737-15762, 2016. <https://doi.org/10.5194/bg-13-389-2016>

DAVIES, G. M.; SMITH, A. A.; MACDONALD, A. J.; BAKKER, J. D.; LEGG, C. J. Fire intensity, fire severity and ecosystem response in heathlands: factors

affecting the regeneration of *Calluna vulgaris*. **Journal of Applied Ecology**, Londres, v. 47, n. 2, p. 356-365, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01774.x>

DIAS, B. F. S. Cerrados: uma caracterização. In: DIAS, B. F. S. **Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados**: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis. Brasília: Fundação Pró- Natureza, 1992. p. 11–25. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/340294791_Alternativas_de_Developmento_dos_Cerrados_Manejo_e_Conservacao_dos_Recurso_Naturais_Renovaveis_FUNATURA_e_IBAMA. Acesso em: out. 2018.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Agência de Informação Embrapa. **Bioma Cerrado**. Vereda. 2019a. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_65_91200585234.html. Acesso em: 07 mar. 2019.

_____. Agência Embrapa de informação tecnológica. **Neossolo Quartzarênicos**. 2019b. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqtarta66.html. Acesso em: 07 mar. 2019.

FALLEIRO, R. M. Resgate do manejo tradicional do Cerrado com fogo para proteção das terras indígenas do oeste do Mato Grosso: um estudo de caso. **Biodiversidade brasileira**, Brasília, n. 2, p. 86-96, 2011. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/revistaelectronica/index.php/BioBR/article/view/114/108>. Acesso em: out. 2019.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FRA 2020**: Terms and definitions. 188. ed. Roma: FAO Forestry Department, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/3/I8661EN/i8661en.pdf>. Acesso em: jan. 2020.

FIDELIS, A.; BLANCO, C. C.; MÜLLER, S. C.; PILLAR, V. D.; PFADENHAUER, J. Short-term changes caused by fire and mowing in Brazilian Campos grasslands with different long-term fire histories. **Journal of Vegetation Science**, v. 23, n. 3, p. 552-562, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2011.01364.x>

FIDELIS, A.; MÜLLER, S. C.; PILLAR, V. D.; PFADENHAUER, J. Efeito do fogo na ecologia de populações de herbáceas e arbustos dos campos sulinos. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. S1, p. 303-305, 2007. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/325/282>. Acesso em: out. 2019.

FREEMAN, M. E.; VESK, P. A.; MURPHY, B. P.; COOK, G. D.; RICHARDS, A. E.; WILLIAMS, R. J. Defining the fire trap: extension of the persistence

equilibrium model in mesic savannas. **Austral ecology**, v. 42, n. 8, p. 890-899, 2017. <https://doi.org/10.1111/aec.12516>

FUHLENDORF, S. D.; LIMB, R. F.; ENGLE, D. M.; MILLER, R. F. Assessment of prescribed fire as a conservation practice. In: BRISKE, D. D. **Conservation benefits of rangeland practices**: assessment, recommendations, and knowledge gaps. Washington: US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2011. p. 75-104. Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/technical/nra/ceap/?=&cid=stelprdb1045811>. Acesso em: out. 2019.

GANASSOLI, E. **Comportamento do fogo em área de savana na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. 2019. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Conservação da Natureza, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2019. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/39602/recent-submissions>. Acesso em: out. 2019.

GFED. GLOBAL FIRE EMISSIONS DATABASE. 2019. Disponível em: <https://www.globalfiredata.org/index.html>, acesso em: mar./ 2019.

HAMMILL, K. A.; BRADSTOCK, R. A. Remote sensing of fire severity in the Blue Mountains: influence of vegetation type and inferring fire intensity. **International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, v. 15, n. 2, p. 213-226, 2006. <https://doi.org/10.1071/WF05051>

HARTFORD, R. A.; FRANSEN, W. H. When it's hot, it's hot... or maybe it's not! (Surface flaming may not portend extensive soil heating). **International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, v. 2, n. 3, p. 139-144, 1992. <https://doi.org/10.1071/WF9920139>

HIGGINS, S. I.; BOND, W. J.; TROLLOPE, W. S. W. Fire, resprouting and variability: a recipe for grass–tree coexistence in savanna. **Journal of Ecology**, v. 88, n. 2, p. 213-229, 2000. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2000.00435.x>

HOFFMANN, W. A.; ADASME, R.; HARIDASAN, M.; DE CARVALHO, M. T.; GEIGER, E. L.; PEREIRA, M. A. B.; GOTSCH, S. G.; FRANCO, A. C. Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of savanna–forest boundaries under frequent fire in central Brazil. **Ecology**, v. 90, n. 5, p. 1326-1337, 2009. <https://doi.org/10.1890/08-0741.1>

HOFFMANN, W. A.; GEIGER, E. L.; GOTSCH, S. G.; ROSSATTO, D. R.; SILVA, L. C.; LAU, O. L.; HARIDASAN, M.; FRANCO, A. C. Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. **Ecology letters**, v. 15, n. 7, p. 759-768, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01789.x>

HOFFMANN, W. A.; SANDERS, R. W.; JUST, M. G.; WALL, W. A.; HOHMANN, M. G. Better lucky than good: How savanna trees escape the fire

trap in a variable world. **Ecology**, v. 101, n. 1, p. e02895, 2020.
<https://doi.org/10.1002/ecy.2895>

HOFFMANN, W. A.; SCHROEDER, W.; JACKSON, R. B. Positive feedbacks of fire, climate, and vegetation and the conversion of tropical savanna. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 22, p. 1- 4, 2002.
<https://doi.org/10.1029/2002GL015424>

HOFFMANN, W. A.; SOLBRIG, O. T. The role of topkill in the differential response of savanna woody species to fire. **Forest ecology and management**, v. 180, n. 1-3, p. 273-286, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00566-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00566-2)

HOLSINGER, L.; PARKS, S. A.; MILLER, C. Weather, fuels, and topography impede wildland fire spread in western US landscapes. **Forest Ecology and Management**, v. 380, p. 59-69, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.08.035>

HOUESHELL, H.; FRIEDRICH, R. L.; PHILPOTT, S. M. Effects of prescribed burning on ant nesting ecology in oak savannas. **The American Midland Naturalist**, v. 166, n. 1, p. 98-111, 2011. <https://doi.org/10.1674/0003-0031-166.1.98>

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Densidade demográfica**: 2010. 2010. Disponível em:
<https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/demografia>. Acesso em: fev. 2019.

ICMBio. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Localização do projeto. 2011. Disponível em:
<https://www.icmbio.gov.br/projetojalapao/pt/corredor-2/localizacao.html>. Acesso em: fev. 2019.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **BDMEP** - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, 2018. Disponível em:
<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>, acesso em: 27 de março de 2018.

KANE, V. R.; CANSLER, C. A.; POVAK, N. A.; KANE, J. T.; MCGAUGHEY, R. J.; LUTZ, J. A.; CHURCHILL, D. J.; NORTH, M. P. Mixed severity fire effects within the Rim fire: relative importance of local climate, fire weather, topography, and forest structure. **Forest Ecology and Management**, v. 358, p. 62-79, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.001>

KEANE, R. E. Tree Data (TD): sampling method. In: LUTES, D. C.; KEANE, R. E.; CARATTI, J. F.; KEY, C. H.; BENSON, N. C.; SUTHERLAND, S.; GANGI, L. J. **FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System**. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 1 CD., v. 164, 2006. TD1 – TD19. <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-164>

KEELEY, J. E. Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. **International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, v. 18, n. 1, p. 116-126, 2009. <https://doi.org/10.1071/WF07049>

KELLY, L. T.; BENNETT, A. F.; CLARKE, M. F.; MCCARTHY, M. A. Optimal fire histories for biodiversity conservation. **Conservation Biology**, v. 29, n. 2, p. 473-481, 2015. <https://doi.org/10.1111/cobi.12384>

KILGORE, B. M. Fire in ecosystem distribution and structure: western forests and scrublands. In: MOONEY, H. A.; BONNICKSEN, T. M.; CHRISTENSEN, N. L. (tech.cord). **Proceedings of the Conference: Fire Regimes and Ecosystem Properties**, USDA Forest Service, General Technical Report WO-GTR-26. Logan, p. 58-89, 1981. Disponível em: <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1077&context=bark-beetles>. Acesso em: out. 2018.

KNOX, K. J.; CLARKE, P. J. Measuring fire severity: Are canopy, understorey and below-ground measures coupled in sclerophyll forest fires?. **Plant ecology**, v. 217, n. 6, p. 607-615, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11258-016-0609-6>

KÜÇÜK, Ö.; BİLGİLİ, E.; SAĞLAM, B.; BAŞKAYA, S.; DURMAZ, B. D. Some parameters affecting fire behavior in Anatolian black pine slash. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 32, n. 2, p. 121-129, 2008. Disponível em: <http://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/issues/tar-08-32-2/tar-32-2-5-0709-15.pdf>. Acesso em: out. 2018.

LECINA-DIAZ, J.; ALVAREZ, A.; RETANA, J. Extreme fire severity patterns in topographic, convective and wind-driven historical wildfires of Mediterranean pine forests. **PLoS one**, v. 9, n. 1, p. e85127, 2014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085127>

LENZA, E.; FERREIRA, J. N.; CONSOLARO, H.; AQUINO, F. G. Biologia reprodutiva de *Rourea induta* Planch. (Connaraceae), uma espécie heterostílica de cerrado do Brasil Central. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 389-398, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042008000300003>

LINDOSO, L. C. Termo de Ajustamento de Conduta com população quilombola residente na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. **Anais do V Seminário de Áreas Protegidas e Inclusão Social**, UFAM, Manaus-AM. 2011.

LINDOSO, L. C.; PARENTE, T. 2013. Fogo, liberdade e sofrimento nos Gerais do Jalapão: uma análise à luz do conceito de recursos de uso comum. In: **Anais do VI Seminário de Áreas Protegidas e Inclusão Social**, UFMG, Belo Horizonte - MG, 2013.

LINDOSO, L. C. **Recursos de uso comum nos Gerais do Jalapão: uma análise institucionalista do termo de compromisso com populações tradicionais no interior de unidades de conservação**. 207 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de

Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional, Palmas (TO), 2014. Disponível em:

<http://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/203/1/Lilian%20de%20Carvalho%20Lindoso%20-%20Disserta%20c3%a7%20c3%a3o.pdf>. Acesso em: out. 2018.

LYDERSEN, J. M.; COLLINS, B. M.; BROOKS, M. L.; MATCHETT, J. R.; SHIVE, K. L.; POVAK, N. A.; KANE, V. R.; SMITH, D. F. Evidence of fuels management and fire weather influencing fire severity in an extreme fire event.

Ecological applications, v. 27, n. 7, p. 2013-2030, 2017.

<https://doi.org/10.1002/eap.1586>

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. (2018a). **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**

(BDMEP). Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: 27 de março de 2018.

MARTÍN, S. D.; BIRK, E. L. The singular role of the atmospheric stability in forest fires. **Atmósfera**, Ciudad de México, v. 23, n. 2, p. 129-139, 2010.

Disponível em: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-62362010000200002&script=sci_arttext&lng=en>. Acesso em: out. 2018.

MASCARENHAS, A. Prevenção aos incêndios florestais na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins: ações gerenciais e perspectivas de resultados. In: MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Manejo integrado do fogo em áreas protegidas no Brasil**. Iperó: ICMBio, 2013. p. 38 – 40.

MASSI, K. G.; FRANCO, A. C. How does resprouting response differ among three species of savanna trees and in relation to plant size?. **Acta Botanica Brasilica**, v. 30, n. 4, p. 693-699, 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-33062016abb0264>

MELO, M. M.; SAITO, C. H. Regime de queima das caçadas com uso do fogo realizadas pelos Xavante no cerrado. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, n. 2, p. 97-109, 2011. Disponível em:

<https://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/article/view/110/110>. Acesso em: out. 2019.

MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA, A. C. The fire factor. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a Neotropical Savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=gp2eBdNOtS0C&oi=fnd&pg=PR7&dq=The+Cerrados+of+Brazil:+Ecology+and+Natural+History+of+a+Neotropical+Savanna&ots=MossCPNRIX&sig=WzZlXdykqp1IqY8JWuumDWW9CY#v=onepage&q=The%20Cerrados%20of%20Brazil%3A%20Ecology%20and%20Natural%20History%20of%20a%20Neotropical%20Savanna&f=false>. Acesso em out. 2018.

MIRANDA, M. S.; ROCHA E SILVA, E. P.; MIRANDA, A. C. Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo. In: Impactos de queimadas em áreas de

Cerrado e Restinga (Miranda, H. S.; Saito, C. H.; Dias, B. F. S, Eds). **Anais...** Brasília, p. 1 – 10, 1996.

_____. **O Bioma Cerrado**, 2018. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>>, acesso em: fev. 2019.

MISTRY, J. Decision-making for fire use among farmers in savannas: an exploratory study in the Distrito Federal, central Brazil. **Journal of environmental Management**, [s. l.], v. 54, n. 4, p. 321-334, 1998.
<https://doi.org/10.1006/jema.1998.0239>

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira**. Atualização - Portaria MMA 9, de 23 de janeiro de 2007. Ministério do Meio Ambiente (MMA) / Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF). Série Biodiversidade, 31. Brasília, 2007. 301 p. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/biodiversidade31.pdf. Acesso em out. 2018.

_____. 2013. Atlas do corredor ecológico da região do Jalapão. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, v. 2. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/projetojalapao/images/stories/atlas/AtlasJica_2013_COMPLETO.pdf. Acesso em: out. 2018.

_____. **Dados Georreferenciados**. 2020a. Disponível em:
<https://www.mma.gov.br/areas-protetidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georreferenciados>. Acessado em: out. 2020.

_____. **O Bioma Cerrado**. 2020b. Disponível em:
<https://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>. Acesso em: out. 2020.

_____. Painel: unidades de conservação brasileiras. 2019a. Disponível em:
<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaMDNmZTA5Y2ltNmFkMy00Njk2LWI4YjYtZDJINzFkOGM5NWQ4IiwidCI6IjJmZmE5LTNmOTMtNGJiMS05ODMwLTZyNDY3NTJmMDNINCIslmMiOjF9>. Acesso em: 20 fev. 2019.

_____. **Plano de manejo: Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), 2014. Disponível em:
<https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/cerrado/unidades-de-conservacao-cerrado/2068-esec-serra-geral-do-tocantins>. Acesso em: out. 2018.

_____. **Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas – PNAP**. 2006. Disponível em:
https://www.mma.gov.br/estruturas/205/_arquivos/planonacionaareasprotegidas_205.pdf. Acesso em: out. 2020

_____. Unidades de conservação. 2019b. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/o-que-sao.html>. Acesso em: set. 2019.

MOREIRA, F.; CATRY, F.; DUARTE, I.; ACÁCIO, V.; SILVA, J. S. (2008). A conceptual model of sprouting responses in relation to fire damage: an example with cork oak (*Quercus suber* L.) trees in Southern Portugal. In: **Forest Ecology**. Springer, Dordrecht, 2008. p. 77-85. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2795-5_7

MORENO, J. M.; OECHEL, W. C. A simple method for estimating fire intensity after a burn in California chaparral. **Acta Oecologica-Oecologia Plantarum**, v. 10, n. 1, p. 57–68, 1989. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jose_Moreno16/publication/236872127_moreno_oechel_1989_acta_oecol_10_57-68/links/00463519c58d9ded93000000.pdf. Acesso em: out. 2018

MORENO, J. M.; TORRES, I.; LUNA, B.; OECHEL, W. C.; KEELEY, J. E. Changes in fire intensity have carry-over effects on plant responses after the next fire in southern California chaparral. **Journal of Vegetation Science**, v. 24, n. 2, p. 395-404, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2012.01466.x>

MORGAN, P.; KEANE, R. E.; DILLON, G. K.; JAIN, T. B.; HUDAK, A. T.; KARAU, E. C.; SIKKINK, P. G.; ZACHARY A. HOLDEN, Z. A.; STRAND, E. K. Challenges of assessing fire and burn severity using field measures, remote sensing and modelling. **International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, v. 23, n. 8, p. 1045-1060, 2014. <https://doi.org/10.1071/WF13058>

MUNHOZ, C. B. R.; FELFILI, J. M. Fitossociologia do estrato herbáceo-subarbustivo de uma área de campo sujo no Distrito Federal, Brasil. **Acta botanica brasílica**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 671-685, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000300017>

MYERS, N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, [s. l.], v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000. <https://doi.org/10.1038/35002501>

NGUYEN, T. T.; MURPHY, B. P.; BAKER, P. J. The existence of a fire-mediated tree-recruitment bottleneck in an Asian savanna. **Journal of Biogeography**, v. 46, n. 4, p. 745-756, 2019. <https://doi.org/10.1111/jbi.13518>

NICHOLSON, Á.; PRIOR, L. D.; PERRY, G. L.; BOWMAN, D. M. High post-fire mortality of resprouting woody plants in Tasmanian Mediterranean-type vegetation. **International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, v. 26, n. 6, p. 532-537, 2017. <https://doi.org/10.1071/WF16211>

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. **Biotropica**, [s. l.], v. 32, n. 4b, p. 793-810, 2000. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00619.x>

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado Biome. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical Savana**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 91-120. Disponível em:

<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=gp2eBdNOtS0C&oi=fnd&pg=PR7&dq=The+cerrados+of+Brazil:+ecology+and+natural+history+of+a+neotropical+savana&ots=MosscPNWiW&sig=oddmpnkCBlqGafwqhjFYAZNx2Q#v=onepage&q=The%20cerrados%20of%20Brazil%3A%20ecology%20and%20natural%20history%20of%20a%20neotropical%20savana&f=false>. Acesso em: out. 2018.

OLIVEIRA-FILHO, E. C.; BRITO, D. Q.; DIAS, Z. M. B.; GUARIEIRO, M. S.; CARVALHO, E. L.; FASCINELI, M. L.; NIVA, C.C.; GRISOLIA, C. K. Effects of ashes from a Brazilian savanna wildfire on water, soil and biota: an ecotoxicological approach. **Science of the Total Environment**, v. 618, p. 101-111, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.051>

OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical Savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=gp2eBdNOtS0C&oi=fnd&pg=PR7&dq=The+cerrados+of+Brazil:+ecology+and+natural+history+of+a+neotropical+savana&ots=MosscPNWiW&sig=oddmpnkCBlqGafwqhjFYAZNx2Q#v=onepage&q=The%20cerrados%20of%20Brazil%3A%20ecology%20and%20natural%20history%20of%20a%20neotropical%20savana&f=false>. Acesso em: out. 2018.

OTTMAR, R. D.; VIHANEK, R. E.; MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; ANDRADE, S. M. A. **Stereo-photo series for quantifying cerrado fuels in Central Brazil—Volume I**. USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station, General Technical Report PNW-GTR-519. (Portland, OR), 2001.

OVERBECK, G.; MÜLLER, S. C.; PILLAR, V. D.; PFADENHAUER, J. Fine-scale post-fire dynamics in southern Brazilian subtropical grasslands. **Journal of Vegetation Science**, v. 16, n. 6, p. 655-664, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2005.tb02408.x>

PARSONS, R.; JOLLY, W. M.; HOFFMAN, C.; OTTMAR, R. The role of fuels in extreme fire behavior. In: WERTH, P. A.; POTTER, B. E.; ALEXANDER, M. E.; CLEMENTS, C. B.; CRUZ, M. G.; FINNEY, M. A.; FORTHOFFER, J. M.; GOODRICK, S. L.; HOFFMAN, C.; JOLLY, W. M.; MCALLISTER, S. S.; OTTMAR, R. D.; PARSONS, R. A. **Synthesis of knowledge of extreme fire behavior**. Portland, (OR): Pacific Northwest Research Station, 2016. p. 55-82.

PAUSAS, J. G.; KEELEY, J. E. A burning story: the role of fire in the history of life. **BioScience**, Oxford, v. 59, n. 7, p. 593-601, 2009. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.10>

PIVELLO, V. R. Fire management for biological conservation in the Brazilian Cerrado. In: MISTRY, J.; BERARDI, A. (Ed.) **Savanas and dry forests - linking people with nature**. [S.l.: s.n.], 2006. p. 129-154. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=NpGf-10VG-IC&oi=fnd&pg=PR10&dq=Savanas+and+dry+forests+-+linking+people+with+nature&ots=Xppmolhql-&sig=-QRilvKpNi9jPV8W7EHvJ33Pirw#v=onepage&q=Savanas%20and%20dry%20forests%20-%20linking%20people%20with%20nature&f=false>. Acesso em: out. 2018.

PIVELLO, V. R. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. **Fire ecology**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 24-39, 2011. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024>

POSEY, D. Manejo da floresta secundária, capoeiras, campos e cerrados. In: B. RIBEIRO (org.). **Suma Etnológica Brasileira**, t. 1. Petrópolis, Vozes, 1987.

PYNE, S. J. Forged in fire: history, land, and anthropogenic fire. In: BALÉE, W. **Advances in historical ecology**. New York: Columbia University Press, 1998. p. 62-103. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=PuadAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=Advances+in+historical+ecology&ots=nD8Drhm45m&sig=mpTuJ886wAnhlbQK0nr9n5ITZkQ#v=onepage&q=Advances%20in%20historical%20ecology&f=false>. Acesso em: out. 2018.

RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J. A. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. **Global biogeochemical cycles**, v. 13, n. 4, p. 997-1027, 1999. <https://doi.org/10.1029/1999GB900046>

REBERTUS, A. J.; WILLIAMSON, G. B.; PLATT, W. J. Impacts of temporal variation in fire regime on savanna oaks and pines. In: **Proceedings of the Tall Timbers Fire Ecology Conference**. 1993. p. 215-225.

RIBEIRO, J. F.; SANO, S. M.; MACÊDO, J.; SILVA, J. A. **Os principais tipos fitofisionômicos da região dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1983. 28p. (EMBRAPA-CPAC. Boletim de Pesquisa, 21). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/548930>. Acesso em: out. 2018.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. **Cerrado: ecologia e flora**, Planaltina, v. 1, p. 151-212, 2008.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC, 1998. p. 89-166.

ROTHERMEL, R. C. **A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels**. Res. Pap. INT-115. Ogden, UT: USDA, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 40 p., v. 115, 1972.

RUSSELL-SMITH, J.; RYAN, P. G.; DURIEU, R. A LANDSAT MSS-Derived fire history of Kakadu National Park, monsoonal northern australial, 1980-94: seasonal extent, frequency and patchiness. **Journal of Applied Ecology**, v. 34, n. 3, p. 748-766, 1997. Doi:10.2307/2404920

RYAN, K.; NOSTE, N. Evaluating prescribed fires. In: LOTAN, J. E. et al. (tech. coor) Proceedings - **Symposium and Workshop on Wilderness Fire**. USDA Forest Service Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-182. pp. 230-238, 1985.

SÁNCHEZ, E. G.; DE LAS HERAS, J.; LUCAS-BORJA, M.; MOYA, D. Assessing fire severity in semi-arid environments: application in Donceles 2012 wildfire (SE Spain). **Revista de Teledetección**, n. 49, p. 103-113, 2017. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7121>

SANTOS, M. M. **Caracterização e modelagem do material combustível de cerrado campestre na região do Jalapão – Tocantins, Brasil**. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Conservação da Natureza, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2019. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/39602/recent-submissions>. Acesso em: out. 2019.

SCHMIDT, I. B.; FONSECA, C. B.; FERREIRA, M. C.; SATO, M. N. Implementação do programa piloto de manejo integrado do fogo em três unidades de conservação do Cerrado. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, v. 6, n. 2, p. 55-70, 2016. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/article/view/656/493>. Acesso em: jan. 2020.

SCHMIDT, I. B.; SAMPAIO, M. B.; FIGUEIREDO, I. B.; TICKTIN, T. Fogo e artesanato de capim-dourado no Jalapão—usos tradicionais e consequências ecológicas. **Biodiversidade brasileira**, Brasília, n. 2, p. 67-85, 2011. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/article/view/116/99>. Acesso em: out. 2019.

SCHOLES, R. J. Convex relationships in ecosystems containing mixtures of trees and grass. **Environmental and resource economics**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 559-574, 2003. <https://doi.org/10.1023/B:EARE.0000007349.67564.b3>

SCHWILK, D. W.; ACKERLY, D. D. Flammability and serotiny as strategies: correlated evolution in pines. **Oikos**, v. 94, n. 2, p. 326-336, 2001. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2001.940213.x>

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, p. 507-512, 1974.

SCRUTON, R. **Filosofia verde: como pensar seriamente o planeta**. São Paulo: É Realizações, 2016.

SEGER, C. D.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F.; SOARES, R. V. Comportamento do fogo em queimas controladas de vegetação de Estepe no município de Palmeira, Paraná, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v.43, n.4, p.557-568, 2013. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v43i4.31385>

SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a Tropical Savanna hotspot. **BioScience**, Oxford, v. 52, n. 3, p. 225-234, 2002. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0225:BPACIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0225:BPACIT]2.0.CO;2)

SIMON, M. F.; GREYER, R.; QUEIROZ, L. P. DE; SKEMA, C.; PENNINGTON, R. T.; HUGHES, C. E. Recent assembly of the Cerrado, a Neotropical plant diversity hotspot, by *in situ* evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 48, p. 20359-20364, 2009. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903410106>

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

SOW, M.; HÉLY, C.; MBOW, C.; SAMBOU, B. Fuel and fire behavior analysis for early-season prescribed fire planning in Sudanian and Sahelian savannas. **Journal of arid environments**, v. 89, p. 84-93, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.09.007>

THE WORLD BANK. Terrestrial protected areas (% of total land area). 2017. Disponível em: https://data.worldbank.org/indicator/ER.LND.PTLD.ZS?end=2017&locations=BR&start=2017&view=bar&year=2016&year_high_desc=true. Acesso em: fev. 2019.

TOCANTINS. **Base de dados geográficos do Tocantins** – atualização 2012. Secretaria da Fazenda e Planejamento. 2012. Disponível em: <http://www.sefaz.to.gov.br/zoneamento/bases-vetoriais/bases-vetoriais/base-de-dados-geograficos-do-tocantins---atualizacao-2012/>. Acessado em: out. 2018.

TOCANTINS. **Estatísticas das áreas queimadas no estado do Tocantins**: 2006 - 2016. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMARH. Centro de Monitoramento Ambiental e Manejo do Fogo – CeMAF. The Global Fire Monitoring Center – GFMC, 2017.

VAN DER WERF, G. R.; RANDERSON, J. T.; GIGLIO, L.; COLLATZ, G. J.; MU, M.; KASIBHATLA, P. S.; MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; JIN, Y.; VAN LEEUWEN, T. T. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 10, n. 23, p. 11707-11735, 2010. <https://doi.org/10.5194/acp-10-11707-2010>

WAKELING, J. L.; STAYER, A. C.; BOND, W. J. Simply the best: the transition of savanna saplings to trees. **Oikos**, v. 120, n. 10, p. 1448-1451, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19957.x>

XANTHOPOULOS, G. Forest fire policy scenarios as a key element affecting the occurrence and characteristics of fire disasters. In: **Proceeding of the 4th International Wildland Fire Conference**. 2007. p. 13-17. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/42569897/Forest_fire_policy_scenarios_as_a_key_el20160211-8561-chaz8l.pdf?1455177739=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DForest_fire_policy_scenarios_as_a_key_el.pdf&Expires=1595164957&Signature=JdwIMhFH04dHsg5s3PiU8p7wi4mb4KB0ywUKWu5-J0YBi1eweMZWLzauRDWDy9-tA7CT85TdHKin2ICBPc9BTJSJkHLQSZnDh~q2Hd8h4MHx-1j40gkiKk1DH6qEbqPUJ0IF7qHyrbUTpdpQ029T77Ea8PhDinHBEv0rMGEocpX2O2EJMdnbQQFJFT6HI1oCx4vJU-KdoujqgodRqByKv~A3T~Zwln~9h-ZrG592zSNkE4lnzkYjnTcS9WSsRyYgRQ0dmBMgM5b5RpnIKH5MO0qfHGmma0tTPO19FnL1PbvRiNc1i7jGyzg5uWh13yE3T6wUqskQGo~8L5To-kheUg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: out. 2018.