






Prediction of the variables of fire behavior at *sensu stricto* Cerrado in southern Tocantins

Jader Nunes Cachoeira ^{1*} Allan Deyvid Pereira da Silva ¹ Manoel Ribeiro Souza Júnior² Antonio Carlos Batista ¹ Marcos Giongo ² Eduardo Ganassoli Neto¹ Daniela Biondi Batista ¹

¹Universidade Federal do Paraná, Av. Prof. Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, Ciências Agrárias, CEP 80210-170, Curitiba, PR, Brasil

²Universidade Federal do Tocantins, Rua Badejós, 69 e 72, Zona Rural, Cx. postal 66, CeMAF, CEP: 77404-970, Gurupi, TO, Brasil

Original Article

*Corresponding author:
jadernunes@uft.edu.br

Keywords:

Controlled burn

Modeling

Combustible material

Palavras-chave:

Queima controlada

Modelagem

Material combustível

Received in

2018/06/15

Accepted on

2020/04/07

Published in

2020/06/30



DOI:<https://doi.org/10.34062/afs.v7i2.6854>



ABSTRACT: The use of mathematical models to predict the fire behavior and the load of combustible material constitutes an important tool at fire management. The objective of this study was to estimate fuel material load and parameters of fire behavior using mathematical equations, at area under controlled burns. The prescribed burn occurred in two plots of 10 x 140 m each. For the characterization of the combustible material, destructive sampling was performed in 14 points per plot of 1m², classified in vivo and dead by diameter class. During the controlled burns the fire behavior variables were obtained and the meteorological conditions were monitored. The mathematical equations were obtained through multiple linear regression using the stepwise procedure. The average blanket thickness was significant to estimate the load of dead fuel material per area, being R²aj superior to 0,5; and the highest Syx% of 17,75%. The values obtained at sampling allowed the development of a valid equation for the estimation of flame height only at area II. The equations to estimate the fire propagation at areas I, II and both areas obtained the following data: R²aj of 0,54, 0,66 and 0,72, respectively; and Syx% of 18,07, 15,30 and 20,62%, respectively. The variables of the fire behavior obtained greater influences of the relative humidity of the air and of the temperature, what made possible the development of mathematical equations for estimates of the behavior of the fire.

Predição de variáveis do comportamento do fogo em Cerrado *sensu stricto* no sul do Tocantins

RESUMO: O uso de modelos matemáticos para prever o comportamento do fogo e a carga de material combustível constitui importante ferramenta no manejo dos incêndios. O objetivo deste trabalho foi estimar a carga de material combustível e os parâmetros do comportamento do fogo mediante equações matemáticas, em área submetida a queimas controladas. As queimas controladas ocorreram em duas parcelas de 10 x 140 m cada. Para a caracterização do material combustível realizou-se amostragem destrutiva em 14 pontos por parcela de 1 m², classificado em vivo e morto por classe diamétrica. Durante as queimas controladas foram obtidas as variáveis do comportamento do fogo e as condições meteorológicas foram monitoradas. As equações matemáticas foram obtidas por meio de regressão linear múltipla utilizando-se o procedimento stepwise. A espessura média da manta orgânica foi significativa para estimar a carga de material combustível morto por área, sendo que o R²aj foi superior a 0,5 e o maior Syx% de 17,75%. Os valores obtidos na amostragem permitiram o desenvolvimento de uma equação válida para estimar a altura das chamas apenas na área II. As equações para estimar a propagação do fogo nas áreas I, II e as duas conjuntamente obtiveram R²aj de 0,54, 0,66 e 0,72, respectivamente, e o Syx% de 18,07, 15,30 e 20,62%. As variáveis do comportamento do fogo obtiveram maiores influências da umidade relativa do ar e da temperatura, o que viabilizou o desenvolvimento de equações matemáticas para estimativas do comportamento do fogo.

Introdução

Uma tendência conceitual recorrente no século XX era de que o fogo sempre fosse um fenômeno daninho e esse conceito 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, 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 a grande quantidade de biomassa subterrânea, tecidos reprodutivos subterrâneos e tecidos termoisolantes do caule 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 (Simon et al. 2009).

Alguns biomas brasileiros, como o Cerrado e os Campos Sulinos, são manejados com o uso do fogo (Fidelis e Pivello 2011). Particularmente no Cerrado, as políticas de combate ao fogo se justificam devido aos graves incêndios que ocorrem durante a estação seca.

O Estado do Tocantins possui 91% do seu território coberto pelo bioma Cerrado e o fogo representa importante fator ecológico, afetando a conservação da biodiversidade e a gestão dos recursos ambientais, sendo 28.737.950 ha queimados no período de 2003 a 2011, com média anual de 3.200.000 ha (Sousa e Giongo 2017).

De acordo com Camargos et al. (2015) as respostas das plantas aos impactos do fogo variam conforme a intensidade, a frequência e a duração dos incêndios, sendo distintos conforme a formação vegetacional atingida, sendo que o estudo do comportamento do fogo é essencial para se compreender os componentes deste processo e seus efeitos. Neste sentido, o comportamento do fogo em áreas florestais é o resultado da interação entre o material combustível, com as condições de clima e características topográficas (Soares et al. 2017).

O comportamento do fogo correlaciona os aspectos tanto da prevenção, a exemplo da realização de queimas controladas para redução do material combustível florestal, quanto da mitigação, sendo ambos elementos base como instrumentos no manejo do fogo. Por estes motivos constitui um elemento central de toda a gestão dos incêndios florestais em qualquer parte do mundo (Kunst et al. 2012).

O uso de modelos matemáticos para prever o comportamento do fogo, bem como obter indiretamente a carga de material combustível, constitui importante ferramenta no manejo dos incêndios, como, por exemplo, realização de queimadas controladas, determinação do perigo de ocorrência de incêndios, delineamento das áreas de maior risco, dentre outros. Os modelos ou equações utilizadas para a estimativa do comportamento do

fogo são baseados na experiência a partir de experimentos de queima (Küçük et al. 2008; White et al. 2013).

Neste sentido, como o manejo dos incêndios florestais depende de informações do comportamento do fogo, o objetivo desse trabalho foi analisar as variáveis do comportamento do fogo e caracterizar o material combustível desenvolvendo equações matemáticas para estimá-los baseados em variáveis de fácil obtenção como temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e espessura média da manta orgânica, em área de Cerrado sensu stricto, submetidas a queimas controladas.

Material e Métodos

Para a realização desta pesquisa foi instalado um experimento de queima controlada em um fragmento de Cerrado sensu stricto localizado na Fazenda Água Limpa, município de São Salvador do Tocantins, no Estado do Tocantins, cuja localização geográfica é 48°29'23.119''O e 12°42'27.818''S, WGS84 (Figura 1).

De acordo com SEPLAN (2012), a área está localizada em uma região classificada conforme Thornthwaite no clima C2wA''a'', clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm, distribuindo-se no verão em torno de 420 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevadas. A temperatura média anual gira entre 25 e 26 °C com uma precipitação média anual em torno dos 1.500 mm.

A fitofisionomia de Cerrado presente na área de estudo é o Cerrado sensu stricto. Esta fitofisionomia apresenta uma menor cobertura de gramíneas e uma maior cobertura arbustivo-arbórea compostas por árvores baixas, inclinadas, com troncos e ramificações irregulares e retorcidas, geralmente com evidências de queimadas (SEPLAN 2012).

Para a realização do experimento foram demarcadas duas parcelas denominadas I e II de 10 x 140 m cada, no mesmo sentido e distantes 150 m uma da outra. Em cada parcela foram fixadas balizas nas laterais e demarcados transectos a cada 5 m, a fim de auxiliar na obtenção dos dados de comportamento do fogo e material combustível, conforme Figura 2.

A determinação da quantidade do material combustível baseou-se no método destrutivo proposto por Brown et al. (1982), utilizado por outros pesquisadores como Gould et al. (2011). Em cada parcela foram coletadas sete amostras delimitadas por gabarito de cano pvc de 1 m². O material combustível foi dividido em material combustível vivo (verde) e morto (seco) e classificado de acordo com as classes diamétricas: <0,7 cm; 0,7 a 2,4 cm; 2,5 a 7,6 cm e >7,6 cm.

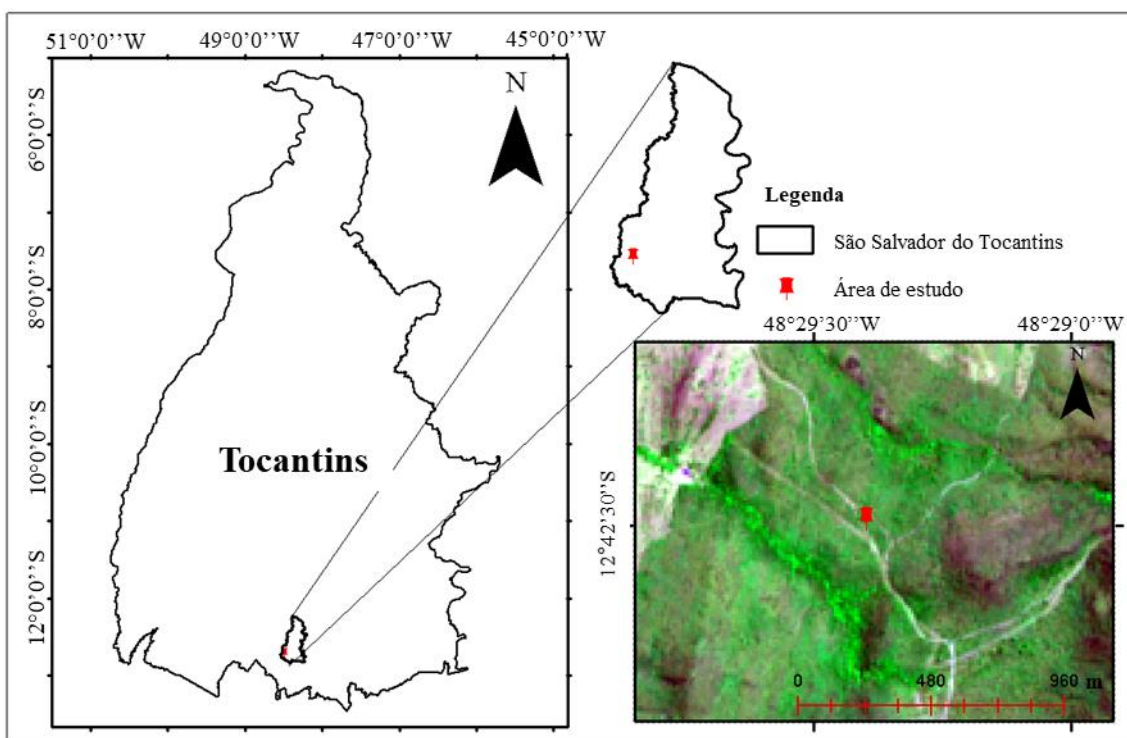


Figura 1. Localização da área de estudo.

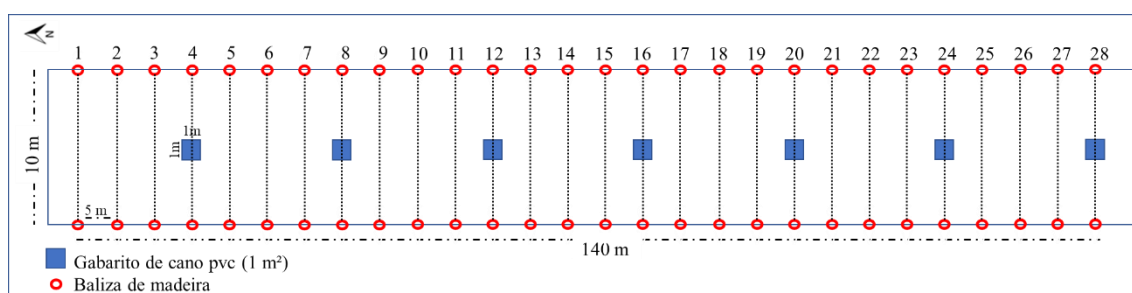


Figura 2. Desenho experimental.

Também foi medida a altura da manta orgânica com o uso de régua graduada com precisão de 0,1 cm em cada vértice do quadrante de 1 m², obtendo-se a espessura média, que foi a variável independente usada na análise estatística.

As coletas dos dados do comportamento do fogo seguiram as metodologias recomendadas por Batista et al. (2013). Desta maneira, em cada parcela foram realizadas 28 observações das seguintes variáveis do comportamento do fogo: a) velocidade de propagação, em m.s⁻¹; b) altura das chamas, obtida visualmente e com o auxílio das balizas posicionadas nas laterais de cada parcela, em cm e; c) intensidade do fogo, estimada pela equação proposta por Byram (1959), sendo a taxa de energia ou calor liberado por unidade de tempo e por unidade de comprimento da frente do fogo, dada pela equação (1).

$$I = Hwr \quad (1)$$

Sendo:

I = intensidade do fogo (kcal.m⁻¹.s⁻¹);
 H = poder calorífico combustível (3.875 kcal.kg⁻¹);
 w = massa do combustível disponível em t.ha⁻¹;
 r = velocidade de propagação do fogo em m.s⁻¹.

Durante a realização das queimas, as variáveis meteorológicas foram monitoradas com uso de estação meteorológica portátil da marca Kestrel 4000, distante 10 m das parcelas e a 1,8 m de altura do solo. Foram coletados os dados de velocidade do vento (m.s⁻¹), temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%), a cada minuto desde o início até final da queima de cada parcela, sendo utilizada a média das leituras para aplicação nas análises do comportamento do fogo.

Por fim, foram realizadas as análises de regressão, pelo método stepwise a fim de gerar equações de previsão de carga do material combustível utilizando-se da altura média da manta orgânica como variável independente e equações

para as variáveis do comportamento do fogo, tendo as variáveis meteorológicas como independentes. A seleção das equações foi baseada nos critérios de maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e no menor erro padrão da estimativa em percentagem (Syx%), segundo critérios estabelecidos por Beutling (2009).

Todas as análises de dados foram realizadas com o pacote de software STATISTICA versão 8.0. A significância dos modelos foi avaliada com o teste F e a estatística t foi usada para testar a significância dos coeficientes dos modelos.

Resultados e discussão

Os trabalhos de campo foram realizados na estação seca no mês de outubro de 2016 e não houve chuva nos 15 dias anteriores, porém poucas horas após as queimas ocorreu chuva. As queimas foram realizadas em períodos distintos do mesmo dia. Enquanto na área I a queima iniciou pela manhã (8 h) com duração de 5,7 h, na área II a queima teve

início no final da tarde (16 h), com duração de 6,9 h. Durante as queimas as variáveis obtidas com a estação meteorológica portátil apresentaram médias para a área I de $35,9 \pm 3,07$ °C para temperatura do ar, $37,1 \pm 6,82\%$ de umidade relativa do ar e $0,10 \pm 0,20$ m.s⁻¹ para velocidade média do vento e para a área II de $34,0 \pm 1,24$ °C para temperatura do ar, $39,9 \pm 2,06\%$ para umidade relativa do ar e $0,50 \pm 0,43$ m.s⁻¹ para velocidade média do vento.

Os valores médios da carga de material combustível (MC) vivo e morto e a carga total de MC estão apresentados na Tabela 1. Observa-se que o MC morto é o mais representativo em ambas as parcelas, sendo 61,81% na área I e 68,96% na área II, ao passo que o material vivo representou 38,19 e 31,04%, respectivamente, constituído basicamente pelos materiais com diâmetro menor ou igual a 0,7 cm, sendo este mais abundante na área II, com 0,897 t.ha⁻¹ (45,35%). No entanto, a carga total do MC (vivo e morto) foi maior na área I, com 2,236 t.ha⁻¹.

Tabela 1. Material combustível (t.ha⁻¹) coletado em cada local antes das queimas.

Material combustível	Área I (t.ha ⁻¹)	%	Área II (t.ha ⁻¹)	%
Vivo				
< 0,7 cm	0,507	22,67	0,301	15,22
0,7-2,4 cm	0,347	15,52	0,313	15,82
2,5-7,6 cm	--	--	--	--
> 7,6 cm	--	--	--	--
Total (vivo)	0,854	38,19	0,614	31,04
Morto				
< 0,7 cm	0,770	34,44	0,897	45,35
0,7-2,4 cm	0,491	21,96	0,410	20,73
2,5-7,6 cm	0,121	5,41	0,057	2,88
> 7,6 cm	--	--	--	--
Total (morto)	1,382	61,81	1,363	68,96
Total (vivo e morto)	2,236	100,00	1,978	100,00

As cargas totais de MC encontrada nas áreas deste estudo condizem com os encontrados por Sow et al. (2013) que, trabalhando nas savanas no Senegal, em áreas com quantidades de material herbáceo bem superior às das áreas deste estudo, encontraram valores médios de 1,32 a 5,29 t.ha⁻¹.

Entretanto, em outras fitofisionomias e em variantes do Cerrado sensu stricto, a carga total de MC pode variar. Miranda (2010), em uma área Cerrado sensu stricto, sem incidência de fogo há dois anos, obteve a carga de combustível entre 9,8 e 19,2 t.ha⁻¹. Ribeiro et al. (2011) estimaram uma carga de 10,99 t.ha⁻¹ de MC composto de vegetação arbustiva e serapilheira. Estes mesmos autores apresentaram valores de carga de material para o estrato arbustivo variando de 2,62 a 3,20 t.ha⁻¹.

A deposição irregular dos materiais orgânicos, distribuição espacial de espécies, densidade das espécies vegetais que compõem as

áreas e o histórico de incêndios florestais são fatores que podem ser determinantes para a quantidade de MC encontrada entre as fitofisionomias (Matos et al. 2017).

A Tabela 2 apresenta as melhores equações encontradas para estimativa de carga total de MC (t.ha⁻¹) com base na espessura média da manta orgânica (cm) como única variável independente, sendo que nas áreas I e II a espessura média da manta foi de 2,79 e 3,03 cm, respectivamente.

As equações para estimar a carga do MC vivo por área e total (modelos 1 a 3) apresentaram os menores coeficientes de determinação (0,22-0,08), porém, em que pese o modelo 2 ter apresentado o melhor valor de F (3,37) também apresentou o maior erro (34,29%), indicando que a espessura média da manta orgânica, como única variável independente, não é indicada para estimar a carga de MC vivo.

Tabela 2. Equações de regressão para a estimativa da carga de material combustível vivo, morto e total em função da espessura média da manta orgânica.

Modelos	Área	Equação	R ² aj	Syx%	F
Material combustível vivo (MCv)					
1	I	MCv = 0,3843 + 0,1696.esp	0,22	20,89	2,68
2	II	MCv = 0,3843 + 0,1696.esp	0,28	34,29	3,37
3	I e II	MCv = 0,2669 + 0,1612.esp	0,08	32,75	2,11
Material combustível morto (MCm)					
4	I	MCm = -0,3377 + 0,3144.esp	0,59	17,75	9,70
5	II	MCm = -0,1364 + 0,4952.esp	0,65	12,77	12,23
6	I e II	MCm = 0,1138 + 0,4343.esp	0,60	15,15	20,56
Material combustível total (MCt)					
7	I	MCt = 0,5378 + 0,6134.esp	0,59	15,26	9,58
8	II	MCt = -0,4742 + 0,8096.esp	0,50	18,82	7,15
9	I e II	MCt = 0,3807 + 0,5955.esp	0,41	19,10	10,32

esp = espessura média da manta orgânica da respectiva área; R²aj = coeficiente de determinação; Syx% = erro padrão da estimativa, em %; F = valor do teste F, valor de significância.

Em contrapartida, para estimar as cargas do MC morto, por área e total (modelos 4 a 6), dos quais o modelo 5 foi o melhor, bem como para carga total de material por área (modelos 7 e 8) as equações foram significativas, dado que o R²aj foram iguais e superiores a 0,5, os Syx% apresentaram os menores valores e o teste F também demonstrou a significância, quando comparado aos demais modelos avaliados.

O fato dos R²aj calculados para as equações terem apresentado valores relativamente baixos deve-se à grande variabilidade existente em florestas nativas (Morais et al. 2017). Especialmente quanto aos materiais combustíveis vivos que não formam

uma camada tão uniforme quanto os mortos, conforme se verifica pela maior quantidade de combustíveis finos mortos apresentados na Tabela 1.

Dada a variabilidade inerente às áreas nativas, em comparação com a homogeneidade de áreas plantadas, os modelos 4 a 9 se prestam tão somente para a respectiva área e tipo de material em questão, ou seja, não foi possível estabelecer modelo único que abrangesse toda a área de estudo (I e II).

Na Tabela 3 são apresentadas as variáveis do comportamento do fogo obtidas quando da realização das queimas controladas em cada área.

Tabela 3. Variáveis coletadas e estimadas a partir de queima controlada realizada em Cerrado *sensu stricto*.

Variável	Local	
	I	II
A _{CH} (m)	0,30	0,38
V _{PROP} (m.s ⁻¹)	0,042	0,038
INT (kcal.m ⁻¹)	36,52	29,41

A_{CH}: Altura média das chamas durante a queima; V_{PROP}: Velocidade de propagação do fogo; INT: Intensidade do fogo.

Quando se compara os valores obtidos da altura média das chamas com os dados de carga total de MC da Tabela 2 há uma inversão. Ou seja, a área I com maior carga total de combustível apresentou menor valor médio da altura das chamas. Essa diferença ou inversão de situação pode ser explicada pela maior quantidade de MC morto com diâmetro <0,7 cm encontrados na área II associado com a velocidade do vento, 0,50 ± 0,43 m.s⁻¹ nesta área e 0,10 ± 0,20 m.s⁻¹ na área I.

Em áreas de Cerrado esta classe de MC possui maior inflamabilidade. Conforme estudos de Hoffmann et al. (2012) e Camargos et al. (2015) os materiais combustíveis finos (<0,7 cm) produzem

um leito de combustível com baixa densidade aumentando a inflamabilidade, proporcionado pela maior disponibilidade de oxigênio durante a combustão.

O fogo se propagou mais rapidamente na área I, bem como a intensidade das chamas foi maior nesta área. Isto se deve à maior carga total de MC presente na área I. Além disso, as variáveis meteorológicas temperatura e umidade relativa do ar também influenciaram, uma vez que quando da realização das queimas a temperatura do ar era mais alta e a umidade relativa do ar mais baixa na área I do que na área II.

Em um experimento de queima controlada, em área de Cerrado sensu stricto no município de Dueré (TO), cuja temperatura do ar e umidade relativa do ar foi de 26,4 °C e 74,6%, respectivamente, Reyes (2017) observou valores de altura das chamas de 0,57 m, velocidade de propagação de 0,03 m.s⁻¹ e intensidade das chamas de 30,48 kcal.m⁻¹.s⁻¹, valores próximos aos deste trabalho. Todavia, menciona-se que na área de estudo de Reyes (2017) a carga total de MC morto foi superior (7,43 t.ha⁻¹) ao das áreas deste estudo, com 47% pertencendo à classe diamétrica <0,7 cm. Estes valores ressaltam a relevância que os materiais mortos e as condições meteorológicas exercem sobre o comportamento do fogo.

De acordo com Soares et al. (2017) e Seger et al. (2018) a carga de combustível florestal é fator determinante para aumentar a intensidade de calor

liberado pelo fogo, sendo que a combinação de temperaturas elevadas com níveis amenos de umidade relativa do ar, evidenciam maior capacidade do MC entrar em ignição e do fogo se propagar.

As melhores equações matemáticas para estimar o comportamento do fogo nas áreas deste estudo encontram-se na Tabela 4. Foram utilizadas as variáveis independentes nas suas medidas originais e transformadas: temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Embora a adição de outras variáveis possa melhorar a capacidade preditiva das equações, quanto mais variáveis, maior é a dificuldade em obtê-las, portanto, optou-se por modelos baseados apenas em variáveis independentes mais fáceis de serem obtidas antes do fogo.

Tabela 4. Equações de regressão para as variáveis do comportamento do fogo em função das variáveis meteorológicas.

Área	Equação	R ² aj	Syx%	F
Altura da chama (m)				
I	$A_{ch} = 1,103819 - 0,0111.T.U$	0,40	17,90	19,27
II	$A_{ch} = 43,86 - 20,6282.ln(T) + 0,2201.T.U + 15,17.(T/U)$	0,70	18,11	22,03
I e II	$A_{ch} = -2,824 - 1,09^{-005}.T^3 + 0,0634.T.U - 4,96^{-007}.T.U^3$	0,21	28,62	5,93
Velocidade de propagação (m.s⁻¹)				
I	$V_p = -3,026435 - 5,8506-006.T^3 + 1,3914e-006.U^3 + 1,0671.ln(T) - 0,0075.T.U$	0,66	18,07	14,30
II	$V_p = -4,368653 - 0,0213.V^2 + 1,3099^{-005}.U^3 + 0,0152.V^3 + 2,4629.ln(T) - 0,0692.T.U$	0,72	15,30	15,07
I e II	$V_p = - 1,94613 - 4,1232^{-006}.T^3 + 0,7614.ln(T) - 0,0086.T.U + 4,5698^{-008}.T.U^3$	0,54	20,62	17,22
Intensidade do fogo (kcal.m⁻¹.s⁻¹)				
I	$I = -2622,254957 - 0,0051.T^3 + 0,0012.U^3 + 924,5694.ln(T) - 6,5289.T.U$	0,66	18,09	14,30
II	$I = -3348,463291 - 16,3511.V^2 + 0,0101.U^3 + 11,6675.V^3 + 1887,7993.ln(T) - 53,0223.T.U.$	0,72	15,16	15,07
I e II	$I = -1056,289352 + 739,7406.ln(T) - 21,7517.T.U + 0,0001.T.U^3 - 168,8909.T/U$	0,60	20,32	21,48

A_{ch} = Altura média das chamas; T = Temperatura do ar; U = Umidade relativa do ar; V_p = Velocidade de propagação do fogo; V = velocidade média do vento; R²aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx% = erro padrão da estimativa, em %; F = valor do teste F.

A equação para estimar a altura das chamas para a área II apresentou melhor valor de R²aj (0,70) com Syx% de 18,11% e valor de F superior às demais, demonstrando significativa capacidade de ser empregada para esta finalidade. Para a área I os valores de R²aj e Syx% não são aceitáveis. Como constatado por Hoffmann et al. (2012), a razão dessa

diferença reside nas mudanças das condições meteorológicas quando da realização das queimas em cada área. No início da queima na área I a temperatura do ar estava menor do que a umidade relativa do ar, porém, houve inversão quando o fogo alcançou a metade da área. Entretanto, na área II, cuja queima iniciou no final da tarde, não houve

alternância entre a temperatura do ar e a umidade relativa do ar, sendo que a umidade aumentava à medida que a temperatura do ar diminuía.

Reyes (2017) também obteve equações de estimativa da altura das chamas com base nas variáveis meteorológicas em Cerrado sensu stricto, sendo que a melhor apresentou R^2_{aj} de 0,72 e $Syx\%$ 35,2%. Porém, ao contrário deste estudo, a equação proposta por Reyes (2017) possui duas variáveis independentes a mais, quais sejam: o período do dia e a velocidade média do vento.

As equações para velocidade de propagação do fogo tiveram bom desempenho, cujos coeficientes de determinação foram, respectivamente, 0,66, 0,72 e 0,54 para a área I, II e ambas. Segundo Pereira et al (2012), o conhecimento da umidade dos materiais combustíveis é imprescindível para a estimativa de parâmetros ligados ao comportamento do fogo como, por exemplo, sua propagação. Para a área II, a equação apresentou relação com a velocidade média do vento o que era esperado, uma vez que quando da queima controlada nesta área, esta variável foi mais representativa do que no período das queimas da área I.

Estudos de Alexander e Cruz (2013) também indicaram que a taxa de propagação do fogo estava intimamente relacionada com a velocidade do vento. No trabalho de Küçük et al. (2018) a velocidade do vento explicou 85% da variação observada ($P < 0,01$) na taxa de propagação do fogo.

As equações obtidas para as áreas I, II e as duas conjuntamente para intensidade do fogo seguiram os mesmos padrões das equações obtidas para velocidade de propagação do fogo, cujos valores de R^2_{aj} e $Syx\%$ foram semelhantes. Dado que as variáveis meteorológicas predisseram bem a velocidade de propagação do fogo era esperado que também o fosse para estimarem a intensidade do fogo.

A equação obtida por Reyes (2017), também para intensidade do fogo em Cerrado sensu stricto, apresentou R^2_{aj} de 0,60 e $Syx\%$ de 74% com base nas variáveis de temperatura e umidade relativa do ar e velocidade do vento. O erro padrão maior pode estar relacionado ao fato de que neste estudo as queimas foram realizadas em apenas dois períodos do mesmo dia, ao passo que as queimas realizadas por Reyes (2017) se deram em três períodos diferentes do dia (manhã, tarde e noite).

Conclusões

A espessura da manta orgânica como única variável independente se mostrou insuficiente para estimar a carga de material combustível vivo, mas demonstrou ser relevante para carga de material combustível morto.

As variáveis do comportamento do fogo obtiveram maiores influências da umidade relativa do ar e da temperatura, o que viabilizou o

desenvolvimento de equações matemáticas para estimativas do comportamento do fogo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à equipe do Centro de Monitoramento Ambiental e Manejo do Fogo (CeMAF), da Universidade Federal do Tocantins e o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

- Alexander ME, Cruz MG (2013) Assessing the effect of foliar moisture on the spread rate of crown fires. *International Journal of Wildland Fire*, 22(4):415-427. doi: 10.1071/WF12008
- Barradas, ACS (2017) *A gestão do fogo na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, Brasil*. Dissertação, Escola Nacional de Botânica Tropical, Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 135p.
- Batista AC, Beutling A, Pereira JF (2013) Estimativa do comportamento do fogo em queimas experimentais sob povoamentos de *Pinus elliottii*. *Revista Árvore*, 37(5):779-787. doi: 10.1590/S0100-67622013000500001
- Beutling A (2009) *Modelagem do comportamento do fogo com base em experimentos laboratoriais e de campo*. Tese, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 141p.
- Brown JK, Oberheu RD, Johnston CM (1982) Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West. Gen. Tech. Rep. INT-129. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experimental Station. p. 1-22.
- Byram GM (1959) Combustion of forest fuels. In: Davis KP (ed) *Forest Fire Control and Use*. McGraw-Hill, New York. p. 61-89.
- Camargos VL, Ribeiro GA, Silva AF, Martins SV, Carmo FMDS (2015) Estudo do comportamento do fogo em um trecho de floresta. *Ciência Florestal*, 25(3):537-545. doi: 10.5902/1980509819605
- Fidelis A, Pivello VR (2011) Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos? *Biodiversidade brasileira*, (2):12-25.
- Gould JS, McCaw WL, Cheney NP (2011) Quantifying fine fuel dynamics and structure in dry eucalypt forest (*Eucalyptus marginata*) in Western Australia for fire management. *Forest Ecology and Management*, 262(3):531-546. doi: 10.1016/j.foreco.2011.04.022

- Hoffmann WA, JACONIS SY, Mckinley KL, Geiger EL, Gotsch SG, Franco AC (2012) Fuels or microclimate? Understanding the drivers of fire feedbacks at savanna–forest boundaries. *Austral Ecology*, 37(6):634-643. doi: 10.1111/j.1442-9993.2011.02324.x
- Küçük Ö, Bilgili E, Sağlam B, Başkaya S, Durmaz BD (2008) Some parameters affecting fire behavior in Anatolian black pine slash. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(2): 121-129.
- Kucuk, O., Bilgili, E., Uzumcu, R. (2018) Modeling surface fire rate of spread within a thinned Anatolian black pine stand in Turkey. *Forest systems*, 27(2), 3. doi: 10.5424/fs/2018272-12507
- Kunst C, Ledesma R, Bravo S, Defossé GE, Godoy J, Navarrete V (2012) Fire behavior in an Ecotonal Grassland of the Chaco region, Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 38(1): 4-9.
- Matos NM, Ribeiro FP, Gatto A, Bussinguer AP (2017) Litter Stock in Three Forest Types in Cerrado at Distrito Federal. *Floresta e Ambiente*, 24. doi: 10.1590/2179-8087.126215
- Miranda HS (2010) Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Projeto Fogo. Brasília: IBAMA.
- Morais VA, Mello JMD, Mello CRD, Silva CA, Scolforo JRS (2017) Spatial distribution of the litter carbon stock in the Cerrado biome in Minas Gerais state, Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*, 41(5):580-589. doi: 10.1590/1413-70542017415006917
- Pereira JF, Batista AC, Soares RV (2012) Variação da umidade do material combustível florestal em função de índices de perigo de incêndios. *CERNE*, 18(3): 371-376. Doi: 10.1590/S0104-77602012000300003
- Reyes RR (2017) *Avaliação do comportamento do fogo em áreas de pastagem e cerrado submetidas a queimas controladas*. Dissertação, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi. 54p.
- Ribeiro SC, Fehrmann L, Soares CPB, Jacovine LAG, Kleinn C, Gaspar RO (2011) Above-and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management*, 262(3):491-499. doi: 10.1016/j.foreco.2011.04.017
- Seger, C., Batista, A., Tetto, A., Soares, R., Biondi, D. (2018) Caracterização do material combustível fino da estepe gramíneo-lenhosa no estado do Paraná, Brasil. *Ciência Florestal*, 28(2), 863-874. doi: 10.5902/1980509832127
- SEPLAN. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. 2012. Superintendência de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico. Diretoria de Zoneamento Ecológico Econômico. *Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial*. Palmas: Sepplan. 80p.
- Simon, M. F., Grether, R., de Queiroz, L. P., Skema, C., Pennington, R. T., Hughes, C. E. (2009) 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*, 106(48), 20359-20364. doi: 10.1073/pnas.0903410106
- Soares RV, Batista AC, Tetto AF (2017) *Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo*. 2. Ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 255p..
- Sousa IMP, Giongo M (2017) Quantificação da área queimada no estado do Tocantins no período de 2003 a 2011 utilizando imagens do satélite TM/LANDSAT-5. *DESAFIOS*, 3:126-130. doi: 10.20873/uft.2359-3652.2016v3nespp126
- Sow M, Hély C, Mbow C, Sambou B (2013) Fuel and fire behavior analysis for early-season prescribed fire planning in Sudanian and Sahelian savannas. *Journal of arid environments*, 89:84-93. doi: 10.1016/j.jaridenv.2012.09.007
- White BLA, Ribeiro GT, Souza RM (2013) O uso do BehavePlus como ferramenta para modelagem do comportamento e efeito do fogo. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 33(73):73-83. doi: 10.4336/2013.pfb.33.73.409