



INCLINAÇÃO DO TERRENO E TIPO DE MATERIAL COMBUSTÍVEL AFETAM A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DO FOGO EM CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

<https://periodicos.uerr.edu.br/index.php/ambiente/article/view/368>

SLOPE OF THE LAND AND TYPE OF FUEL MATERIAL AFFECT THE SPEED OF FIRE PROPAGATION IN EXPERIMENTAL CONDITIONS

Paulo Eduardo Barni - Universidade Estadual de Roraima/UERR (<https://orcid.org/0000-0001-7868-8691>)
Anelicia Cleide Martins - Universidade Estadual de Roraima/UERR(<https://orcid.org/0000-0002-9839-3855>)
Airon Michel Dantas Nunes - Universidade Estadual de Roraima/UERR(<https://orcid.org/0000-0002-6262-0366>)
Daiane Oliveira dos Santos - Universidade Estadual de Roraima/UERR(<https://orcid.org/0000-0003-4068-9933>)
Edenilson Pereira Reis - Universidade Estadual de Roraima/UERR(<https://orcid.org/0000-0002-5632-6662>)
Elionise dos Santos Crisóstomo - Universidade Estadual de Roraima/UERR(<https://orcid.org/0000-0002-3229-5638>)
Faridi Santos da Silva - Universidade Estadual de Roraima/UERR(<https://orcid.org/0000-0001-7475-1462>)
Fernanda da Rocha Pereira - Universidade Estadual de Roraima/UERR(<https://orcid.org/0000-0003-2661-8864>)
Glauria Gomes de Moraes - Universidade Estadual de Roraima/UERR(<https://orcid.org/0000-0003-1521-4960>)
Leonardo Borges Santana - Universidade Estadual de Roraima/UERR(<https://orcid.org/0000-0002-2425-8159>)
Thiago Martins de Oliveira - Universidade Estadual de Roraima/UERR(<https://orcid.org/0000-0002-5381-752X>)
Vladis Barreto Moreira - Universidade Estadual de Roraima/UERR(<https://orcid.org/0000-0003-3809-0331>)

RESUMO: O emprego do fogo como uma ferramenta de manejo no uso da terra é uma prática nociva aos ecossistemas da Amazônia. Apesar da sua importância, poucos estudos vêm sendo realizados na região para avaliar o comportamento do fogo sob condições ambientais. O estudo teve como objetivo avaliar a velocidade de propagação do fogo simulando, experimentalmente, a inclinação do terreno em quatro tratamentos (0°; 15°; 30°; 45°) com três repetições de diferentes tipos de combustível. Os combustíveis utilizados foram derivados da liteira (material fino) de pastagem, capoeira e floresta. Os combustíveis foram dispostos sobre dois tablados de madeira medindo 1,02 m² (0,6 m x 1,7 m) formando uma camada homogênea de 8-10 cm de espessura. A ignição do material foi realizada com pinga-fogo na base da rampa. O fogo foi apagado quando as chamas alcançavam o final do tablado. A maior velocidade média de propagação (0,1328 m s⁻¹) foi observada no material combustível da pastagem a 45° de inclinação, enquanto a menor velocidade (0,0020 m s⁻¹) foi derivada do material da capoeira a 30° de inclinação. De modo geral, a inclinação simulada do terreno e os tipos de combustíveis afetaram positivamente a velocidade de espalhamento do fogo. No entanto, problemas no controle de algumas variáveis do experimento conferiram um viés negativo aos resultados. Diante do aumento vertiginoso das ocorrências de incêndios florestais observados nos últimos anos, é fundamental compreender as condicionantes ambientais que maximizam a propagação do fogo, sendo crucial para a elaboração de políticas públicas mais eficientes para a Amazônia.

Palavras-chave: Incêndios florestais, Desmatamento, Fogo experimental, Mudança de uso e cobertura da terra, Propagação do fogo.

ABSTRACT: Fire as a management tool in land use is a harmful practice to Amazonian ecosystems. Despite its importance, few studies are carried out in the region to assess the behavior of fire under environmental conditions. The study aimed to evaluate the speed of fire propagation by simulating, experimentally, the slope of the terrain in four treatments (0°; 15°; 30°; 45°) and three repetitions of different types of fuel. The fuels used were derived from litter (fine material) from pasture, secondary forest (regeneration) and forest. The fuels were placed on two wooden boards measuring 1.02 m² (0.6 m x 1.7 m) forming a homogeneous layer 8-10 cm thick. The ignition of the material was carried out with fire drip at the base of the ramp. The highest average speed of propagation (0.1328 m s⁻¹) was observed in the combustible material of the pasture at 45° of inclination, while the lowest speed (0.0020 m s⁻¹) was derived from the regeneration material at 30° of inclination. In general, the simulated slope of the terrain and the types of fuels positively affected the speed of fire spread. However, problems in the control of some variables of the experiment gave a negative bias to the results. In view of the dizzying increase in the occurrences of forest fires observed in recent years, it is essential to understand the environmental conditions that maximize the spread of fire, being crucial for the development of more efficient public policies for the Amazon.

Keywords: Forest fires, Deforestation, Experimental fire, Land use and land cover change, Fire spread.

INTRODUÇÃO

O uso do fogo pelo homem como ferramenta para o preparo de áreas de cultivo agrícola é um fato conhecido desde os primórdios da nossa história sendo, contudo, uma prática considerada como nociva ao ambiente e aos solos (SANTOS et al., 2006). Na Amazônia brasileira essa prática tem sido utilizada no arcabouço do desmatamento para abertura de novas frentes agropecuárias, com milhares de hectares de florestas maduras sendo anualmente convertidos em pastagens através do corte raso da floresta (BARNI et al., 2015). Nesse processo, a retirada das árvores e a manutenção de pastagens e/ou roças são realizadas rotineiramente com o uso indiscriminado do fogo que podem se alastrar na forma de incêndios florestais de sub-bosque (ALENCAR et al., 2006; ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2010; BARNI et al., 2015).

O incêndio florestal se caracteriza quando se perde o controle sobre a queima intencional e o fogo consome imensas áreas de vegetação natural. Devido à camada de material combustível (liteira = serapilheira ou necromassa fina seca) fartamente distribuída na superfície do solo, o fogo se alastra rapidamente e pode consumir grandes áreas de floresta (CAMARGOS et al., 2015; CARNEIRO et al., 2019). Fatores como clima e relevo são fundamentais para que os focos de incêndios se alastrem rapidamente sobre os diferentes tipos de vegetação (SOARES; BATISTA, 2007; SOARES et al., 2009).

Em Roraima grandes incêndios florestais passaram a ocorrer sistematicamente a partir de 1997/1998, principalmente em anos de secas severas provocadas pelo fenômeno El Niño (BARBOSA; FEARNSSIDE, 1999; FONSECA et al., 2017; BARNI et al., 2017). O fenômeno El Niño surge a partir do aquecimento anormal das águas do Oceano Pacífico equatorial (MARENGO; ESPINOZA, 2016) e no ano de sua prevalência aumenta a severidade das secas no norte da Amazônia, especialmente em Roraima (SILVA et al., 2015). No entanto as ocorrências e recorrências de incêndios florestais de sub-bosque em Roraima vinham sendo restritas às áreas de florestas de ecótono (zona de tensão ecológica) em sua parte centro-oeste e centro-norte do Estado, circundando as áreas de savanas (XAUD et al., 2013; BARNI et al. 2015). Na região sul do Estado, os incêndios florestais ocorriam apenas nas bordas das queimadas para a limpeza de roças e pastagens,

mas nunca ultrapassando mais de 20-30 m para dentro da floresta (CARVALHO et al., 2010).

No evento El Niño de 2015/2016, caracterizado por um biênio de forte estiagem, foram registrados quase 2000 km² de área devastada por incêndios florestais de sub-bosque nesta região (BARNI et al., 2017). Neste novo contexto, o fogo, que antes era apenas uma ferramenta utilizada por agricultores e fazendeiros para a limpeza de roças e a renovação de pastagens, passou a ser também uma ameaça real para as florestas ombrófilas densas da região sul de Roraima (BARNI et al., 2017; CONDÉ et al., 2019).

Com o crescimento da importância dos incêndios florestais no sul de Roraima, faz-se necessário estudos que delimitem a criação de políticas públicas que contribuam para o planejamento regional de ações voltadas ao monitoramento, combate e controle desses eventos nocivos ao meio ambiente (BARBOSA et al., 2003). Nestes casos, geralmente, se estudam os efeitos dos incêndios florestais sobre a vegetação somente após ele ter ocorrido e estimam os seus parâmetros a partir de inventários florestais (MARTINS et al., 2012; XAUD et al., 2013) e imagens de satélites (MORTON et al., 2011; 2013). Por exemplo, estudos que observam a extensão e emissões de carbono em decorrência da mortalidade das árvores (BARBOSA; FEARNSSIDE, 1999); frequência e emissões em função da prevalência de anos de El Niño (ALENCAR et al., 2006) e perda da estrutura e da biomassa florestal (MARTINS et al., 2012; XAUD et al., 2013) devido à recorrência de incêndios.

Por outro lado, poucos estudos na Amazônia foram desenhados para prever ou predizer o comportamento do fogo em situação de incêndio florestal. Por exemplo, Balch et al., (2008; 2011) simularam incêndios florestais considerando uma área de 150 ha para testar a sua frequência anual sobre uma vegetação de ecótono no nordeste do Estado de Mato Grosso. Carvalho et al., (2010) simularam incêndios florestais em bordas do desmatamento em Alta Floresta, norte de Mato Grosso, observando a mortalidade de árvores em função da direção de espalhamento do fogo. Outro estudo testou a ignição (início e espalhamento) de incêndios florestais em função das condições micro meteorológicas do sítio e do material combustível (RAY et al., 2005).

Embora esses estudos sejam extremamente relevantes e necessários para o entendimento do comportamento do fogo e seus efeitos sobre a biomassa florestal na Amazônia, nenhum deles se ocupou em investigar se o gradiente de inclinação do terreno e diferentes tipos de combustíveis, afetam a velocidade de propagação do fogo em condições experimentais. Isto faz sentido, por exemplo, quando observamos, em uma escala de propriedade, as variações da topografia do terreno e a distribuição irregular da biomassa vegetal, composta, basicamente, por pastagens, capoeiras e florestas, dominando a paisagem da região sul do estado. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o comportamento do fogo utilizando como parâmetro a velocidade de propagação simulando a inclinação do terreno em associação com distintos tipos de material combustível.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

Os experimentos foram conduzidos nos dias 11 e 12 de março de 2019, no pátio do prédio do Corpo de Bombeiros localizado na sede municipal de Rorainópolis, com coordenadas geográficas de 0° 56' 27,78" N e -60° 25' 27,51" O, margem direita da Rodovia BR – 174, sentido Manaus-AM / Boa Vista (Figura 1).

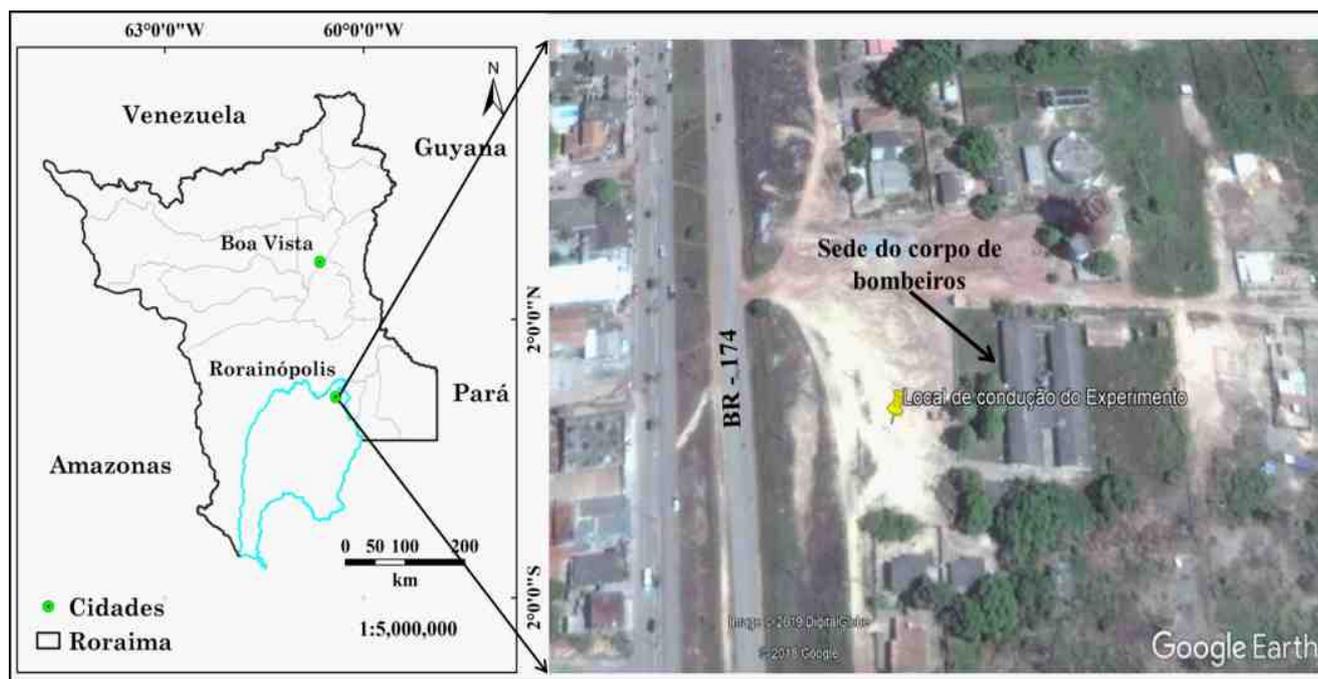
MATERIAL COMBUSTÍVEL

O material combustível vegetal morto (liteira) foi definido da seguinte forma: 1. Pastagens - palhas secas de capim coletadas em área de pastagem; 2. Capoeira - folhas secas, galhos finos, flores, frutos e sementes coletados no chão de uma vegetação secundária de cinco ou mais anos de abandono; 3. Floresta - folhas secas, galhos finos, flores, frutos e sementes coletado no chão da floresta (SOARES et al., 2009; CARNEIRO et al., 2019).

DESENHO EXPERIMENTAL

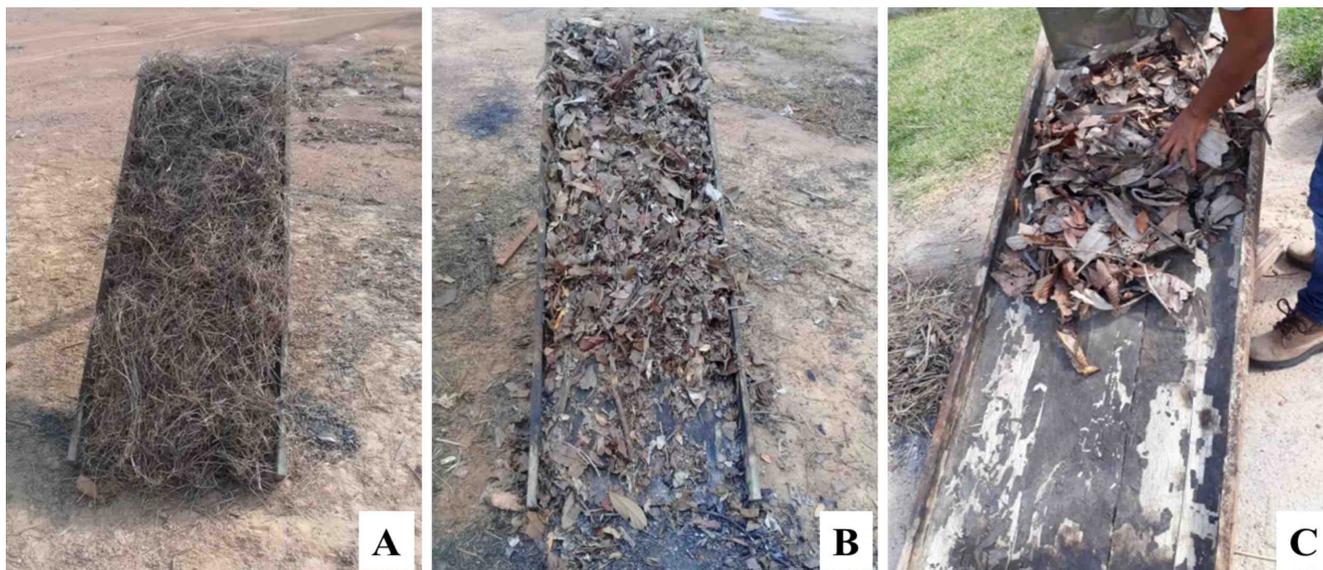
O experimento foi realizado utilizando dois tablados de madeira medindo 0,60 x 1,70 m (1,02 m²), revestido de uma fina camada de cimento, onde se colocou o material combustível para a combustão. Uma camada homogênea de material combustível, com espessura entre 8-10 cm foi arranjada sobre o tablado seguindo diferentes graus de inclinação (0°; 15°; 30° e 45°) de cada tratamento e as suas três repetições (Figuras 2 e 3). Essa altura de dispersão foi equivalente a 0,5 a 2,0 kg m⁻², compatível ao observado na literatura considerando o peso dos três tipos de materiais combustíveis em condições de campo (BEUTLING et al., 2012; CAMARGOS et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2018).

Figura 1: Local de condução do experimento.



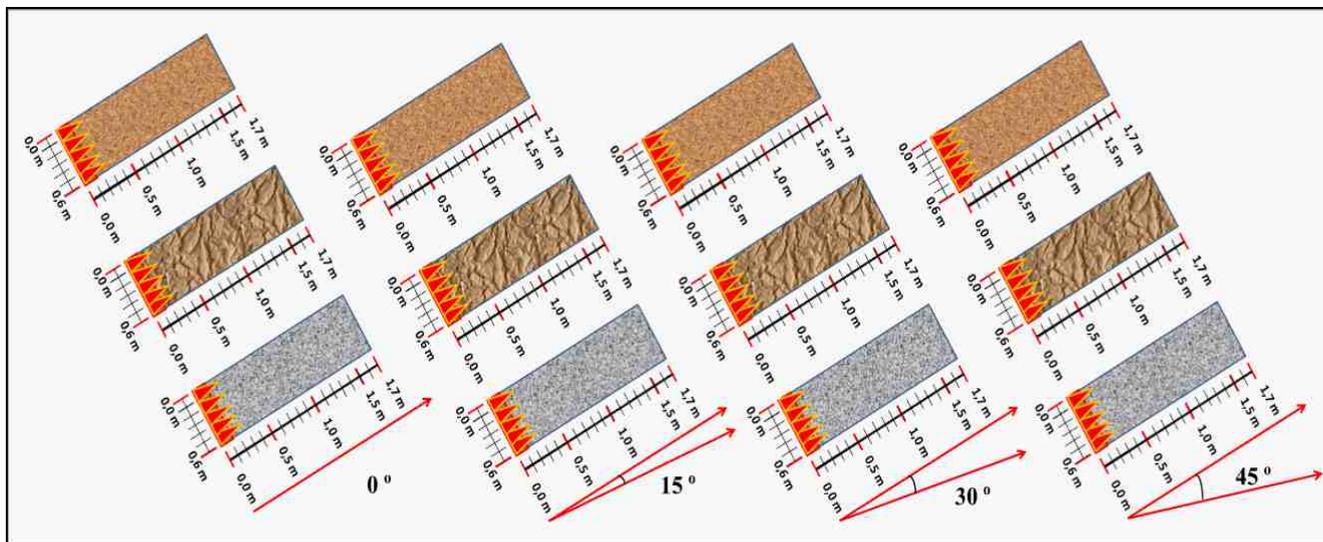
Fonte: Google Earth.

Figura 2: (A) camada de capim pronta para ser queimada na rampa simulando inclinação de 30° do terreno, (B) queima parcial da liteira da capoeira devido às condições ambientais e do material combustível e; (C) dificuldade de acomodação do material combustível no tablado devido à inclinação do tablado.



Fonte: os autores.

Figura 3: Representação dos quatro tratamentos (graus de inclinação: 0° (testemunha), 15°, 30° e 45°) e dos três diferentes tipos de combustíveis vegetais utilizados: palha de capim seca, liteira morta e seca de capoeiras e liteira morta e seca da floresta.



Fonte: os autores.

COLETA DE DADOS DE CAMPO

O material submetido aos testes foi coletado em campo no dia anterior aos experimentos e imediatamente acondicionado em sacos plásticos para não ganhar umidade em contato com o ambiente. Momentos antes da queima, pequenas amostras dos materiais foram retiradas e pesadas para se determinar o conteúdo de umidade (gramas), procedimento que foi realizado no laboratório de Ciências Naturais da Universidade Estadual de Roraima – UERR,

Campus Rorainópolis, com o uso de estufa a 65° C e uma balança de precisão. O teor de umidade do combustível (UC%) foi determinado de acordo com a seguinte equação (1):

$$UC\% = \frac{[\text{combustível úmido} - \text{combustível seco} (g)]}{[\text{combustível seco} (g)] \times 100}$$

Onde: UC é a Umidade do Combustível.

CONDICIONANTES AMBIENTAIS

No momento da execução dos experimentos a temperatura do ar variou de 29° C (início dos testes) a 35°, já no final dos experimentos no primeiro dia. A Umidade Relativa do Ar – URA variou de 41% (primeiro dia) a 62% no final do experimento no dia seguinte, medida obtida após a ocorrência de uma breve precipitação pluviométrica durante a execução do experimento. Essa chuva ocorreu por volta das 15:30 horas. Nesse caso, o experimento foi interrompido imediatamente dando continuidade no dia seguinte. A umidade relativa do ar, observada no dia 11/03, foi compatível com o observado normalmente para março, mês considerado de seca na região (BARBOSA, 1997; BARNI et al., 2020). Esses parâmetros foram medidos utilizando um aparelho digital acoplado (Termo-higro-anemômetro digital da marca AKSO e modelo AK821). A velocidade do vento foi medida com um anemômetro digital portátil, modelo THAL-300.

Todos os testes foram realizados na direção predominante do vento, sendo conduzidos sob vento na direção sul de fraca intensidade, oscilando entre 2,4 m s⁻¹ (8,6 km h⁻¹) a 5,5 m s⁻¹ (19,8 km h⁻¹) (COELHO, 2019). A direção e velocidade do vento são importantes variáveis para a determinação do comportamento do fogo florestal (BATISTA; SOARES, 1995; BATISTA et al., 2013).

CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Os testes tiveram início às 9 horas da manhã, na seguinte ordem: queima das três repetições de capim, queima das três repetições da liteira da capoeira e a queima das três repetições da liteira da floresta, obedecendo à ordem crescente para os tratamentos (graus de inclinação) partindo-se do tratamento testemunha de zero grau (0°).

A ignição foi realizada ateando-se o fogo de forma homogênea, no início do tablado (0 m), por um soldado do corpo de bombeiros munido de “pinga-fogo”. As equipes encarregadas da medição se posicionavam momentos antes da ignição e registravam o avanço do fogo por meio de gravação de vídeos e fotografias por *smartphones*. Posteriormente, em escritório, esses dados foram analisados para se determinar a velocidade de propagação do fogo ao consumir o material combustível. De acordo com Batista (2009) a

velocidade de propagação do fogo ou taxa de propagação, se refere à taxa de incremento ou avanço do fogo em termos lineares ou em área e pode ser medido em metros por segundo (m s⁻¹). Em nosso estudo a velocidade de propagação foi determinada em função do tempo decorrido desde o início da ignição do material, a 0 m, até as chamas alcançarem o final do tablado a 1,7 m ou até a sua extinção, que, em alguns casos, se realizou antes mesmo de alcançar o final do tablado. Para todos os casos se considerou apenas o avanço linear do fogo. Dessa forma, se o fogo não se extinguísse naturalmente um soldado do corpo de bombeiros apagava o fogo assim que as chamas alcançavam o ponto mais distante do tablado (1,7 m). Uma régua de madeira, graduada em centímetros (cm), foi utilizada para estimar a altura das chamas ao se propagar sobre o tablado consumindo o material combustível (Figura 4).

Figura 4: Condução da queima do combustível capoeira a 30° de inclinação com supervisão e apoio de soldados do Corpo de Bombeiros de Rorainópolis.



Fonte: os autores.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para avaliar a associação entre a velocidade de propagação do fogo e a altura das chamas em função do gradiente de inclinação foi aplicada Análise de Correlação de Pearson. Para fins de interpretação da análise dos resultados consideraram-se os seguintes parâmetros para o coeficiente de Pearson (r): valores próximos a 0 = ausência de correlação; valores entre ±0,1000 e ±0,3900 = fraca correlação; ±0,4000 e ±0,6900 = correlação moderada e; ±0,7000 e ±1,0000 = forte correlação (DANCEY; REIDY, 2006). Regressão simples foi adotada para avaliar o efeito da

inclinação do terreno na velocidade de propagação do fogo. Nesse caso a significância do teste e o valor do R² foram os parâmetros utilizados para quantificar o relacionamento entre as variáveis. Todos os testes estatísticos, incluindo teste de normalidade, foram executados no *software* Bioestat 5.0, considerando o nível de 95% de confiança estatística (erro tipo I: $\alpha=0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura das chamas variou de 5 cm no combustível liteira de capoeira do tratamento com 45° de inclinação, a 40 cm no combustível pastagem do tratamento testemunha (0o) e do tratamento a 45° de inclinação. O conteúdo de umidade do combustível variou de 3,8% a 12,3% no combustível liteira da floresta dos tratamentos de 0° e 15°, respectivamente, enquanto os valores de umidade dos outros combustíveis e tratamentos permaneceram dentro desse intervalo (Tabela 1). O teor de umidade do material combustível foi compatível com o observado na literatura (RAY et al., 2005).

Tabela 1: Valores médios de temperatura do ar (T), velocidade do vento (VV), umidade do combustível (UC) e altura das chamas (A.Ch.), considerando as repetições dos três tipos de combustíveis e os quatro tratamentos.

Tratamento	0°		15°		30°		45°	
	T °C	VV (m s ⁻¹)	T °C	VV (m s ⁻¹)	T °C	VV (m s ⁻¹)	T °C	VV (m s ⁻¹)
Pastagem	29,0	5,0	33,3	2,4	32,9	4,0	35,0	2,78
Capoeira	31,8	4,6	33,3	2,4	32,9	4,6	35,0	2,78
Floresta	33,4	5,5	33,3	2,4	27,3	3,5	35,0	2,78
Combustível	UC(%)	A.Ch. (cm)	UC(%)	A.Ch. (cm)	UC(%)	A.Ch. (cm)	UC(%)	A.Ch. (cm)
	Pastagem	4,4	40,0	10,0	35,0	8,0	27,3	5,4
Capoeira	6,8	27,0	11,2	23,3	6,2	12,4	7,1	5,0
Floresta	3,8	32,5	12,3	18,3	11,8	7,8	5,1	25,0

Fonte: os autores.

VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS CHAMAS

O melhor desempenho em velocidade de propagação do fogo foi alcançado pela queima da liteira da pastagem, com velocidade média de 0,0526 m s⁻¹ entre os tratamentos. O melhor resultado individual foi alcançado no tratamento de 45° de inclinação, com velocidade média de 0,1327 m s⁻¹. O pior desempenho global foi atribuído ao combustível capoeira, com velocidade média de 0,0077 m.s⁻¹. Este resultado foi esperado quando comparado ao desempenho da pastagem, em função da maior umidade registrada no combustível da capoeira (13% maior, em média, entre os tratamentos). Por outro lado, foi inesperado quando comparado com o desempenho

da velocidade de propagação da floresta, devido a umidade da capoeira se apresentar 5% menor, em média, entre os tratamentos, do que a umidade inicial registrada no combustível da floresta.

O pior desempenho individual de velocidade de propagação foi alcançado pelo tratamento de 45° de inclinação do terreno, justamente testando o combustível liteira de capoeira. Considerando a serapilheira da floresta a velocidade de queima não se diferenciou entre os tratamentos de 0° e 15° e entre os tratamentos de 30° e 45° (Tabela 2). A velocidade de propagação, juntamente com a intensidade da queima (verificada pela altura das chamas), taxa de energia liberada e tempo de residência, são variáveis importantes que descrevem com precisão o comportamento do fogo em um incêndio florestal (GARNICA et al., 2006; KÜÇÜK et al., 2008; BATISTA, 2009). No entanto, esses parâmetros são difíceis de obter em campo.

Tabela 2: Velocidade de propagação do fogo sob diferentes tratamentos (graus de inclinação) e tipos de combustíveis.

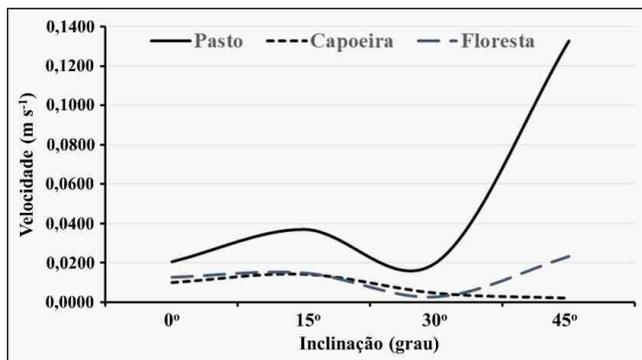
Tratamento	0°	15°	30°	45°
Repetição	Pasto1	Pasto2	Pasto3	Pasto4
Média	0,0205	0,0369	0,0202	0,1327
Pasto2	Sig. *			
Pasto3	Ns.	Sig. *		
Pasto4	Sig. **	Sig. **	Sig. **	
Repetição	Capoeira1	Capoeira2	Capoeira3	Capoeira4
Média	0,0099	0,0142	0,0045	0,0020
Capoeira2	Ns.			
Capoeira3	Ns.	Ns.		
Capoeira4	Ns.	Ns.	Ns.	
Repetição	Floresta1	Floresta2	Floresta3	Floresta4
Média	0,0126	0,0148	0,0026	0,0232
Floresta2	Ns.			
Floresta3	Sig. *	Sig. **		
Floresta4	Sig. *	Sig. **	Ns.	

Fonte: os autores. Sig.= Significativo; Ns=não-significativo; *=p-valor < 0,05; **=p-valor <0,01. Definido pelo teste Tukey.

Os resultados para a pastagem são esperados uma vez que esse tipo de combustível é o mais fino, quando comparado com a serapilheira da capoeira e da floresta. Também seu nível de exposição direta à radiação solar é máximo. Corroborando com esse resultado a análise de regressão simples mostrou uma tendência positiva para o aumento da velocidade de propagação com o aumento da inclinação do terreno e o vento a favor (R²=0,5853). Por outro lado, a queima da serapilheira da capoeira teve o pior desempenho na

velocidade de propagação e mostrou uma forte relação inversa ($y = -0,0033x + 0,016$; $R^2=0,6263$) com o aumento da inclinação do terreno. No entanto não se observou qualquer tendência de aumento da velocidade de propagação na simulação da queima da serapilheira da floresta ($R^2=0,0896$) com o aumento da inclinação do terreno (Figura 5).

Figura 5: Comportamento do fogo em três diferentes tipos de combustíveis vegetais simulando diferentes graus de inclinação do terreno. Fonte: os autores.



Fonte: os autores.

Esse comportamento inesperado da velocidade de propagação da capoeira e da floresta em função da inclinação do terreno pode ser explicado devido à i. origem e falta de homogeneidade do material combustível; ii. às condições ambientais de campo e; iii. ao controle local do material. Em (i) o material combustível do tratamento de 45° da capoeira, por exemplo, apresentou grande quantidade de material grosso e heterogêneo, como frutos secos e restos não-queimados de madeira em decomposição. A biomassa desse material grosso é mais denso do que a maioria dos materiais finos presentes na serapilheira e contribuíram para a fraca combustão. Em (ii) houve problema com a queima do material combustível da capoeira e da floresta do tratamento de 30°. Na ocasião a queima teve que ser adiada para o dia seguinte (12/03) devido à ocorrência de chuva no momento da queima no dia 11/03 e, por conseguinte, houve absorção de umidade do ambiente pelo combustível, além da umidade especificada inicialmente (Tabela 1), comprometendo o desempenho no teste. Finalmente em (iii) houve dificuldade para a arrumação ou arranjo da camada de combustível sobre a rampa nas maiores inclinações (30° e 45°) para se fixarem no tablado de testes. À medida que o combustível queimava nas partes baixas o material logo acima perdia apoio ou sustentação e deslizava sobre o fogo e abafava as chamas. Todos esses fatores juntos podem ter influenciado

também na não diferenciação das médias de velocidade de queima da liteira da floresta. Ao contrário dos outros materiais combustíveis (capoeira e floresta), a liteira da pastagem não ofereceu dificuldade de acomodação no tablado nas diferentes inclinações do terreno devido, principalmente, ao menor peso do material e à disposição das fibras do capim.

De modo geral, esses resultados foram semelhantes à velocidade de propagação observada em experimento de queima controlada em plantio de *Pinus taeda* de dois (2) anos de idade (0,0109 m.s⁻¹) e em plantio de *Eucaliptus viminalis* (0,0485 m.s⁻¹), ambos a favor do vento. Outro experimento em área de agrofloresta de *Mimosa scabrella*, alcançou 0,041 m.s⁻¹ de velocidade média de propagação (BATISTA, 2009). Embora essas comparações sejam tecnicamente indevidas devido aos experimentos terem sido conduzidos utilizando combustíveis vegetais oriundos de florestas plantadas, não há dúvidas que nosso estudo de caso possa ser considerado um exercício válido, diante da inexistência de estudos de queima controlada que utilizem material combustível de florestas amazônicas. Esse fato reforça ainda mais a necessidade de realização desse tipo de experimento nessa importante região do Estado e que contribua para a produção de conhecimento técnico de qualidade.

ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

A análise de Pearson revelou uma correlação moderada ($r=0,5039$) entre a velocidade de propagação do fogo com a altura das chamas na pastagem. Resultado semelhante ($r=0,6330$) foi encontrado entre a velocidade de propagação do fogo e a altura das chamas na queima da liteira da floresta. Por outro lado, a queima da liteira da capoeira apresentou uma forte correlação ($r=0,8838$) entre a velocidade de propagação do fogo e a altura das chamas (Tabela 3). Considerando os tratamentos (graus de inclinação), a velocidade de propagação do fogo na pastagem (PVEL: 0,7650) e na capoeira (CVEL: -0,7895) foi fortemente correlacionada com o aumento dos graus de inclinação, porém, no sentido contrário para a capoeira, onde esta diminuiu com o aumento da inclinação. Efeito contrário foi observado na velocidade de propagação do fogo na floresta (FVEL: 0,2993) que apresentou fraca correlação com o aumento da inclinação do terreno.

Tabela 3: Análise de Correlação de Pearson (r) associando a altura das chamas (cm) com a velocidade de propagação do fogo ($m.s^{-1}$) considerando o gradiente de inclinação do terreno. *PVEL*; *CVEL* e *FVEL* se referem à velocidade de propagação da pastagem, da capoeira e da floresta, respectivamente. *PCH*; *CCH* e *FCH* se referem à altura das chamas da pastagem, da capoeira e da floresta, respectivamente. Valores de r em negrito indicam forte correlação entre as variáveis.

	<i>Grau</i>	<i>PVEL</i>	<i>PCH</i>	<i>CVEL</i>	<i>CCH</i>	<i>FVEL</i>	<i>FCH</i>
<i>Grau</i>	1,0000						
<i>PVEL</i>	0,7650	1,0000					
<i>PCH</i>	-0,1657	0,5039	1,0000				
<i>CVEL</i>	-0,7895	-0,5938	0,0748	1,0000			
<i>CCH</i>	-0,9849	-0,7547	0,1411	0,8838	1,0000		
<i>FVEL</i>	0,2993	0,8304	0,8419	-0,1012	-0,2627	1,0000	
<i>FCH</i>	-0,4064	0,2481	0,9506	0,1590	0,3491	0,6330	1,0000

Fonte: os autores.

Esses resultados indicam que a queima do combustível da pastagem foi intensa, rápida e eficiente. Estudos como o de Soares; Batista (2007) e Soares et al., (2009) associam a altura das chamas com a intensidade do fogo. Enquanto os resultados para capoeira e floresta indicam que a queima dos combustíveis não foi tão intensa e se configurou como ineficiente. Isto pode ser explicado devido a extinção das chamas antes de alcançarem o final do tablado em algumas repetições dos combustíveis da capoeira e da floresta. Por exemplo, uma repetição da queima da capoeira e outra da queima da liteira da floresta na inclinação de 45° e uma repetição de queima da liteira também de capoeira a 30° de inclinação, foram eliminadas dos testes pela impossibilidade de propagação. Havia a ignição inicial, porém as chamas não se propagavam e se extinguíam espontaneamente assim que se iniciava.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, a inclinação simulada do terreno e os tipos de combustíveis afetaram positivamente a velocidade de espalhamento do fogo em condições experimentais. No entanto fatores como a heterogeneidade da biomassa (densidade) dos materiais combustíveis utilizados e a perda de controle sobre a umidade, principalmente da serapilheira de capoeira e da floresta, conferiram um viés negativo aos resultados.

Diante do aumento vertiginoso das ocorrências de fogo florestal observadas nos últimos anos na Região Sul do estado de Roraima, estudos práticos como esse são imprescindíveis para o melhor entendimento das condições ambientais de campo, dos combustíveis e do comportamento do fogo em função da inclinação

do terreno. Essa compreensão é fundamental para a elaboração de estratégias de combate ao fogo e para o desenho de políticas públicas realistas que ajudem o poder público municipal e estadual a coibir o uso indiscriminado do fogo por agricultores e fazendeiros nessa importante região produtiva do Estado.

Outros estudos em queima controlada são recomendados para serem conduzidos na região visando o melhor entendimento do comportamento do fogo em diferentes condições de campo e de combustível. Estes estudos se prestariam a avaliar, por exemplo, a intensidade da queima, a taxa de energia liberada pelo incêndio e a taxa de consumo do material queimado. Esta recomendação se justifica, pois o estudo do comportamento do fogo em ambiente natural, aberto, é de difícil realização devido à influência da interação e diversidade de fatores associados à ignição do material combustível e a propagação do fogo no terreno (BATISTA et al., 2013).

Os dados levantados neste estudo podem servir como valores de entrada (parâmetros iniciais) para calibração de modelos de simulação do espalhamento do fogo na Amazônia brasileira onde as condições de campo (clima) e do relevo são semelhantes às dos experimentos. No entanto, há de se destacar que os problemas identificados na coleta dos materiais combustíveis e no controle dos experimentos no momento de sua execução devido às condições climáticas, comprometem a aplicação dos dados e o seu uso dever ser realizado com parcimônia.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Estadual de Roraima – UERR pelo apoio institucional, aos valorosos soldados do Batalhão do Corpo de Bombeiros do Município de Rorainópolis (sul de Roraima) pelo apoio logístico e prático durante a execução dos experimentos. Os avaliadores forneceram importantes e decisivas contribuições para a melhora do entendimento do texto.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; DIAZ, M.D.V. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: area burned and committed carbon emissions. **Earth Interactions**, v. 10, n. 6, 1–17. 2006. <https://doi.org/10.1175/EI150.1>.

- ARAGÃO, L.E.O.C.; SHIMABUKURO, Y.E. The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD. **Science**, v. 328, n. 5983, 1275-1278. 2010. <https://doi.org/10.1126/science.1186925>.
- BALCH, J.K.; NEPSTAD, D.C.; BRANDO, P.M.; CURRAN, L.M.; PORTELA, O.; CARVALHO JR, O. DE, LEFEBVRE, P. Negative fire feedback in a transitional forest of southeastern Amazonia. **Global Change Biology**, v. 10, 2276-2287. 2008.
- BALCH, J.K.; NEPSTAD, D.C.; CURRAN, L.M.; BRANDO, P.M.; PORTELA, O.; GUILHERME, P.; REUNING-SCHERER, J.D.; CARVALHO Jr, O. Size, species, and fire behavior predict tree and liana mortality from experimental burns in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 261. n. 1, 68-77. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.029>.
- BARBOSA, R.I. Distribuição das chuvas em Roraima. In: Barbosa, R.I.; Ferreira, E.F.G.; Castellon, E. G. (Eds.). **Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas, Brasil. p. 325-335. 1997.
- BARBOSA, R.I.; FEARNSTIDE, P.M. Incêndios na Amazônia: estimativa da emissão de gases de efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento —El-Niño (1997/1998). **Acta Amazonica**, v. 29, p. 513-534. 1999. <https://doi.org/10.1590/1809-43921999294534>.
- BARBOSA, R.I.; XAUD, M.R.; SILVA, G.N.F.; CATTÂNIO, A.C. Forest Fires in Roraima, Brazilian Amazonia. **International Forest Fire News (IFFN)**, n. 28 (January – June 2003) p. 51-56. 2003.
- BARNI, P.E.; PEREIRA, V.B.; MANZI, A.O.; BARBOSA, R.I. Deforestation and forest fires in Roraima and their relationship with phytoclimatic regions in the Northern Brazilian Amazon. **Environmental Management**, v. 55, n. 5, 1124-1138. 2015.
- BARNI, P.E.; SILVA, E.B.R.; SILVA, F.C.F. **Incêndios florestais de sub-bosque na zona de florestas úmidas do sul de Roraima: área atingida e biomassa morta**. In: ANAIS DO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2017, Santos, SP. Anais eletrônicos... Campinas, GALOÁ, p. 6280-6287. 2017. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr/papers/incendios-florestais-de-sub-bosque-na-zona-de-florestas-umidas-do-sul-de-roraima--area-atingida-e-biomassa-morta>>. Acesso em: 30 mar. 2019.
- BARNI, P.E.; IMBROZIO, R.I.; XAUD, H.A.M.; XAUD, M.R.; FEARNSTIDE, P.M. Precipitation in northern Amazonia: Spatial distribution in Roraima, Brazil. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 420-436. 2020. <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-52769>.
- BATISTA, A.C. Estudos sobre o comportamento do fogo na Universidade Federal do Paraná. In: SOARES, R.V.; NUNES, J.R.S.; BATISTA, A.C. **Incêndios florestais no Brasil: o estado da arte**. Curitiba, Paraná: Gráfica Capital, 2009. 246 p. ISBN-978-85-904353-4-1. p. 35-52.
- BATISTA, A.C.; BEUTLING, A.; PEREIRA, J.F. Estimativa do comportamento do fogo em queimas experimentais sob povoamentos de *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, 779-787. 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000500001>.
- BATISTA, A.C.; SOARES, R.V. Avaliação do comportamento do fogo em queimas controladas sob povoamento de *Pinus taeda* no norte do Paraná. **Revista Floresta**, v. 25, n. 1/2, p. 31-42. 1995. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v25i12.6443>.
- BEUTLING, A.; BATISTA, A.C.; SOARES, R.V. Fire behavior modeling based on simulated field plots. **WIT Transactions on Ecology and the Environment (Online)**, v. 158, p. 27-37. 2012.
- CAMARGOS, V.L.; RIBEIRO, G.A.; DA SILVA, A.F.; MARTINS, S.V.; CARMO, F.M.S. Estudo do comportamento do fogo em um trecho de floresta Estacional semidecídua no município de viçosa, minas gerais. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 537-545. 2015.
- CARNEIRO, K.M.S.; REIS, S.M.; MORANDI, P.S.; ELIAS, F.; OLIVEIRA, E.A.; MARIMON-JUNIOR, B.H.; MARIMON, B.S. Estoque e perda de necromassa da vegetação lenhosa em um gradiente fitofisionômico na transição Amazônia-

- Cerrado. **Rodriguésia** v. 70, e02892017. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201970060>.
- CARVALHO JR., J.A.; GURGEL VERAS, C.A.; ALVARADO, E.C.; SANDBERG, D.V.; LEITE, S. J.; GIELOW, R.; RABELO, E.R.C.; SANTOS, J.C. Understorey fire propagation and tree mortality on adjacent areas to an Amazonian deforestation fire. **International Journal of Wildland Fire**, v. 19, p. 795-799. 2010.
- COELHO, T. **Entenda a força do vento que atingiu o Rio de Janeiro; segunda pior em escala**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2019/02/07/entenda-a-forca-do-vento-que-atingiu-o-rio-de-janeiro-segunda-pior-em-escala.ghtml>>. Acesso em: 03 de mai de 2019. 2019.
- CONDÉ, T.M.; HIGUCHI, N.; LIMA, A.J.N. Illegal selective logging and forest fires in the Northern Brazilian Amazon. **Forests**, v. 10, n. 61. 2019. <https://doi.org/10.3390/f10010061>.
- DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 608 p. ISBN: 9788536306889.
- FONSECA, M.G.; ANDERSON, L.O.; ARAI, E.; SHIMABUKURO, Y.E.; XAUD, H.A.M.; XAUD, M.R.; MADANI, N.; WAGNER, F.H.; ARAGÃO, L.E.O.C. Climatic and anthropogenic drivers of northern Amazon fires during the 2015-2016 El Niño event. **Ecological Applications**, v. 27, n. 8, p. 2514-2527. 2017. <http://dx.doi.org/10.1002/eap.1628>.
- GARNICA, J.G.F.; GONZALEZ, D.A.M.; SOLORIO, J.D.B. Forest fire behavior in prescribed burns under different environmental conditions in México. **Forest Ecology and Management**, v. 234, p. S131. 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2006.08.172>.
- KÜÇÜK, O. et al. Some parameters affecting fire behavior in anatolian black pine slash Turkish **Journal of Agriculture and Forestry**, v. 32, n. 1, p. 121-129. 2008.
- MARENGO, J.A.; ESPINOZA, J.C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, p. 1033-1050. 2016. <https://doi.org/10.1002/joc.4420>.
- MARTINS, F.S.R.V.; XAUD, H.A.M.; SANTOS, J.R.; GALVÃO, L.S. Effects of fire on above-ground forest biomass in the northern Brazilian Amazon. **Journal of Tropical Ecology**, v. 28, n. 6, p. 591-601. 2012. <https://doi.org/10.1017/S0266467412000636>.
- MORTON, D.C.; DEFRIES, R.S.; NAGOL, J.; SOUZA Jr., C.M.; KASISCHKE, E.S.; HURTT, G.C.; DUBAYAH, R. Mapping canopy damage from understory fires in Amazon forests using annual time series of Landsat and MODIS data. **Remote Sensing Environmental**, v. 115, n. 7, p. 1706-1720. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.03.002>.
- MORTON, D.C.; LE PAGE, Y.; COLLATZ, G.; HURTT, G.C. Understorey fire frequency and the fate of burned forests in southern Amazonia. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 368, n. 1619, 20120163. 2013. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2012.0163>.
- OLIVEIRA, M.V.N.; WHITE, B.L.A.; RIBEIRO, G.T. Quantificação do material combustível em fragmento de Mata Atlântica no nordeste brasileiro. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 38, e201701449, p. 1-8. 2018. <https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201701449>.
- RAY, D.; NEPSTAD, D.; MOUTINHO, P. Micrometeorological and canopy controls of fire susceptibility in a forested Amazon landscape. **Ecological Applications**, v. 15, n. 5, p. 1664-1678. 2005. <https://doi.org/10.1890/05-0404>.
- SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 36, n. 1, p. 93-100. 2006. <http://dx.doi.org/10.5380/RF.v36i1.5510>.
- SILVA, D.A.; SANDER, C.; ARAÚJO JR, A.C.R.; WANKLER, F.L. Análise dos ciclos de precipitação na região de Boa Vista – RR nos anos de 1910 a 2014. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 35-49. 2015. <http://dx.doi.org/10.18227/1678-7226rga.v9i2.3145>.
- SOARES, R.V.; BATISTA, A.C. **Incêndios**

florestais: controle, efeitos e uso do fogo.

Curitiba, Paraná: Gráfica AJIR, 2007. 264 p.
ISBN-978-85-904353-2-7.

SOARES, R.V.; NUNES, J.R.S.; BATISTA, A.C.

Incêndios florestais no Brasil: o estado da arte.

Curitiba, Paraná: Gráfica Capital, 2009. 246 p.
ISBN-978-85-904353-4-1.

XAUD, H.A.M.; MARTINS, F.S.R.V.; SANTOS,
J.R. Tropical forest degradation by mega-fires in
the northern Brazilian Amazon. **Forest Ecology
and Management**, v. 294, p. 97-106. 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.11.036>.