

Análises térmicas das plantas de baixa inflamabilidade para barreiras verdes de proteção contra incêndios florestais

Thermal analysis of low flammability plants for green barriers for protection against forest fire

Subten. Michel Aquino de Souza¹

Ailton Teixeira do Vale²

Bruno Sant'Anna Chaves³

RESUMO

Plantas de baixa inflamabilidade podem ser usadas para proteção contra incêndios florestais, pois dificultam a propagação do fogo. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a combustão de plantas de baixa inflamabilidade. Coletou-se amostras de folhas de *Vochysia thyrsoidea*, *Palicourea rigida* e *Lavoisiera bergii* verdes e de *Echinolaena inflexa*, para comparação, pois é uma gramínea de alta inflamabilidade. Foram feitos ensaios laboratoriais para caracterização térmica. Em comparação com *E. inflexa*; *V. thyrsoidea*, *P. rigida* e *L. bergii* apresentaram-se como espécies de baixa inflamabilidade indicadas para uso em barreiras verdes, corroborando resultados anteriores, com destaque para *P. rigida* que apresentou tempo para início das chamas de 143s, duração das chamas de 72s e temperatura onset de 245°C.

Palavras-chaves: aceiro-verde, *Palicourea*, inflamabilidade, termogravimetria, combustão

ABSTRACT

Plantas de baixa inflamabilidade podem ser usadas para proteção contra incêndios florestais, pois dificultam a propagação do fogo. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a combustão de plantas de baixa inflamabilidade. Coletou-se amostras de folhas de Vochysia thyrsoidea, Palicourea rigida e Lavoisiera bergii verdes e de Echinolaena inflexa, para comparação, pois é uma gramínea de alta inflamabilidade. Foram feitos ensaios laboratoriais para caracterização térmica. Em comparação com E. inflexa; V. thyrsoidea, P. rigida e L. bergii apresentaram-se como espécies de baixa inflamabilidade indicadas para uso em barreiras verdes, corroborando resultados anteriores, com destaque para P. rigida que apresentou tempo para início das chamas de 143s, duração das chamas de 72s e temperatura onset de 245°C.

Keywords: green-firebreak, *Palicourea*, flammability, termogravimetry, combustion

¹ ID Lattes: <https://orcid.org/0000-0002-6413-4134>

² ID Lattes: <https://orcid.org/0000-0001-5579-2381>

³ ID Lattes: <https://orcid.org/0000-0002-2985-3539>

1 Introdução

As técnicas contra propagação do fogo dentro da silvicultura preventiva objetivam interferir na continuidade, na quantidade e na inflamabilidade dos combustíveis florestais. Uma estratégia é a substituição da vegetação suscetível por espécies que possam inibir a propagação do fogo, implantadas perpendicularmente à direção dos ventos da seca, adjacentes a estradas e aceiros, servindo ainda como quebra-vento e cerca viva, constituindo-se como barreiras verdes (FAO, 1953). Plantas de baixa inflamabilidade são estudadas e usadas como mais uma ferramenta de gestão dos incêndios florestais em barreiras verdes. Nesse sentido, têm sido desenvolvidos trabalhos para identificar e indicar espécies vegetais com baixa inflamabilidade para o manejo contra incêndios florestais. Especialmente na interface urbano-florestal, a gestão da paisagem sob risco de fogo deve incluir tais espécies de baixa inflamabilidade. Dessa forma, o estudo da inflamabilidade de plantas do Cerrado pode contribuir para prevenção contra incêndios florestais, protegendo a vegetação da propagação do fogo.

Inflamabilidade

A inflamabilidade é uma característica da matéria em combustão. A combustão inicia-se com uma fonte de calor que aciona uma reação química no combustível com a participação do comburente (oxigênio presente no ar). Então, o combustível sofre dessorção, atingindo 0% de umidade quando libera gases combustíveis que queimam, aí dá-se o aumento de temperatura e, conseqüente, a liberação de calor, desestabilizando a matéria. Assim, ocorre a decomposição térmica pela quebra da estrutura macroscópica em estrutura elementar, iniciando a combustão pela oxidação do carbono e do hidrogênio. Portanto, o combustível passa para o estado gasoso antes da ignição. Os gases combustíveis despreendidos durante a pirólise influenciam sobremaneira o comportamento da queima ao reagirem com o oxigênio, produzindo as chamas. (CBMDF, 2009).

A facilidade de ignição e propagação do fogo

é determinada pela temperatura, pelo tempo de exposição e pelas características do combustível. O início da combustão no “ponto de ignição” ou “ponto de inflamação/inflamabilidade” varia entre 220 e 298°C (RODRÍGUEZ, 2010, apud Cianciulli, 1981, e Heikkilä, et al., 1993). Muitos acreditam que cigarros acesos podem dar origem a incêndios ao caírem em gramíneas finas e muito secas, mas para isso acontecer, as fontes ígneas precisam atingir mais de 130°C, o que, em geral, não ocorre nos cigarros que ficam entre 50 e 110°C. Alguns cigarros, que atingem 120°C, têm maior probabilidade de causar ignição nessas gramíneas. Já os fósforos acesos, que atingem 250°C, podem iniciar rapidamente um incêndio em combustíveis finos e secos (RODRÍGUEZ, 2010, apud Ramírez, 1996).

Combustão da vegetação

A temperatura de 327,85 °C (600K) é necessária para o aparecimento de chamas sustentáveis nos gases de pirólise, para combustão da vegetação. Como essa temperatura é muito maior que o ponto de ebulição da água, qualquer umidade precisa ser expulsa pelas camadas mais superficiais das folhas antes da ignição. Quanto maior a umidade, mais tempo e calor são necessários para secagem. Portanto, a propagação do fogo sobre comunidades verdes só ocorre se houver muitas plantas secas ou mortas. A pluma de fumaça revela ao longe a energia envolvida no incêndio: a fumaça mais clara demonstra menor quantidade de calor, e quanto mais escura maior é a intensidade das chamas (ALBINI, 1992).

A intensidade da queima depende da combinação entre os gases combustíveis, oxigênio e quantidade de calor. A chama é obtida pela inflamação dos gases de pirólise. Se a temperatura no material combustível e os gases de pirólise não forem suficientes para manter a combustão e as chamas, tem-se o fulgor. Isso é caracterizado quando uma fonte de ignição gera chamas no combustível, mas, se afastada, as chamas não se mantêm. A ignição é atingida quando, mesmo retirada a fonte de ignição, as chamas se mantêm no combustível. O comportamento das chamas no incêndio está relacionado com a umidade do combustível, determinando a disponibilidade

do combustível para queima e seu consumo. A umidade arrefece o calor liberado pela combustão. (CBMDF, 2009).

Inflamabilidade das plantas

Espécies vegetais, caracterizadas como de alta inflamabilidade, apresentam muitos óleos essenciais, alto teor de materiais voláteis, folhas secas presas aos ramos no auge do período seco. As gramíneas são classicamente referenciadas como tendo uma alta inflamabilidade devido ao ressecamento sazonal de seus ramos e por se constituírem de combustíveis finos com arquitetura ereta, próximas ao solo — características que favorecem a propagação dos incêndios. Nas savanas, ocupam áreas consideravelmente grandes. Sua fitofenologia expressa sazonalmente uma dormência no período de estiagem, levando à secagem das folhas e de toda parte aérea. Isso contribui para um aumento significativo de sua inflamabilidade, culminando em uma potencial propagação dos incêndios. No entanto, perde-se em torno de 90% da fitomassa aérea pela queimada (ONIGEMO, 2007, apud Pott, 1982). Murray et al. (2018) recomendam que sejam selecionadas para barreiras verdes em interface urbano-florestal propensas ao fogo plantas nativas de baixa inflamabilidade, resilientes a alterações climáticas, promotoras da biodiversidade, que não representem risco à saúde e que sejam conhecidas das comunidades.

A Inflamabilidade das plantas é quantificada com base no tempo até o aparecimento das chamas. A inflamabilidade é composta pela sustentabilidade, combustibilidade e pela consumabilidade. A sustentabilidade é o intervalo de tempo, após a ignição e retirada a fonte de calor, até o final das chamas. A combustibilidade é a taxa de queima. Já a consumabilidade é a massa consumida pelo fogo.

O ponto de inflamação é a temperatura onde o combustível emite gases que formam chamas em contato com um agente ígneo. Já o ponto de ignição é a temperatura em que a combustão se inicia sem a fonte térmica piloto. Nos combustíveis vegetais, o aquecimento inicia a secagem com liberação de vapor, seguido da vaporização dos óleos essenciais, das resinas e hidrocarbonetos, constituindo os

gases de pirólise, ocorrendo o primeiro ponto de inflamação. (RODRÍGUEZ, 2010, apud Elvira y Hernando, 1989).

A inflamabilidade dos combustíveis de incêndios florestais pode ser definida como o tempo para aparecimento das chamas em um combustível exposto a uma radiação térmica constante (RODRÍGUEZ, 2010, apud Delabrazze y Valette, 1977, Hernando, 2000, Elvira y Hernando, 1989). Isso proporciona a transferência de calor entre as superfícies circundantes e a propagação do fogo, diretamente proporcionais ao poder calorífico do combustível em função de sua composição (RODRÍGUEZ, 2010, apud ICONA, 1993). Portanto, a inflamabilidade refere-se à propagação do fogo na vegetação em função das características de superfície e dos gases volatilizados com o aumento de temperatura por terem um ponto de inflamabilidade menor.

Técnicas de estudo da inflamabilidade

A termogravimetria (TG) é a técnica que mostra a perda de massa em função da temperatura. Para isso, utiliza-se um equipamento que mede a massa de uma pequena amostra aquecida a uma taxa constante ou até uma determinada temperatura. Essa técnica gera uma curva (ATG) da perda de massa (%) em função do aumento da temperatura. Já a DTG é a técnica da primeira derivada da perda de massa em função da temperatura. Pela DTG, obtêm-se os picos onde há maior perda de massa em função da temperatura, facilitando a análise do pico de temperatura em relação à perda de massa (ZHANG et al., 2011). Liodakis et al. (2008) desenvolveram uma metodologia para avaliar a inflamabilidade de espécies florestais utilizando o equipamento termogravimétrico. Para isso, durante o período de seca, coletaram folhas maduras de espécies representativas das florestas gregas que sofreram com os incêndios. Essas folhas foram trituradas e prensadas em pelotas e submetidas à análise termogravimétrica.

A ATG (análise termogravimétrica) tem sido apontada como alternativa viável nos estudos de inflamabilidade, por possuir vantagens como homogeneidade da amostra e ambiente totalmente controlado. Com isso, as diferenças podem ser atribuídas à constituição química, evitando variações ambientais e propiciando alta reprodutibilidade.

A secagem, a decomposição dos voláteis, da hemicelulose, da celulose e da lignina podem ser associadas a diferentes intervalos dos gráficos de análise térmica ATG. A porcentagem de perda de massa entre 300° a 400°C está associada à degradação da celulose, liberando gases voláteis. Quanto maior esse valor, mais inflamável é a amostra. (WHITE e ZIPPERER, 2010; ZHANG et al., 2011)

A calorimetria diferencial por varredura (DSC) é a técnica na qual a energia (fluxo de calor) é medida em função do tempo/ temperatura programada em uma atmosfera controlada, pela diferença entre a amostra e a referência. Leroy et al. (2006) coletaram partes aéreas de espécies de interesse para o manejo de incêndios florestais na França e submeteram as amostras a ensaios de TGA e DSC. Eles encontraram picos exotérmicos de fluxo de calor entre 638K e 778K, e as espécies menos inflamáveis foram *Arbutus unedo* e *Cistus monspeliensis*.

O fluxo de calor é a transferência de energia térmica que se expressa pela taxa de transferência de calor por unidade de área normal à direção da transferência de calor (CENGEL et al., 2012). A análise laboratorial da inflamabilidade de plantas tem sido consagrada pela medição da taxa de liberação de calor pelo calorímetro de cone, que usa o consumo de oxigênio para obter a liberação de calor (TWILLEY, 1998). Núñez-Regueira et al. (1996) utilizaram o calorímetro de bomba estática na metodologia para determinar os valores caloríficos e a inflamabilidade de espécies florestais na Espanha.

Zhang et al. (2011) objetivaram avaliar a inflamabilidade de dez espécies de gramíneas comuns da pradaria de planície chinesa, que constantemente passa por incêndios. Para tanto, utilizaram análise de TG- DTG. A perda de massa foi considerada importante para os estudos de modelagem e risco de incêndios. Das curvas de DTG, eles priorizaram os picos de evaporação da umidade e dois picos da degradação térmica oxidativa. Desses picos, foi calculado um índice integrado de inflamabilidade e as espécies foram ranqueadas.

Barreiras verdes

Barreiras verdes constituem-se como um cinturão de árvores retidas ou plantadas e

conservadas para suprimir o crescimento de vegetação inflamável e manter as condições do solo tão úmidas quanto possível, com o propósito de reter faíscas voadoras (FAO, 1953). Essas barreiras servem ainda para o controle das linhas de fogo e áreas mais propícias ao combate. Tian et al. (2007) informam que, no sul da China, barreiras verdes têm sido feitas com a plantação de árvores de folhas largas (como *Schima superba*) sobre aceiros tradicionais (remoção da vegetação até deixar o solo mineral), sombreando-os. Eles testaram a eficácia do aceiro verde como barreira à propagação de um incêndio que atingiu as copas com intensidade de até 28,379kw/m e 8,5m de altura. Isso levou à queima apenas da primeira fila das 6, de *Schima superba* com 13 anos de idade.

As barreiras verdes devem ser estrategicamente implantadas para proteger ativos sob risco de fogo. Para isso, deve-se considerar a topografia, a insolação, o solo, a direção do vento predominante, entre outros parâmetros, especialmente a inflamabilidade das espécies que o comporão. Com o objetivo de evitar o incêndio de copa e facilitar o combate e a supressão do fogo, a barreira verde pode reduzir a intensidade das chamas e evitar a propagação (BATISTA et al., 2012). Murray et al. (2020) definem que, para seleção de espécies para barreiras verdes, deve-se considerar inflamação lenta, a sustentação das chamas por pouco tempo e a baixa intensidade de queima.

As barreiras verdes vêm sendo utilizadas na China desde 1950, principalmente com as espécies *Schima superba*, *Camellia oleifera* e *Myria rubra*. Com uma boa gestão na proteção contra incêndios, o sul da China conseguiu índices de até 93% na redução da área queimada. Comparadas com aceiros negros e tradicionais, elas podem reduzir a erosão e doenças, oferecendo vantagens econômicas e ecológicas. Elas são localizadas em cumes de morros e bordas das florestas de maior risco, plantando-se *Schima wallichii* com espaçamento de 1 x 1m e largura de 10 a 25m. Após o fechamento das copas, pode-se empregar o raleio, mantendo o sombreamento que evita ervas heliófilas (CUI, 2007).

O Corpo de Bombeiros do Distrito Federal (CBMDF) desenvolve, anualmente, um plano de combate aos incêndios florestais com a operação "Verde Vivo", que se concentra nos meses mais secos do ano, quando ocorre a maioria dos incêndios florestais. A Lei federal 12086, de 2009,

juntamente com o Decreto Presidencial 7163, de 2010, confere ao CBMDF a competência para desenvolver pesquisas para obtenção de produtos e processos para proteção contra incêndios, bem como realizar ações para prevenção de incêndios florestais. O estudo da inflamabilidade contribui alertando para as espécies de alta inflamabilidade e promovendo o manejo preventivo com espécies de baixa inflamabilidade. Nesse sentido, os combatentes podem ficar mais cautelosos ao lidar com uma paisagem repleta de gramíneas. As comunidades rurais podem realizar um controle da vegetação, diminuindo a quantidade de espécies de alta inflamabilidade. Dentro desse manejo preventivo, as barreiras verdes podem servir como rotas mais seguras de acesso e fuga para guarnições de combate e ocupantes da área de propagação do fogo.

No incêndio florestal, a parte da planta que contribui mais para propagação do fogo é a folha. Portanto, esse estudo concentra-se em características foliares relacionadas à inflamabilidade. Este trabalho objetivou a caracterização térmica de plantas de baixa inflamabilidade, previamente levantadas em áreas queimadas do cerrado, em comparação com uma espécie de alta inflamabilidade, para confirmação da indicação para composição de barreira verde.

2 Material e métodos

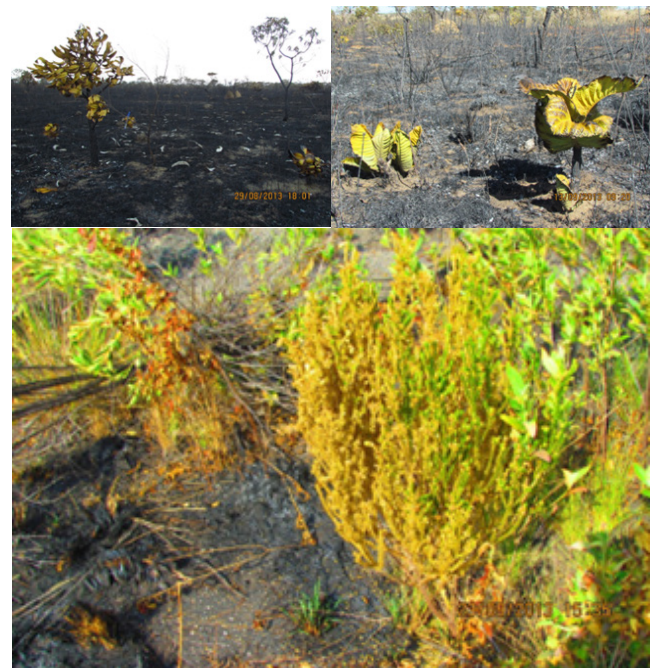
O clima predominante nas áreas onde foi feito o levantamento é o Aw - Tropical de savana (Köppen). A temperatura média anual é de 22,5°C, com médias mensais com pequena estacionalidade. A precipitação média anual 1478,8 mm (Normal Climatológica 1990 – 2022 INMET). No período de maio a setembro, os índices pluviométricos mensais reduzem-se bastante, e a umidade relativa do ar permanece muito baixa, podendo ocorrer secas prolongadas (CSR/ IBAMA, 2009).

Após o levantamento em campo em busca de plantas de baixa inflamabilidade, a coleta de folhas das espécies previamente selecionadas foi realizada em setembro de 2013, cinco dias após o auge da seca sem chuva, e em de setembro de 2014, no auge da seca, na estação meteorológica Roncador - DF (OMM: 83373), (Lat.: -15.93°Long.: -47.88°), localizada na área do IBGE próxima, à FAL (Fazenda Água Limpa da Universidade de

Brasília). Dados meteorológicos da região de coleta das amostras de folhas (BDMEP/INMET, 2015) indicaram umidade relativa média 48,5 % e temperatura máxima de 32,8 °C nos dias de coleta. Os indivíduos foram fotografados e tiveram suas coordenadas de localização registradas. As folhas foram acondicionadas em sacos de polietileno vedados e guardadas ao abrigo do sol e, posteriormente, em geladeira para diminuir a evapotranspiração foliar.

A coleta de folhas foi realizada nos anos de 2013 e 2014 em áreas adjacentes queimadas. Aleatoriamente, foram escolhidos três locais distintos; em cada local, foram coletadas amostras de folhas verdes, incluindo o pecíolo, perfazendo de 6 a 12 amostras para cada uma das seguintes espécies: *Vochysia thyrsoidea*, *Palicourea rigida*, *Roupala montana*, *Bromelia laciniosa*, *Lavoisiera bergii* e *Lycopodiella alopecuroides*. Sendo as gramíneas consideradas de alta inflamabilidade, para fins de comparação, coletou-se também amostras de *Echinolaena inflexa* (Poir.) Chase (Poaceae). As folhas jovens foram isentas de coleta a fim de garantir que as amostras representam folhas do auge da seca.

Figura 1. Fotos evidenciando toda vegetação adjacente totalmente queimada e espécimes de *Vochysia thyrsoidea*, *Palicourea rigida* e *Lavoisiera bergii* (acima do n. 23), na sequência, preservadas da combustão.



Os indivíduos foram fotografados e tiveram suas coordenadas de localização registradas, em torno do ponto que tem por coordenadas -15° 57,06624' -47° 54,11490' (WGS84). As folhas foram acondicionadas em sacos de polietileno vedados e guardadas ao abrigo

do sol e, posteriormente, em geladeira para diminuir a evapotranspiração foliar. Na segunda fase do estudo, foram escolhidas quatro espécies: *E. inflexa*, *L. bergii*, *P. rigida* e *V. thyrsoidea*. As demais espécies foram deixadas por apresentarem características fenológicas e estruturais que as desclassificam como espécies de baixa inflamabilidade (SOUZA, 2015). Portanto, uma espécie de baixa inflamabilidade de árvore, arbusto, subarbusto e a gramínea comparativa de alta inflamabilidade.

Microamostras de biomassa seca triturada e classificada das folhas foram submetidas a desidratação na termobalança BEL iTermo 163L à 85°C em 2013. Em 2014, a biomassa seca ($\pm 10\%$ de umidade residual — porque na programação tem um patamar de secagem) foi colocada em cadinho de Alumina e submetida à programação de temperatura em uma atmosfera de ar respirável na termobalança Setsys 12 Setaram.

Figura 2. Termobalança SetSys 12 Setaram apresentando cadinho com biomassa.



O procedimento ocorreu em conformidade com o protocolo do LPF/ Laboratório de Energia de Biomassa, conforme segue:

- 1º. Tara do cadinho;
- 2º. Biomassa no cadinho (seca, <25mg e diâmetro < 0,25mm);
- 3º. Programação da curva: 25 a 800 °C com taxa de aquecimento de 20 °C/min);
- 4º. Fluxo de ar (21% de O₂ e 5% H₂O): 2 ensaios a 13m l/min e 2 a 80m l/min;
- 5º. Resfriamento e análise dos dados no programa Setsoft 2000:

- Derivada da perda de massa (dTG), evidenciando a maior taxa de degradação térmica
- Integração do pico da dTG para especificar a temperatura de início da maior taxa de perda de massa (onset), e o pico da dTG;
- Variação da massa durante o ensaio, indicando a consumabilidade;
- Integração do fluxo de calor para mostrar

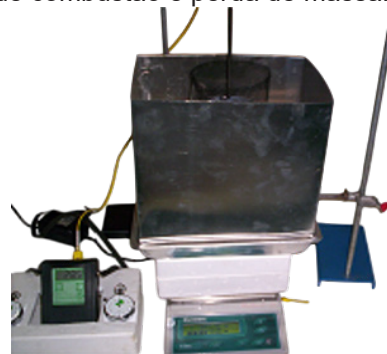
- a temperatura do pico do fluxo de calor.
- 6º. Geração dos gráficos conforme figura 4.

Os resultados de fluxo de calor da DSC forneceram uma informação qualitativa sobre a temperatura do pico do fluxo de calor como resposta à maior taxa de perda de massa (DTG), mas não foi possível calcular a entalpia do processo.

Zhang et al. (2011) utilizaram a seguinte metodologia: caracterização da área de coleta e sua carga de combustível, secaram as amostras a 60°C por 24h, depois a moeram de 0,3 a 0,5 mm, e colocaram 3 a 5mg em cada cadinho de Al do termogravímetro para ATG-DTG. Na ATG, utilizaram um fluxo de ar de 50l/min e rampa de aquecimento linear de 10°C/min de 30 a 600°C. Fizeram ensaios com três repetições, obtendo um desvio padrão médio de 2 a 6% para cada espécie. Utilizaram a temperatura de (onset), que corresponde ao início da pirólise oxidativa (início da maior perda de massa), para caracterizar a inflamabilidade. Depois, utilizaram a bomba calorimétrica a oxigênio para medição do calor de combustão.

No mesmo dia da coleta, as amostras de folhas das espécies de *Vochysia thyrsoidea*, *Palicourea rigida*, *Echinolaena inflexa*, e *Lavoisiera bergii* foram submetidas ao ensaio de combustão em um conjunto composto por combustor, grelha, anteparo, balança e aos acessórios termômetro digital com termopar, balança e cronômetro (QUIRINO, 1991, com adaptações).

Figura 3. Aparato instrumental para experimento de combustão e perda de massa.



As folhas foram cortadas em dimensões menores que 10cm de largura por 15cm de altura para serem dispostas verticalmente no cesto, que foi então inserido no combustor. O combustor foi colocado sobre uma balança com sensibilidade de 10⁻²g. Um termopar foi posicionado a 10cm acima da borda do conjunto combustor balança, para ficar em contato com a chama. Um recipiente contendo 40 ml de Álcool 92,8° INPM (densidade

0,80g/ml, PCS 6381,96 kcal/kg (BEN, 2008)) foi colocado sob o combustor, contendo a amostra de folhas, sem tocar o conjunto combustor, amostra e balança.

Então, acendia-se o álcool e iniciava-se a coleta dos dados de tempo, temperatura e perda de massa, até que as chamas cessassem na amostra e a massa se estabilizasse. Os ensaios foram iniciados com o acendimento do álcool e finalizado com a estabilização da perda de massa. Todos os procedimentos foram filmados com uma câmera Canon®SX30.

A duração das chamas foi aferida pela média de três cronometragens visuais dos vídeos gravados durante os ensaios, iniciando e parando conforme a chama aparecia e apagava. Abaixo do eixo principal desses gráficos está representado o resultado do tempo total de duração das chamas. A temperatura das chamas foi relacionada de acordo com as cores apresentadas pela combustão, conforme CBMDF (2009) apud Drisdale (1999), e utilizada para análise das chamas. Relação entre cor da chama e temperatura: Vermelha corresponde à 550°C; Vermelho fosco- 700°C; Vermelho vivo- 900°C; Laranja-1100°C; e Branca- 1400°C.

Os dados de todos os ensaios foram analisados estatisticamente por meio de Análise de Variância (ANOVA) em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) para as variáveis estudadas, considerando as espécies *V. thyrsoidea*, *P. rigida*, *L. bergii* e *E. inflexa* como tratamentos com repetições variadas (conforme apêndice). Quando necessário, utilizou-se o teste “t” (conforme apêndice). Para análise dos dados, foi utilizado o programa ASSISTAT Versão 7.7 beta (2015) (SILVA e AZEVEDO, 2009).

Com os dados experimentais mais significativos, foi feito um ranqueamento das espécies estudadas quanto às características de inflamabilidade, a partir do produto entre a nota (de 1- menor inflamabilidade relativa na variável a 4- maior inflamabilidade), e um peso (de 1 a 7 quanto maior for a relação da variável com a baixa inflamabilidade). O peso de cada parâmetro foi atribuído conforme se relaciona com a inflamabilidade. A pontuação foi obtida pela multiplicação do peso (7, 6 e 5) pela classificação no ranking (1, 2, 3 e 4) (vide

tabela 4), conforme equação 2:

$$I = T \text{ Ch} + D \text{ Ch} + T \text{ On}$$

Em que:

I - Inflamabilidade pelo somatório de pontos obtidos nos parâmetros significativos;

T Ch - pontuação do parâmetro tempo para ocorrência da primeira chama;

D Ch - pontuação do parâmetro duração das chamas;

T On - pontuação do parâmetro temperatura de onset.

O maior peso (7) foi conferido ao tempo para ocorrência da primeira chama. Esse parâmetro expressa a característica mais marcante para inflamabilidade, pois mostra que a folha resiste por mais tempo ao fogo antes de apresentar chama. O peso (6) foi conferido ao tempo de duração das chamas, tendo em vista que representa a sustentabilidade das chamas. Nesse tempo, está a oportunidade de a chama secar, pirolisar e incendiar folhas adjacentes. A temperatura de onset recebeu o peso (5), pois quanto maior essa temperatura, maior a taxa de perda de massa pela combustão, representando a combustibilidade.

3 Resultados e discussão

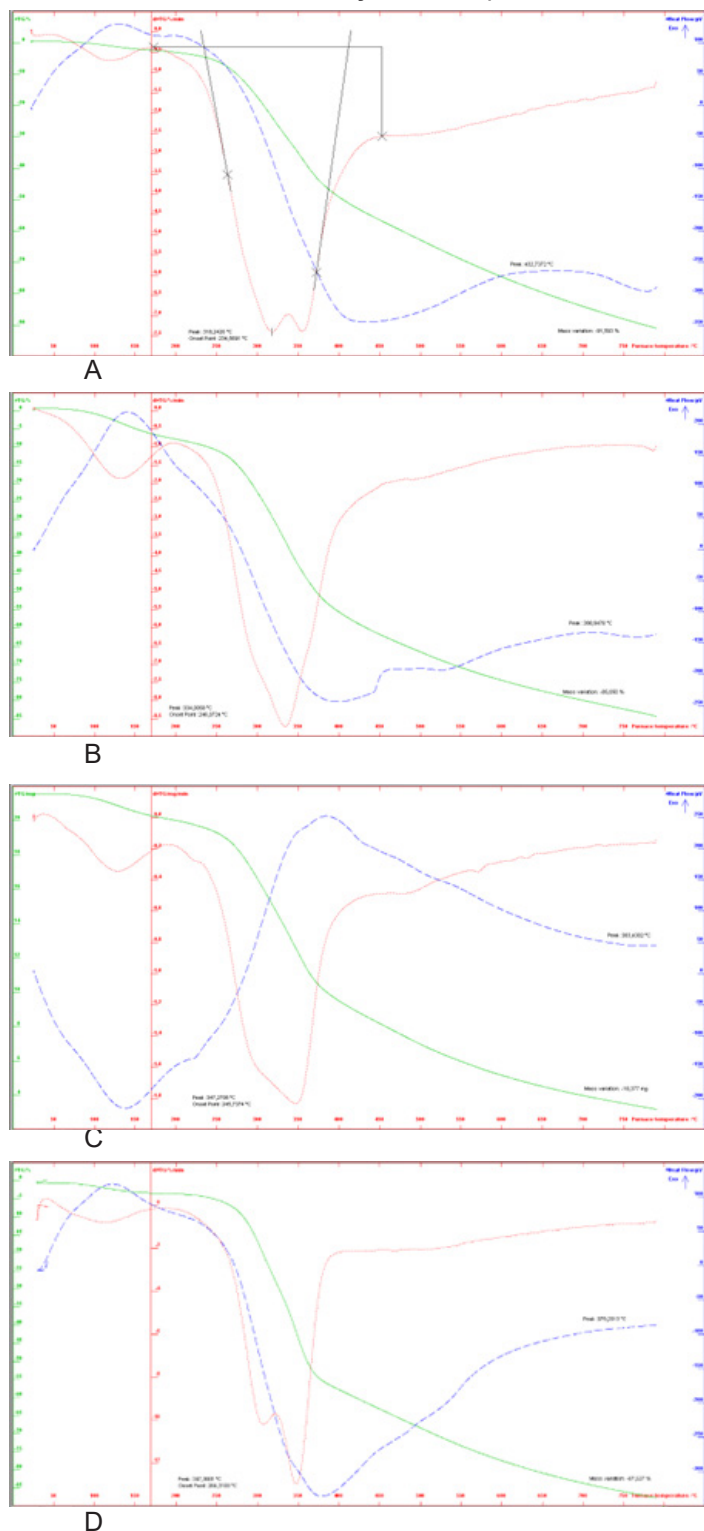
Os parâmetros analisados nos testes de média, mesmo que com poucas repetições, e que deram diferenças significativas, refletem um esforço de análise menor. Entretanto, se os demais parâmetros fossem analisados com mais repetições, poderiam apresentar diferenças significativas.

3.1 Análise termogravimétrica e calorimetria de varredura diferencial

Na Figura 4 estão os gráficos de termogravimetria e calorimetria de varredura diferencial representativos para cada uma das espécies estudadas. A curva vermelha pontilhada representa a taxa de perda de massa, a curva azul tracejada representa o fluxo de calor e a curva verde representa o

percentual de perda de massa.

Figura 4. Ensaio de ATG/DSC de *V. thyrsoidea* (A), *P. rigida* (B), *L. Bergii* (C) e *E. inflexa* (D), mostrando o percentual de perda de massa, a taxa de perda de massa ou primeira derivada e o fluxo de calor em função da temperatura.



3.2 ATG / DTG

Os picos da DTG (primeira derivada da perda de massa) dão uma indicação clara dos estágios de degradação térmica. O primeiro,

na faixa de 40 a 120°C, que corresponde principalmente à secagem, podendo refletir a degradação térmica de óleos essenciais e resinas foliares. No segundo pico, entre 120 e 360°C, ocorre a decomposição da celulose e, principalmente, hemicelulose, correspondendo à degradação térmica dos voláteis. A terceira faixa de temperatura, de 360 a 500°C, está relacionada principalmente à decomposição da lignina, com a queima incandescente do carbono fixo. Depois restam as cinzas incombustíveis. Dessa forma, os combustíveis com baixas temperaturas de início são mais inflamáveis (ZHANG et al., 2011). Os gráficos mostram dois picos bem distintos para perda de massa: o primeiro, referente à secagem do material e evaporação de óleos essenciais, ocorre de 70 a 170°C aproximadamente, e o segundo, relacionado à queima de voláteis (celulose e hemicelulose), ocorre cerca de 270 a 370°C. O pico da lignina ($\pm 500^\circ\text{C}$) praticamente não se expressa devido às suas baixas concentrações no tecido foliar. Também foram observados dois picos de fluxo de calor: o primeiro, com fornecimento de energia para evaporação de água e óleos essenciais, e o segundo, como resposta de liberação de calor da queima de voláteis e um pouco de carbono fixo.

Tabela 1. Dados médios de quatro observações do pico de temperatura (PT), perda de massa (PM) da ATG e variação total de massa com resultados do teste de t.

Espécies	PT(°C)	PM (%)	Onset (°C)	>dTG (mg/min)
<i>L. bergii</i>	347,38 a	59 b	247,0 b	1,9 a
<i>E. inflexa</i>	344,11 ab	61 b	260,5 a	2,1 a
<i>P. rigida</i>	330,13 bc	65 ab	244,9 b	1,8 a
<i>V. thyrsoidea</i>	325,64 c	71 a	236,2 c	1,4 b

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si

A temperatura no pico da perda de massa (PT) e a taxa máxima de perda de massa (>dTG) tiveram “F” significativo ao nível de 5% de probabilidade. Os dados de porcentagem de massa no pico da taxa de perda de massa (MP) no ensaio de termogravimetria, e a temperatura onset apresentaram “F” significativo ao nível de 1% de probabilidade. A variação de massa apresentou “F” não significativo, sendo 89,5% em *V. thyrsoidea*, 90,1% em *P. rigida*, 86,8% em *L. bergii* e 85,9% em *E. inflexa*. Esse parâmetro está relacionado com a consumabilidade das folhas durante a combustão.

E. inflexa alcança a maior taxa de perda de massa (2,1 mg/min \approx 13%/min) a 344,3 °C, após as

chamas terem consumido 39% de sua massa. Essa maior temperatura, associada à alta taxa de perda de massa pela liberação de gases provenientes dos materiais voláteis, conferem às folhas de *E. inflexa* uma alta propagabilidade do fogo. Já a *V. thyrsoidea* e a *P. rigida* não alcançam tão altas taxas de perda de massa e temperaturas tão elevadas. Zhang et al. (2011) estudaram dez gramíneas comuns nas planícies chinesas de Songhua Jiang-Nen Jiang, que muitas vezes são devastadas por incêndios de pastagem. Eles encontraram a menor inflamabilidade em *Aneurolepidium chinense*, com temperatura de 322°C no 2º pico de perda de massa (7,2%/min), e a maior para *Mendicago ruthenica*, com pico em 321,7 °C e 15,5%/min.

Liodakis et al. (2008), estudando espécies de florestas suscetíveis a incêndios, desenvolveram uma metodologia e utilizaram a análise termogravimétrica para classificar a inflamabilidade, atribuindo a *Pistacia lenticus* a menor inflamabilidade das espécies estudadas. Ao primeiro pico da DTG (primeira derivada da curva de perda de massa), relacionaram a fase gasosa da combustão (cerca de 310°C) e, ao segundo, a fase sólida (cerca de 410°C). Eles concluíram que a capacidade de ignição está relacionada de maneira linear com a combustibilidade de fase gasosa (expressa no tamanho do primeiro pico). A temperatura de onset (início da maior taxa de perda de massa) foi considerada como a temperatura relativa de ignição espontânea. Quanto maior a onset, maior a inflamabilidade, pois é maior a taxa de perda de massa na fase gasosa da combustão, como ocorre em *E. inflexa* com a maior onset e dTG máxima.

3.3 DSC

Os dados da temperatura do pico do fluxo de calor apresentaram “F” significativo ao nível de 1% de probabilidade. Na Tabela 2, estão os dados de picos de fluxo de calor para as espécies estudadas.

Tabela 2. Picos de Fluxo de Calor da DSC com resultados do teste de t.

Espécies	Temperatura do pico (°C)	
<i>Vochysia thyrsoidea</i>	431,26	a
<i>Palicourea rigida</i>	397,87	b
<i>Lavoseiera bergii</i>	398,78	b
<i>Echinolaena inflexa</i>	383,68	b

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

O percentual de massa restante no pico do fluxo de calor apresentou “F” não significativo na ANOVA, e o teste de t não apresentou diferenças significativas entre as médias de 43,7% para *V. thyrsoidea*, 44,7% para *P. rigida*, 44,2 % para *L. bergii* e 47% para *E. inflexa*. Esses dados estão alinhados com os valores relativos às porcentagens do fim do teor de voláteis e início do teor de carbono fixo, onde ocorre a maior liberação de gases e calor durante a combustão. *E. inflexa*, por ter a maior taxa de consumibilidade, chega mais rapidamente nesse pico.

O maior pico de fluxo de calor para *V. thyrsoidea* está coincidentemente relacionado ao seu maior teor de carbono fixo. Isso ocorre porque as maiores temperaturas nessa faixa se relacionam à queima do carbono fixo na massa restante, depois de consumida boa parte dos materiais voláteis. A maior temperatura também é mais difícil de ser alcançada, tornando a inflamabilidade de *V. thyrsoidea* menor. A menor diferença entre o pico de temperatura da perda de massa e o pico do fluxo de calor para *E. inflexa* indica que ela consegue transmitir o calor mais rápido, o que proporciona maior propagabilidade de suas chamas. Leroy et al. (2006) encontraram picos exotérmicos de fluxo de calor entre 364,9 °C e 504,9 °C e as espécies menos inflamáveis foram *Arbustus unedo* e *Cistus monspeliensis*.

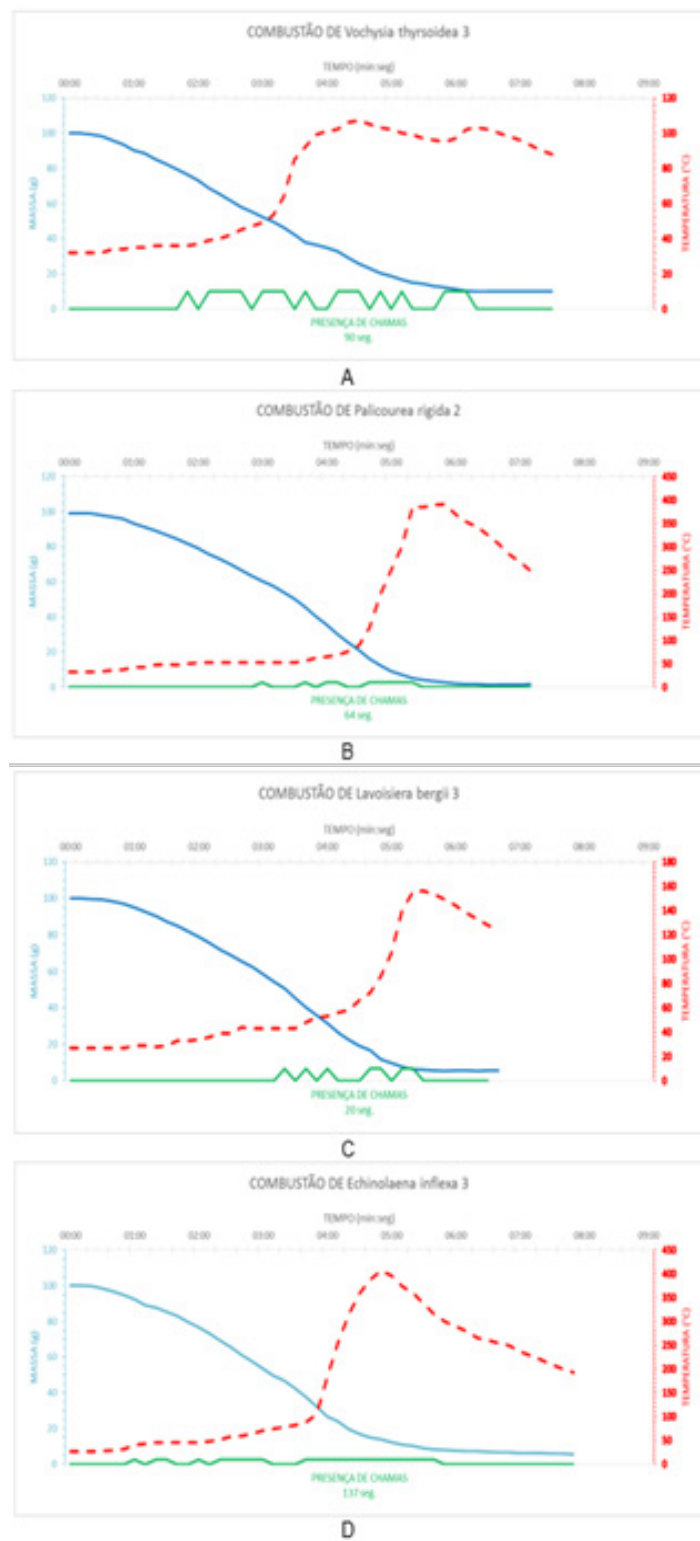
3.4 Combustão e perda de massa

O acendimento do álcool ao longo do processo forneceu cerca de 204,2 kcal. A distribuição das chamas pelo volume das folhas favoreceu o consumo total das folhas e indica uma propagação lateral das chamas. Em geral, a primeira chama em quase todos os ensaios foi muito breve e deve estar relacionada à inflamação dos óleos essenciais foliares. Depois, um grupo de chamas mais estáveis apresenta-se agrupado e com uma duração maior, inicialmente relacionando-se à combustão dos voláteis e, na sequência, à combustão do carbono fixo, com chamas mais claras. O pico de temperatura se relaciona com a fração da massa foliar associada aos materiais ligno-celulósicos. A massa restante se relaciona com o teor de cinzas quando houve combustão total do material foliar (QUIRINO e BRITO, 1991).

Na Figura 5, estão os gráficos de perda de massa, temperatura da combustão e presença de chamas em função do tempo de combustão das folhas das espécies selecionadas. Na Tabela 3, estão os dados compilados. A ANOVA, para os tempos de aparecimento da primeira chama, resultou em F=

7,3393 *, significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < .05$), enquanto os outros dados apresentaram F não significativo.

Figura 5. Perda de massa e temperatura em função do tempo e a presença de chamas na combustão de *V. thyrsoidea* (A), *P. rigida* (B), *L. bergii* (C) e *E. inflexa* (D).



* A curva pontilhada vermelha representa a temperatura. A curva azul representa a perda de massa e a curva verde representa a presença de chamas (1) 0- ausência de chamas; todas em função do tempo.

Tabela 3. Dados compilados dos ensaios no combustor com resultados do teste de t (apenas a tempo para 1ª chama teve F significativo).

Espécie	Pico		Primeira chama		Total chamas	Consumo	
	(°C)	(%)	(seg)	(°C)	(seg)	(%)	
<i>V. thyrsoidea</i>	252,7	16,0	116,7 bc	66,0	67,0	88,7	93,0
<i>P. rigida</i>	344,7	3,0	143,3 ab	60,3	61,3	71,7	97,7
<i>L. bergii</i>	154,3	6,7	183,3 a	51,3	53,3	17,0	93,3
<i>E. inflexa</i>	308,3	9,3	70,0 c	41,3	86,7	175,7	96,3

Foi possível observar, para *Vochysia thyrsoidea*, uma inconstância das chamas, com um acende/apaga que não permitiu a propagação das chamas, o que potencializa ainda mais a baixa inflamabilidade dessa espécie. Outro ensaio apresentou um agrupamento das chamas, isto é, as chamas permaneceram por mais tempo. As chamas da combustão de *V. thyrsoidea* não atingiram os tons mais claros, indicando temperaturas menores de propagação. Observou-se também que, até a estabilização da perda de massa, restaram folhas parcialmente não queimadas em alguns ensaios.

As chamas na combustão de *Palicourea rigida* não alcançaram o branco, indicando uma temperatura menor que as chamas claras de *E. inflexa*. Ao final da combustão da *Palicourea rigida*, restaram cinzas da lâmina foliar e brasas das nervuras principais, provavelmente devido a uma maior lignificação dessas estruturas. Poucas partes da nervura central mais espessa ficaram sem queimar.

Nos ensaios de *Lavoisiera bergii*, as primeiras chamas, apesar de fugazes, apresentam coloração branca e azul, indicando altas temperaturas. No restante do ensaio, as chamas permaneceram em tons mais escuros. As chamas em *E. inflexa* apresentaram-se bem claras, indicando altas temperaturas e ainda bem fortes, caracterizando as chamas eruptivas. Ao final da combustão, restaram apenas brasas, indicando uma alta consumabilidade para essa espécie

As temperaturas registradas neste experimento (pelo termopar estar a 10cm de distância da amostra) são evidentemente menores que as temperaturas efetivas da combustão dessas folhas. A distância entre o termopar e a amostra, bem como a latência do termopar, causam essa forte redução na medição de temperatura. As chamas em materiais ligno-celulósicos podem chegar a 1500°C

(CBMDF, 2009, apud Grimwood, 2003). Dessa forma, considerando também as cores das chamas, pode-se afirmar que as temperaturas registradas nos ensaios são maiores nas amostras. A incandescência, mostrada no final dos ensaios pelas nervuras das folhas, indica temperaturas maiores que 1000°C (CBMDF, 2009). Em geral, os ensaios de combustão mostram que os picos de temperatura ocorrem logo após o fim das chamas e coincidem com o quarto final da massa.

Rocha et al. (2004), apud Connor et al., 1994, informam que a expressiva decomposição térmica da lignina se dá a partir de 500°C, antecedida pela decomposição de hemicelulose e celulose a partir de 250°C, e iniciada pela decomposição térmica dos extrativos a partir de 100°C. Murray et al. (2013) encontraram o tempo de atraso na ignição de espécies nativas entre 6,4 a 72,4s. Essas espécies foram consideradas de menor inflamabilidade quando comparadas com espécies exóticas à floresta esclerófila seca do sudeste australiano. As folhas da espécie *Persoonia pinifolia* apresentaram o maior tempo de atraso para ignição quando submetida a um calor radiante de 500°C, de 74,4 segundos, e teor de umidade de 58,26%. A *P. pinifolia* possui folhas estreitas, quase aciculares, e é da família das Proteaceae, como *R. montana*, deste estudo. A *Gonocarpus teucroides* apresentou o maior teor de umidade (77,2%), mas um tempo de atraso da ignição não tão grande, de 19,8s. Batista et al. (2012), utilizando um epiradiador a 250°C, confirmaram a baixa inflamabilidade de *Viburnum odoratissimum*, que apresentou 18,2 segundos para o início da ignição. Esses dados indicam que a baixa inflamabilidade está relacionada a um conjunto de fatores. No caso das espécies do presente estudo, as espécies selecionadas foram classificadas previamente como de baixa inflamabilidade a partir do levantamento de campo.

Michelia macclurei apresentou o menor índice de possibilidade de fogo, um tempo de ignição de 38 segundos no cone-calorímetro e um teor de umidade de 142,7% (TIAN et al., 2007). Kim et al. (2006), estudando inflamabilidade de espécies florestais coreanas, encontraram a menor temperatura de ignição por calor radiante, de 307 °C, para folhas

caídas de *Quercus variabilis*. Batista et al. (2012), considerando o potencial das estradas como barreiras à propagação de incêndios na interface urbano florestal, estudaram a inflamabilidade de espécies ornamentais nativas do sul do Brasil, objetivando seu uso como barreiras verdes associadas às estradas. *Aspilia montevidensis* e *Peltodon rugosus* foram confirmadas como plantas herbáceas de baixa inflamabilidade, indicadas para barreiras verdes por apresentarem, entre outras características, tempo para ignição maior que 60 segundos e 13 e 9,2 segundos de duração da combustão das folhas, respectivamente, em um epiradiador a 250°C.

Cintra et al. (2020) encontraram, em *Tachigali aurea*, 1,52s para ignição e 0,67s de duração das chamas em experimento com epiradiador, mas, associada a outras características térmicas e em comparação com as demais espécies avaliadas, foi considerada pouco inflamável. Em experimento de queima na caatinga, Vasconcelos et al. (2020) observaram, para *Cnidocolus quercifolius*, o tempo de ignição de 5s e tempo de combustão de 125,5s, indicando-a como de baixa inflamabilidade.

Dimitracopoulos et al. (2011), estudando espécies representativas de coníferas de florestas europeias, concluíram que a frequência dos incêndios florestais em determinadas áreas não pode ser atribuída à inflamabilidade espécie-específica, mas a um conjunto de fatores ecológicos, ambientais e antropogênicos. Utilizando um cone radiador, encontraram, como tempo para ignição de *Picea excelsa*, 39,6 segundos a 231,7°C, com PCS de 19,1 kJ/g e teor de cinzas de 4,5% (1h à 650°C). Já a *Pinus silvestres* apresentou a maior temperatura de ignição de 248,2°C, tempo de ignição de 28,1s, PCS 20,5 kJ/g e teor de cinzas de 2,5%. Hachimi et al. (2011), estudando florestas marroquinas durante o verão, ranquearam a inflamabilidade de 22 espécies representativas utilizando a técnica do epiradiador e outras características foliares. Encontraram a menor inflamabilidade para *Thymelae alythroides*, com 43% de teor de umidade base seca e 8,8s para ignição no epiradiador.

3.5 Inflamabilidade das espécies classificadas

Na Tabela 4, está o ranqueamento das espécies quanto à inflamabilidade a partir dos parâmetros mais significativos encontrados

no estudo. Os valores do somatório de pontos separam claramente *E. inflexa*, de alta inflamabilidade, das demais. *L. bergii*, apresentando a menor pontuação, é a menos inflamável, seguida por *P. rigida* e *V. thyrsoidea*.

Tabela 4. Principais características de inflamabilidade. Análise das relações entre as variáveis frente à inflamabilidade. Pontuações (de 1 a 4, multiplicado por um peso de 5 a 7). Última coluna indica sua pontuação de inflamabilidade. Quanto menor, menor inflamabilidade.

Espécies	TCh (s)	(pontos)	DCh (s)	(pontos)	TOn (°C)	(pontos)	Somatório de pontos
<i>V. thyrsoidea</i>	117	(21)	89	(18)	236,2	(5)	44
<i>P. rigida</i>	143	(14)	72	(12)	244,9	(10)	36
<i>L. bergii</i>	183	(7)	17	(6)	247,0	(15)	28
<i>E. inflexa</i>	70	(28)	176	(24)	260,5	(20)	72

TCh – tempo de ocorrência da primeira chama, DCh - duração das chamas, TOn – temperatura de onset

O somatório de pontos separou as espécies de baixa inflamabilidade em pelo menos 63,6% [(72-44)/44] da espécie de alta inflamabilidade, confirmando resultados anteriores de Souza e Vale, em 2019. Ou seja, considerando os parâmetros analisados, *V. thyrsoidea* é 63,6% menos inflamável que *E. inflexa*, *P. rigida*, 100%, e *L. bergii* tem a inflamabilidade 157% menor que *E. inflexa*.

Silva et al (2019), experimentando espécies do Tocantins, observaram que *Pseudobombax grandiflorum* apresentou um tempo de ignição de 60,8s, duração da combustão de 0,4s e altura da chama 0,16cm, com potencial para cortinas de segurança. Santos et al. (2018), experimentando em epiradiador seis espécies de cerrado, concluíram que a inflamabilidade foi dependente do teor de umidade e sua variação relacionada com o teor de voláteis de cada espécie.

Ganteaume et al. (2013) encontraram 178% de teor de umidade base seca, 0,032cm de espessura, área de 13,2cm², volume de 0,43cm³, 31,09cm⁻¹ de relação área/volume, 29,6s para ignição e 9s de duração das chamas no epiradiador a 420°C, e 19,93 kJ/ kg de PCS para *Pittosporum tobira*, que foi classificada como de baixa inflamabilidade e indicada para o paisagismo protetivo. Os autores alertam para o fato de que a irrigação frequente e as podas de manutenção tendem a diminuir a inflamabilidade das plantas em geral.

4 Conclusões

O estudo da inflamabilidade das espécies nativas pode apontar estratégias alternativas para contenção dos incêndios florestais no Cerrado, de modo a diminuir os danos ecológicos e sociais. O manejo da paisagem e dos combustíveis florestais pode contribuir sobremaneira para a gestão dos incêndios florestais no Distrito Federal e no bioma Cerrado. Associadas aos aceiros tradicionais, essas plantas de baixa inflamabilidade poderão ser utilizadas na proteção contra incêndios florestais em áreas de restauração, em casas na interface urbano-florestal, e em unidades de conservação. Ou seja, as plantas de baixa inflamabilidade configuram-se como mais uma estratégia na proteção contra incêndios florestais em qualquer estrutura ou sistema que se queira proteger.

O alto tempo de atraso para ignição fornece um indicativo confirmador da baixa inflamabilidade de *V. thyrsoidea*, *P. rigida* e *L. bergii* em comparação a *E. inflexa*. Em comparação com a vegetação adjacente queimada, as espécies *Vochysia thyrsoidea*, *Palicourea rigida*, e *Lavoisiera bergii* apresentam-se como espécies de baixa inflamabilidade. Essa constatação, a partir das observações em áreas queimadas, é comprovada e explicada pela análise de suas características e pelos resultados dos ensaios laboratoriais, especialmente em comparação com *Echinolaena inflexa*.

Os métodos empregados neste estudo limitam as generalizações de aplicações. Trabalhos recentes empregam equipamentos mais completos e automatizados para as análises. Experimentos de campo futuros com o plantio dessas espécies em barreiras verdes podem comprovar sua efetividade na retenção da propagação de chamas. Todo esforço de análise apresentado indica que a busca de espécies de baixa inflamabilidade em áreas queimando e queimadas pode ser uma alternativa viável de levantamento.

5 Referências bibliográficas

ALBINI, F. A., (1992): Dynamics and modeling of vegetation fires: observations, pp. 39-52, in Crutzen and Goldammer (eds.) Fire in the

Environment (New York: Wiley).

BATISTA, A.C., BIONDI, D., TETTO, A. F., ASSUNÇÃO, R., TRES, A., TRAVENISK, R. C. C., KOVALSYKI, B. (2012). Evaluation of the Flammability of Trees and Shrubs Used in the Implementation of Green Barriers in Southern Brazil. General Technical Report PSW-GTR-245. In: Proceedings of the Fourth International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: Climate Change and Wildfires, Mexico City, Mexico. November 5-11.

BEM, DAL A. J. (2008). Análise do desempenho de um motor ciclo Otto alimentado com álcool de 75 INPM. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade de São Paulo. 231p.

BRASIL. LEI Nº 12.086, de 6 de novembro de 2009. Dispõe sobre os militares da Polícia Militar do Distrito Federal e do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2009.

BRASIL. DECRETO Nº 7.163, de 29 de abril de 2010. Dispõe sobre a organização básica do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2010.

ÇENGEL, YUNUS A., GHAJAR, AFSHIN J. (2012) Transferência de Calor e de Massa- uma abordagem prática. Adaptado por Mehmet Kanoglu. Tradução Fátima Lino. 4. Ed. Porto Alegre: AMGH, 904 p.

CBMDF (2009). Manual básico de combate a incêndio: módulo 1: Comportamento do fogo. 2. ed. Brasília: CBMDF. 160p.

CINTRA, LARISSA; OLIVEIRA, GILBERTO; SILVA, FRANCISCA; SOUZA, IGOR; GIONGO, MARCOS; BATISTA, ANTONIO. (2020). Inflamabilidade de espécies florestais do Cerrado Sensu Stricto e seu potencial para implantação de cortina de segurança. Journal of Biotechnology and Biodiversity. 8. 290-296.

CSR/IBAMA. (2009). Relatório Técnico de Monitoramento do Desmatamento no Bioma Cerrado, 2002 a 2008: Dados Revisados. Novembro de 2009.

CUI, Y. (2007) Fire management in China: Application and Development to fuelbreaks. In Wildfire 2007, Sevilha, Espanha.

DIMITRAKOPOULOS, A.P; MITSOPOULOS, I.D; KALIVA, A. Short communication. (2011). Comparing flammability traits among fire-stricken (low elevation) and non firestricken (high elevation) conifer forest species of Europe: a test of the Mutch hypothesis. Forest Systems, 22.

FAO- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION

OF THE UNITED NATIONS. (1953). FAO Forestry Series No.6. FAO Forestry and Forest Products Studies No. 5. Forest Fire Control. by S.B. SHOW and B. CLARKE. Rome.

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

HACHMI, M. H., SESBOU, A., BENJELLOUN, H., EL HANDOUZ, N., & BOUANANE, F. (2011). A simple technique to estimate the flammability index of Moroccan forest fuels. Journal of Combustion,(1), 263531.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Estação Brasília. (2013). Gráfico de estação meteorológica automática.

KIM, D. H.; LEE, M. B.; KOO, K. S.; LEE, S. Y. Abstract: Forest fire risk assessment through analyzing ignition characteristics of forest fuel bed. Ecology and Management 234S S31

LEROY, V., CANCELLIERI, D., LEONI, E. (2006). Thermal degradation of ligno-celulosic fuels: DSC and TGA studies. University of Corsica, France.

LIODAKIS, S; KAKARDAKIS, T.; TZORTZAKOU, S.; TSAPARA, V. (2008). How to measure the particle ignitability of forest species by TG and LOI. Thermochemica Acta 477.

MURRAY, B.R.; BROWN, C.; MURRAY, M.L.; KRUX, D.W.; MARTIN, L.J.; HAWTHORNE, T.; WALLACE, M.I.; POTVIN, S.A.; WEBB, J.K. An Integrated Approach to Identify Low-Flammability Plant Species for Green Firebreaks. (2020) Fire, 3, 9.

MURRAY, B. R.; HARDSTAFF, L. K.; PHILLIPS, M. L. (2013) Differences in Leaf Flammability, Leaf Traits and Flammability-Trait Relationships between Native and Exotic Plant Species of Dry Sclerophyll Forest. PLoS ONE 8(11): e79205.

MURRAY, B.R.; MARTIN, L.J.; BROWN, C.; KRUX, D.W.; PHILLIPS, M.L. (2018). Selecting Low-Flammability Plants as Green Firebreaks within Sustainable Urban Garden Design. Fire, 1, 15.

NÚÑEZ-REGUEIRA, L.; AÑON, J. A. R.; CASTIÑEIRAS, J. P. (1996). Calorific values and flammability of forest species in Galicia. Coastal and hillside zones. Bioresource Technology 57.

ONIGEMO, A. E. (2007) Avaliação de índices de risco de incêndio em áreas com predominância de gramíneas cespitosas na sub-região da

Nhecolândia, Pantanal, MS. Tese de Doutorado. Dep. Ecologia. ICB. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande.

QUIRINO, V. F., BRITO, J. O. (1991) Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal. LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS-LPF - SÉRIE TÉCNICA Nº 13. Brasília.

ROCHA, J. D.; PÉREZ, J. M. M.; CORTEZ, L. A. B. (2004) Aspectos teóricos e práticos do processo de pirólise de biomassa. Apostila do Curso Energia na indústria de açúcar e álcool. UNIFEI, ITAJUBÁ, 12 a 16 de junho de 2004.

RODRÍGUEZ, M. P. R. (2010). Manejo del Fuego. Editorial Felix Varela. La Habana,

SANTOS, M. M.; BATISTA, A. C.; CARVALHO, E. V.; SILVA, F. C.; PEDRO, C. M.; GIONGO, M. (2018) Relationships between moisture content and flammability of campestrial Cerrado species in Jalapão. Rev. Bras. Cienc. Agrar., Recife, v.13, n.4, e5587.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. (2009). Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers.

SILVA, F. C. S.; DUARTE, V. B. R.; NETO, E. G.; SOUSA, I. V.; SILVA, M. V. C.; SANTOS, M. M.; PORTELLA, A. C. F.; GIONGO, M. (2019). Inflamabilidade de espécies vegetais do cerrado stricto sensu. Journal of Biotechnology and Biodiversity, 7(2), 315-319.

SOUZA, M. A., & VALE, A. T. (2019). Levantamento de plantas de baixa inflamabilidade em áreas queimadas de Cerrado no Distrito Federal e análise das suas propriedades físicas. Ciência Florestal, 29(1), 181-192.

TIAN, X., SHU, L., WANG, M. (2007) Study on Eight Tree Species' Combustibility and Fuelbreak Effectiveness. In Wildfire 2007, Sevilha, Espanha.

TWILLEY, W. H.; BABRAUSKAS, V. (1998). User's Guide for the Cone Calorimeter. Fire Measurement and Research Division. Center for Fire Research. National Bureau of Standards. Gaithersburg.

VASCONCELOS, A. D. M.; SOUTO, P. C.; LEITE, A. P.; GUEDES, A. F.; NUNES, V. H.; JUSTINO, S. T. P.; SILVA, R. M.; RAMOS, G. G.; SOUTO, J. S.; OLIVEIRA, R. J. (2020). Espécies da caatinga para uso em cortinas de segurança contra incêndios florestais. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.11, n.4, p.1-20.

WHITE, R.H; ZIPPERER, W. C. (2010). Testing and classification of individual plants for fire behaviour: plant selection for the wildland-urban interface. International Journal of Wildland Fire, 19 (2), p. 213-22.

ZHANG, Z.; ZHANG, H.; ZHOU, D. (2011). Flammability characterization of grassland species of Songhua Jiang-Nen Jiang Plain (China) using thermal analysis. Fire Safety Journal 46. P. 283-288

6 Apêndice

6.1 Análises estatísticas dos dados

DADOS DO PROGRAMA

Programa, ANOVA, Teste de t, repetições
 =====
 ASSISTAT Versão 7.7 beta (2015) - Homepage http://www.assistat.com
 Por Francisco de A. S. e Silva - UFCG-Brasil - Atualiz. 01/03/2015
 =====

OBSERVAÇÃO

Quando F se aproxima, mas não atinge a significância, mesmo assim o Teste de Tukey poderá encontrar diferença significativa entre a maior e a menor média e também poderá ocorrer o inverso. Esse caso é previsto na literatura e também ocorre com outros testes de comparação. Não entenda essa ocorrência como erro na análise.

SIGLAS E ABREVIACÕES

FV = Fonte de variação
 GL = Graus de liberdade
 SQ = Soma de quadrado
 QM = Quadrado médio
 F = Estatística do teste F
 MG = Média geral
 CV% = Coeficiente de variação em %
 dms = Diferença mínima significativa

TEMPERATURA DE ONSET NA ATG EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	1216.75700	405.58567	10.9699 **
Residuo	12	443.66960	36.97247	
Total	15	1660.42660		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	12	5.9525	10.9699	0.0009

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	236.21500	c
2	244.85500	bc
3	246.12000	b
4	260.51000	a

DMS = 9.37305

MG = 246.92500

Ponto médio = 250.44500

CV% = 2.46

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste t ao nível de 5% de probabilidade

Normalidade dos dados (alfa = 5%)

Teste (Estatística)	Valor	p-valor	Normal
Shapiro-Wilk (W)	0.85466	0.01597	Não

DADOS			
V.	P.	L.	E.
<i>thyrsoides</i>	<i>rigida</i>	<i>bergii</i>	<i>inflexa</i>
238.72	245.87	247.05	268.03
238.71	246.07	242.82	266.19
234.57	244.24	245.74	243.51
232.86	243.24	248.87	264.31

Normalidade dos dados (alfa = 5%)

Tempo total com chamadas no ensaio de combustão

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO
QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	38980.25000	12993.41667	2.7904 na
Resíduo	8	37292.00000	4656.50000	
Total	11	76272.25000		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 < p < .05)
na não significativo (p > .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	8	4.0662	2.7904	0.1093

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

1	88.66666 ab
2	71.66666 ab
3	17.00000 b
4	175.66670 a

DMS - 128.70520

MG - 88.25000

Ponto médio - 150.00000

CV% - 77.32

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste t ao nível de 5% de probabilidade

Normalidade dos dados (alfa = 5%)

Teste (Estatística)	Valor	p-valor	Normal
Shapiro-Wilk (W)	0.80487	0.01065	Não

DADOS			
V.	P.	L.	E.
<i>thyrsoides</i>	<i>rigida</i>	<i>bergii</i>	<i>inflexa</i>
93	57	10	27
83	64	21	210
90	94	20	290