

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo deste trabalho será disponibilizado somente a partir de 11/03/2022.

GABRIEL SCHMIDT TEIXEIRA MOTTA

**EFEITO DA FUMAÇA E DO ARMAZENAMENTO NA RESPOSTA
GERMINATIVA DO ESTRATO HERBÁCEO-ARBUSTIVO DO CERRADO**

ASSIS

2021

GABRIEL SCHMIDT TEIXEIRA MOTTA

**EFEITO DA FUMAÇA E DO ARMAZENAMENTO NA RESPOSTA
GERMINATIVA DO ESTRATO HERBÁCEO-ARBUSTIVO DO CERRADO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Letras de Assis – UNESP – Universidade Estadual Paulista para a obtenção do título de Mestre em Biociências (Área de Conhecimento: Caracterização e Aplicação da Diversidade Biológica).

Orientadora: Profa. Dra. Rosana Marta Kolb

ASSIS

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Ana Cláudia Inocente Garcia - CRB 8/6887

M921e Motta, Gabriel Schmidt Teixeira
Efeito da fumaça e do armazenamento na resposta germinativa do estrato herbáceo-arbustivo do cerrado / Gabriel Schmidt Teixeira Motta. Assis, 2021.
66 f. : il.

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Letras, Assis
Orientadora: Profa. Dra. Rosana Marta Kolb

1. Savana. 2. Fogo. 3. Ervas. 4. Germinação de sementes. 5. Dormência em plantas. I. Título.

CDD 577.4



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Câmpus de Assis



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EFEITO DA FUMAÇA E DO ARMAZENAMENTO NA RESPOSTA GERMINATIVA DO ESTRATO HERBÁCEO-ARBUSTIVO DO CERRADO

AUTOR: GABRIEL SCHMIDT TEIXEIRA MOTTA

ORIENTADORA: ROSANA MARTA KOLB

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em BIOCÊNCIAS, área: Caracterização e Aplicação da Diversidade Biológica pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ROSANA MARTA KOLB (Participação Virtual)
Departamento de Ciências Biológicas / UNESP/Assis

Profa. Dra. ALESSANDRA TOMASELLI FIDELIS (Participação Virtual)
Instituto de Biociências / UNESP/Rio Claro

Profa. Dra. NATASHI APARECIDA LIMA PILON (Participação Virtual)
Indaiatuba/SP

Assis, 11 de março de 2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Profa. Dra. Rosana Kolb, por ter me aceito em seu laboratório, pela sua excelente orientação, pela sua paciência e por seus ensinamentos.

Aos amigos e funcionários do LAFEP, pela companhia de laboratório, pela amizade, pela ajuda na estatística, pela ajuda nas triagens e nas coletas de sementes: Daniel, Gisele, Jonathan, Letícia, Luiz, Rafael, Raphael e Pedro.

À Dra. Alessandra Fidelis, à Dra. Natashi A. Pilon e ao Dr. Jonathan W. F. Ribeiro, pelas contribuições, críticas e sugestões durante o Exame de Qualificação e a defesa.

À Dra. Natashi A. Pilon e à Dra. Alessandra Fidelis pela ajuda nas identificações das espécies e envio de sementes.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro, processo nº 2019/09903-0.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES), código de financiamento 001.

À minha família, que também fez parte desse trabalho, em especial minha avó Amélia, meus pais Cibele e Elias e minha namorada Caren.

Muito obrigado!!

MOTTA, Gabriel Schmidt Teixeira. **Efeito da fumaça e do armazenamento na resposta germinativa do estrato herbáceo-arbustivo do Cerrado**. 2021. 66 f. Dissertação (Mestrado em Biociências). – Faculdade de Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Assis, 2021.

RESUMO

O fogo é um importante fator seletivo nas savanas, moldando estratégias evolutivas em plantas que lá ocorrem. Na savana brasileira, o fogo é capaz de estimular a germinação de sementes, através da elevação de temperatura e da fumaça. O armazenamento das sementes também pode produzir um aumento na germinação, devido ao alívio da dormência. O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da fumaça na germinação de 45 espécies do estrato herbáceo-arbustivo do Cerrado, além de avaliar o efeito do armazenamento das sementes, bem como o efeito do armazenamento seguido de tratamento com fumaça na germinação de seis espécies das famílias Asteraceae, Cyperaceae e Poaceae. A porcentagem de germinação foi aumentada pela fumaça em 14 espécies avaliadas, contudo, houve redução da germinação em quatro espécies, todas na concentração de fumaça de 5%. O tempo médio de germinação (TMG) foi diminuído pela fumaça em cinco espécies, enquanto em outras duas houve aumento do TMG. O armazenamento aumentou a germinação de quatro espécies avaliadas, além de reduzir o TMG de duas. A combinação do armazenamento com fumaça beneficiou três espécies e reduziu o TMG de duas. Concluímos que a fumaça é capaz de estimular a germinação em um grupo de espécies, assim como o armazenamento, e que quando combinado com a fumaça pode potencializar os resultados de alívio de dormência. Assim, a resposta positiva ou negativa à fumaça na germinação reforça o papel do fogo como um importante fator ecológico para o Cerrado. Assim, o armazenamento de sementes para algumas espécies pode ser um passo importante para aumentar o sucesso germinativo de áreas em processo de restauração por semeadura.

Palavras-chave: Savana, Fogo, Ervas, Armazenamento de sementes, Alívio de dormência

MOTTA, Gabriel Schmidt Teixeira. **Effect of smoke and storage on the germinative response of the herbaceous-shrub stratum of the Cerrado.** 2021. 66 f. Dissertation (Master's degree in Biosciences). - Faculdade de Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Assis, 2021.

ABSTRACT

Fire is an important selective factor in savannas, shaping evolutionary strategies in plants that occur there. In the Brazilian savanna, fire can stimulate seed germination, by raising temperature and smoke. Seed storage can also produce an increase in germination, due to dormancy alleviation. This study aimed to evaluate the effect of smoke on the germination of 45 species of the Cerrado herbaceous-shrub stratum, in addition to evaluating the effect of seed storage, as well as the effect of storage followed by smoke treatment on the germination of six species of the Asteraceae, Cyperaceae and Poaceae families. Smoke increased germination in 14 species evaluated; however, there was a reduction in germination in four species, all at a smoke concentration of 5%. In addition, smoke decreased the mean germination time (MGT) in five species, while in two others there was an increase in MGT. The storage increased the germination of four species evaluated, reducing the MGT of two of them. The combination of storage and smoke benefited three species and reduced MGT of two species. We conclude that smoke can stimulate germination in a group of species, as well as storage, and that when combined with smoke it can enhance the results of dormancy alleviation. Thus, the positive or negative response to smoke in germination reinforces the role of fire as an important ecological factor for the Cerrado. In addition, the storage of seeds for some species can be an important step to increase the germination success of areas during the restoration process by sowing.

Keyword: Savanna, Fire, Herbs, Seed storage, Dormancy alleviation

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	8
REFERÊNCIAS.....	15
Capítulo 1 - Efeito da fumaça e do armazenamento na germinação de plantas do estrato herbáceo-arbustivo do Cerrado.....	24
1 Introdução.....	26
2 Materiais e Métodos.....	28
3 Resultados.....	31
4 Discussão.....	43
5 Agradecimentos.....	45
6 Referências.....	46
7 Material suplementar.....	52
CONCLUSÃO GERAL.....	64
APÊNDICE.....	65

INTRODUÇÃO GERAL

Fitofisionomias campestres e savânicas tropicais

Os biomas tropicais gramíneos ou *Tropical Grassy Biomes* (TGBs) fornecem serviços ecossistêmicos essenciais e influenciam a atmosfera da Terra, sendo caracterizados por vegetação com cobertura de copas inferior a 80%, além de uma cobertura contínua de gramíneas C4 e de espécies intolerantes à sombra, com prevalência de fogo (PARR et al., 2014). Os TGBs são comuns nas regiões dos trópicos, e nos subtropicais úmidos sua vegetação compreende formações campestres, savânicas, e até mesmo formações florestais (SCHOLES & ARCHER, 1997).

As vegetações campestres e savânicas podem ser equivocadamente classificadas como áreas degradadas (PARR et al., 2014); o conceito de “*old growth*” introduzido por VELDMAN et al. (2015) para os TGBs, tem o propósito de destacar a importância ecológica dessas vegetações, e demonstrar que se tratam de vegetações primárias, as quais tiveram sua origem a milhares de anos atrás.

As vegetações campestres podem ser encontradas em ambientes áridos, rochosos ou úmidos e possuem uma camada contínua de gramíneas (GIBSON, 2009; BROWN & MAKINGS, 2014), por outro lado, vegetações savânicas apresentam uma camada de gramíneas C4 com a presença de arbustos, subarbustos e árvores esparsas (PENNINGTON & RATTER, 2006; PENNINGTON et al., 2018), ambas vegetações possuem alta biodiversidade de plantas (VELDMAN et al., 2015).

Incêndios e herbivoria são fatores fundamentais nas vegetações abertas, principalmente em ambientes com altos índices de precipitação e solo fértil, características que seriam suficientes para o desenvolvimento de uma floresta (BOND & KELLEY, 2005). As gramíneas possuem vantagens na resposta ao fogo e herbivoria, pois não possuem caules lenhosos e sistemas complexos de raízes, conseqüentemente são capazes de responder rapidamente a esses distúrbios, e suprimir o recrutamento de mudas de plantas lenhosas, que necessitam de tempo para se desenvolver e são sensíveis ao fogo (BOND, 2008).

A exclusão do fogo ou de herbívoros pode transformar rapidamente as vegetações abertas em florestas, o que está diretamente relacionado com a perda de diversidade de plantas herbáceas (VELDMAN et al., 2015). E o fechamento do dossel é uma barreira para a colonização de gramíneas C4, pois sua fisiologia as impede de dominar ambientes de baixa luminosidade (SAGE, 2004). Por sua vez, isso diminui a inflamabilidade do ambiente, uma vez que as gramíneas são a principal fonte de combustível para o fogo (BECKAGE et al., 2009; LEHMANN et al., 2011).

Espécies vegetais campestres e de savanas possuem estratégias adaptativas para sobreviver e prosperar após queimadas naturais, como por exemplo, presença de órgãos subterrâneos contendo reservas, capacidade de rebrota e reprodução logo após a passagem do fogo (OLIVEIRA & MARQUIS, 2002; PARR et al., 2014; VELDMAN et al., 2014; PILON et al., 2021). Também os frutos de algumas espécies podem ter sua deiscência promovida pelo fogo, propiciando a dispersão das sementes (COUTINHO, 1977); e estas apresentam boa tolerância ao fogo (KEELEY et al., 2005; SCOTT & BECKEN,

2010). Além disso, o choque térmico associado ao tempo de exposição ao calor pode quebrar a dormência de sementes (RIBEIRO et al., 2012), enquanto a fumaça pode ser um estimulante da germinação (MERRIT et al., 2007, THOMPSON & OOI, 2010).

O Cerrado: caracterização e ameaças

Localizado na região Neotropical, o Cerrado é considerado a savana tropical com a maior biodiversidade do mundo, e um *hot spot* mundial (MYERS et al., 2000), sendo formado por um mosaico vegetacional com diversas fitofisionomias (COUTINHO, 2006). Entre elas, há as formações campestres (campo limpo e campo rupestre); no campo limpo as gramíneas predominam e a presença de arbustos é insignificante (COUTINHO, 1990), já o campo rupestre é encontrado em altitudes superiores a 700m, e possui tipos vegetacionais similares ao campo sujo e ao campo limpo, com diferença na composição florística e no substrato rochoso (RIBEIRO & WALTER, 2008). No Cerrado também são encontradas fitofisionomias savânicas, como o campo sujo, que se caracteriza pela presença contínua de gramíneas, com arbustos e subarbustos esparsos, o campo cerrado, caracterizado por uma camada de gramíneas, arbustos e subarbustos mais bem representados, e o cerrado *stricto sensu*, caracterizado pela presença de um estrato herbáceo-arbustivo bem definido, com árvores esparsas, sem formação de dossel (COUTINHO, 1990).

Caracterizado por ter inverno seco e verão chuvoso, com média anual de precipitação de 1.500 mm (EITEN, 1972), estima-se que aproximadamente

60,5% do Cerrado ainda possui cobertura vegetal natural (SANO et al., 2010). Apresenta solos com altos níveis de alumínio e pobre em nutrientes, como o nitrogênio e o enxofre, o que está relacionado com a dinâmica do fogo, já que são elementos voláteis (COLE, 1987; SOLBRIG et al., 1996; RIBEIRO & WALTER, 2008).

No Cerrado, o fogo apresenta uma importante função ecológica e evolutiva, sendo sua vegetação fortemente influenciada por sua presença ou ausência (COUTINHO 1990; FURLEY, 1999; MIRANDA et al., 2009; COSTA, et al., 2017). O fogo pode se iniciar de forma natural, através de raios, porém a ação antrópica tem se tornado a principal responsável pelo regime do fogo (RAMOS-NETO & PIVELLO, 2000; VAN WILGEN et al., 2000). O fogo no Cerrado pode ser caracterizado como sendo de superfície, pois tem um tempo de duração curto, consumindo somente a camada herbácea (MIRANDA et al., 2009). O principal combustível do fogo é proveniente da biomassa seca de gramíneas (NEWBERRY et al., 2020). Quando ocorre de forma natural, as maiores intensidades do fogo ocorrem no início da estação chuvosa, e o mesmo é controlado pelas chuvas subsequentes (RAMOS-NETO & PIVELLO, 2000). A ocorrência do fogo depende da disponibilidade de combustível e fatores climáticos, como baixa umidade do ar e altas temperaturas, que irão influenciar diretamente na velocidade e intensidade do fogo (COUTINHO, 1990; SOLBRIG et al., 1996; SCHMIDT et al., 2016).

Assim como ocorre em diversas savanas, o Cerrado também sofre com alterações no regime de fogo, que podem levar ao adensamento florestal (DURIGAN & RATTER, 2005; PINHEIRO & DURIGAN, 2009), além de sofrer com a invasão de gramíneas exóticas, que alteram a dinâmica do fogo

(PIVELLO et al., 1999), e com a expansão da agricultura (KLINK & MACHADO, 2005). A falta de interesse público na manutenção das savanas dificulta e ameaça a conservação desses ambientes, e isso se deve em parte ao equívoco de considerá-las como ecossistemas de origem antrópica, originados a partir da degradação de florestas tropicais, além da negligência da relevância de espécies não arbóreas. A ausência de manejo do fogo, agricultura e urbanização são fatores responsáveis pelas transformações na estrutura e na composição vegetal das savanas (VAN WILGEN et al., 2000; GIBSON, 2009; PARR et al., 2014; VELDMAN et al., 2014; BUISSON et al., 2019).

O papel do fogo e do armazenamento na germinação de espécies savânicas e campestres

As altas temperaturas associadas ao fogo, quando presentes por um curto período de tempo, podem estimular a germinação (READ et al., 2000; BOND & KEELEY, 2005; CLARKE & FRENCH, 2005). A espécie *Syngonanthus nitens* (capim dourado), erva típica do Cerrado, mostrou-se adaptada ao choque térmico, com suas sementes resistindo a temperaturas de 200°C por um minuto (FICHINO et al., 2012).

No Cerrado, estudos vêm demonstrando que a fumaça também pode ser um dos fatores relacionados ao fogo capaz de beneficiar a germinação de espécies de campo sujo (RAMOS et al., 2019; ZIRONDI et al., 2019^a) e de campo rupestre (FERNANDES et al., 2021; ZIRONDI et al., 2019^b). No entanto, alguns estudos mostraram que a fumaça não interfere diretamente na germinação, porém não descartam o efeito benéfico do fogo para essas

fitofisionomias (LE STRADIC et al., 2015; FICHINO et al., 2016; GORGONE-BARBOSA, 2020).

Em outros locais do mundo, espécies de vegetações inflamáveis apresentaram resultados positivos na germinação, como as da bacia do Mediterrâneo, sendo estimuladas por fumaça (MOREIRA et al., 2010) ou seus compostos isolados (ÇATAV et al., 2014). A fumaça também estimulou a germinação de gramíneas na Austrália (CLARKE & FRENCH, 2005), o banco de sementes de espécies dos Fynbos na África do Sul (BROWN, 1993), e de arbustos do Chaparral nos Estados Unidos (KING & MENGES, 2018).

A fumaça possui diversos compostos orgânicos e inorgânicos, que podem estimular a germinação (KEELEY & PAUSAS, 2018), como o dióxido de nitrogênio (KEELEY & FOTHERINGHAM, 1997), as cianoidrinas (FLEMATTI et al., 2011; ÇATAV et al., 2018), e a carriquina (FLEMATTI et al., 2004; KEELEY & PAUSAS 2018; ZHOU et al., 2018), que é um butenólídeo relacionado estruturalmente com reguladores de crescimento vegetal (NELSON et al., 2009).

A carriquina é um dos compostos mais conhecidos da fumaça (FLEMATTI et al., 2004). No entanto, BRADSHAW et al. (2011) sugeriram que a carriquina não está diretamente relacionada com a germinação em ambientes inflamáveis, uma vez que o estímulo na germinação por este composto está presente em diversos clados de eudicotiledôneas e monocotiledôneas, sendo, provavelmente, uma característica que surgiu no início da evolução das Angiospermas. Porém, tal hipótese não impede que haja uma adaptação para espécies de ambiente pós-fogo, pois existem espécies que germinam apenas em resposta a fumaça (KEELEY et al., 2011; LAMONT & HE, 2017). A fumaça

utilizada experimentalmente, pode ser preparada através da queima de biomassa vegetal coletada na área de estudo (JAGER et al., 1996), porém essa fumaça pode ser substituída por fumaça líquida comercial, e apresentar resultados positivos (KEELEY et al., 2005), além de propiciar maior reprodutibilidade a esse tipo de estudo.

A dormência fisiológica não profunda de sementes pode ser aliviada com o armazenamento em algumas famílias, como Asteraceae e Poaceae (BASKIN & BASKIN, 2020); espécies de Cyperaceae também demonstraram melhoras na germinação após armazenamento (LARSON, 1997). A melhora na germinação com períodos de armazenamento pode estar relacionada com diversos fatores, como aumento na produção de etileno (KETRING & PATTE, 1985), ruptura do endosperma (LEUBNER-METZGER, 2003), redução na sensibilidade ao ácido abscísico (RODRÍGUEZ et al., 2018), e até mudanças bioquímicas e biomoleculares (HOLDSWORTH et al., 2008; BAZIN et al., 2011). No entanto, as sementes armazenadas também podem entrar em dormência secundária (CONNER & CONNER, 1988; LI et al., 2006), e dependendo do período de armazenamento pode haver diminuição da viabilidade e morte das sementes (BASKIN & BASKIN, 2020).

Estudos vêm demonstrando o efeito benéfico do armazenamento de sementes para a germinação de espécies de ambientes inflamáveis. O armazenamento foi capaz de aumentar a germinação em espécies herbáceas da Austrália (CLARKE et al., 2000) e em espécies nativas do Cerrado (CARMONA et al., 1998; AIRES et al., 2014; KOLB et al., 2016). Por outro lado, o armazenamento também pode diminuir a germinação e a viabilidade de sementes (DAIREL & FIDELIS, 2020).

O armazenamento pode tornar as sementes mais sensíveis aos compostos presentes na fumaça (BAKER et al., 2005^a). Sementes de espécies herbáceas que ocorrem em ambientes inflamáveis da Austrália, que foram armazenadas e posteriormente expostas à fumaça, apresentaram resultados germinativos positivos à fumaça (ROCHE, et al., 1997; BAKER et al., 2005^b; DOWNES et al., 2015).

Com o intuito de contribuir com os estudos que avaliam o efeito do fogo e do armazenamento na germinação de espécies do Cerrado, e dessa forma ajudar na manutenção de ecossistemas inflamáveis, iremos abordar aqui, o efeito da fumaça na germinação de 45 espécies do estrato herbáceo-arbustivo, pertencentes a diferentes famílias, e o efeito do armazenamento em seis espécies pertencentes à Asteraceae, Cyperaceae e Poaceae. Para tal, foram testadas as seguintes hipóteses: (i) a fumaça estimula a germinação, ao menos em parte das espécies de Cerrado, (ii) o armazenamento é benéfico para a germinação, e (iii) a combinação de armazenamento com exposição subsequente à fumaça potencializa o efeito de estímulo à germinação.

REFERÊNCIAS

AIRES, S. S.; SATO, M. N.; MIRANDA, H. S. **Seed characterization and direct sowing of native grass species as a management tool**. Grass and Forage Science. 69.3: 470-478. 2014.

BAKER, K. S. et al. **Dormancy release in Australian fire ephemeral seeds during burial increases germination response to smoke water or heat**. Seed Science Research. 15.4:339. 2005a.

BAKER, K. S. et al. **The changing window of conditions that promotes germination of two fire ephemerals, *Actinotus leucocephalus* (Apiaceae)**

and *Tersonia cyathiflora* (Gyrostemonaceae). *Annals of Botany*. 96.7: 1225-1236. 2005b.

BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. **Breaking seed dormancy during dry storage: a useful tool or major problem for successful restoration via direct seeding?** *Plants*. 9.5: 636. 2020.

BAZIN, J. et al. **Targeted mRNA oxidation regulates sunflower seed dormancy alleviation during dry after-ripening.** *The Plant Cell*. 23. 6: 2196-2208. 2011.

BECKAGE, B. et al. **Vegetation, fire, and feedbacks: a disturbance-mediated model of savannas.** *The American Naturalist*. 174.6: 805-818. 2009.

BOND, W. J. **What limits trees in C4 grasslands and savannas?** *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 39: 641-659. 2008.

BOND, W. J.; KEELEY, J. E. **Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems.** *Trends in Ecology and Evolution*. 20.7: 387-394. 2005.

BRADSHAW, S. D. et al. **Little evidence for fire-adapted plant traits in Mediterranean climate regions.** *Trends in plant Science*. 16.2: 69-76. 2011.

BROWN, D. E; MAKINGS, E. **A guide to North American grasslands.** *Desert Plants*. 29: 1-160. 2014.

BROWN, N. A. C. **Promotion of germination of fynbos seeds by plant-derived smoke.** *New Phytologist*. 123.3: 575-583.1993.

BUISSON, E. et al. **Resilience and restoration of tropical and subtropical grasslands, savannas, and grassy woodlands.** *Biological Reviews*. 94.2: 590-609. 2019.

CARMONA, R. et al. **Fatores que afetam a germinação de sementes de gramíneas nativas do cerrado.** *Revista Brasileira de Sementes*. 20.1:16-22. 1998.

ÇATAV, Ş. S. et al. **Effect of fire-derived chemicals on germination and seedling growth in Mediterranean plant species.** *Basic and Applied Ecology*. 30: 65-75. 2018

ÇATAV, Ş. S. et al. **Smoke-enhanced seed germination in Mediterranean Lamiaceae**. Seed Science Research. 24. 3: 257. 2014.

CLARKE, P. J.; DAVISON, E. A.; FULLOON, L. **Germination and dormancy of grassy woodland and forest species: effects of smoke, heat, darkness and cold**. Australian Journal of Botany. 48.6: 687-699. 2000.

CLARKE, S.; FRENCH, K. **Germination response to heat and smoke of 22 Poaceae species from grassy woodlands**. Australian Journal of Botany. 53.5: 445-454. 2005.

COLE, M. M. **The savannas. Progress in physical geography**. Earth and Environment. 11.3: 334-355. 1987.

CONNER, A. J.; CONNER, L. N. **Germination and dormancy of *Arthropodium cirratum* seeds**. New Zealand Natural Science. 15: 3-10. 1988.

COSTA, M. B.; MENEZES, L. F. T.; NASCIMENTO, M. T. **Post-fire regeneration in seasonally dry tropical forest fragments in southeastern Brazil**. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 89.4: 2687-2695. 2017.

COUTINHO, L. M. **Aspectos ecológicos do fogo no Cerrado. II. As queimadas e a dispersão de sementes em algumas espécies anemocóricas do estrato herbáceo-subarbustivo**. Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo. 57-63. 1977.

COUTINHO, L. M. **Fire in the ecology of the Brazilian cerrado**. In: Fire in the tropical biota. Springer, Berlin. 82-105. 1990.

COUTINHO, L. M. **O conceito de bioma**. Acta Botanica Brasílica. 20.1: 13-23. 2006.

DAIREL, M.; FIDELIS, A. **How does fire affect germination of grasses in the Cerrado?** Seed Science Research. 30.4: 275-283. 2020.

DOWNES, K. S. et al. **Fire-related cues and the germination of eight *Conostylis* (Haemodoraceae) taxa, when freshly collected, after burial and after laboratory storage**. Seed Science Research. 25.3: 286–298. 2015.

DURIGAN, G. RATTER, J. A. **The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation.** Journal of Applied Ecology. 53.1: 11-15. 2016.

EITEN, G. **The cerrado vegetation of Brazil.** The Botanical Review. 38.2: 201-341. 1972.

FERNANDES, A. F.; OKI, Y.; FERNANDES, G. W.; MOREIRA, B. **The effect of fire on seed germination of campo rupestre species in the South American Cerrado.** Plant Ecology. 222: 45-55. 2021.

FICHINO, B. S. et al. **Does fire trigger seed germination in the Neotropical Savannas? Experimental tests with six Cerrado species.** Biotropica. 48.2: 181-187. 2016.

FICHINO, B.; FIDELIS, A.; SCHMIDT, I.; PIVELLO, V. **Efeitos de altas temperaturas na germinação de sementes de capim-dourado (*Syngonanthus nitens* (Bong.) Ruhland, Eriocaulaceae): implicações para o manejo.** Acta Botanica Brasilica. 26.2. 508-511. 2012.

FLEMATTI, G. R. et al. **A compound from smoke that promotes seed germination.** Science. 305. 5686: 977-977. 2004.

FLEMATTI, G. R. et al. **Burning vegetation produces cyanohydrins that liberate cyanide and stimulate seed germination.** Nature Communications. 2.1: 1-6. 2011.

FURLEY, P. A. **The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados.** Global Ecology and Biogeography. 8.3-4: 223-241. 1999.

GIBSON, D. J. **Grasses and grassland ecology.** New York: Oxford University Press. 21-81. 2009.

GORGONE-BARBOSA, E. et al. **Fire cues and germination of invasive and native grasses in the Cerrado.** Acta Botanica Brasilica. 34.1: 185-191. 2020.

HOLDSWORTH, M.J.; BENTSINK, L.; SOPPE, W. J. **Molecular networks regulating Arabidopsis seed maturation, after-ripening, dormancy and germination.** New Phytologist. 179.1: 33-54. 2008.

JAGER, A. K.; LIGHT, M. E.; VAN STADEN, J. **Effects of source of plant material and temperature on the production of smoke extracts that promote germination of light-sensitive lettuce seeds.** *Environmental and Experimental Botany*. 36.4: 421-429. 1996.

KEELEY, J. E. et al. **Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits.** *Trends in Plant Science*. 16. 8: 406-411. 2011.

KEELEY, J. E. et al. **Seed germination of Sierra Nevada postfire chaparral species.** *Madrono*. 52.3: 175-181. 2005.

KEELEY, J. E.; FOTHERINGHAM, C. J. **Trace gas emissions and smoke-induced seed germination.** *Science*. 276.5316: 1248-1250. 1997.

KEELEY, J. E.; PAUSAS, J. G. **Evolution of 'smoke' induced seed germination in pyroendemic plants.** *South African Journal of Botany*. 115: 251-255. 2018.

KETRING, D. L.; PATTEE, H. E. **Ethylene and lipoxygenase in relation to afterripening of dormant NC-13 peanut seeds.** *Peanut Science*. 12.1: 45-49. 1985.

KING, R. A.; MENGES, E. S. **Effects of heat and smoke on the germination of six Florida scrub species.** *South African Journal of Botany*. 115: 223-230. 2018.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. **A conservação do Cerrado brasileiro.** *Megadiversidade*. 1.1: 147-155. 2005.

KOLB, R. M. et al. **Factors influencing seed germination in Cerrado grasses.** *Acta Botanica Brasilica*. 30.1: 87-92. 2016.

LARSON, J. L. **Factors influencing germination of six wetland Cyperaceae.** *Field Station Bulletin*. 30.1: 1-9. 1997.

LAMONT, B. B.; HE, T. **Fire-proneness as a prerequisite for the evolution of fire-adapted traits.** *Trends in Plant Science*. 22.4: 278-288. 2017.

LE STRADIC, S. et al. **Diversity of germination strategies and seed dormancy in herbaceous species of campo rupestre grasslands.** *Austral Ecology*. 40.5: 537-546. 2015

LEHMANN, C. E. R. et al. **Deciphering the distribution of the savanna biome**. *New Phytologist*. 191.1: 197-209. 2011.

LEUBNER-METZGER, G. **Seed after-ripening and over-expression of class I β -1, 3-glucanase confer maternal effects on tobacco testa rupture and dormancy release**. *Planta*. 215.6: 959-968. 2002.

LI, X. H. et al. **Seed germination characteristics of annual species in temperate semi-arid region**. *Acta Ecologica Sinica*. 26.4: 1194-1199. 2006.

MERRITT, D. J. et al. **Seed dormancy and germination stimulation syndromes for Australian temperate species**. *Australian Journal of Botany*. 55.3: 336-344. 2007.

MIRANDA, H.S. et al. **Fires in the Cerrado, the Brazilian savanna**. In: COCHRANE, M.A. **Tropical fire ecology: climate change, land use and ecosystem dynamics**. New York: Springer-Praxis. 427-450. 2009.

MOREIRA, B. et al. **Disentangling the role of heat and smoke as germination cues in Mediterranean Basin flora**. *Annals of Botany*. 105.4: 627-635. 2010.

MYERS, N. et al. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. *Nature*. 403.6772: 853-858. 2000.

NELSON, D, C. et al. **Karrikins discovered in smoke trigger *Arabidopsis* seed germination by a mechanism requiring gibberellic acid synthesis and light**. *Plant Physiology*. 149.2: 863-873, 2009.

NEWBERRY, B. M. et al. **Flammability thresholds or flammability gradients? Determinants of fire across savanna–forest transitions**. *New Phytologist*. 228: 910-921. 2020.

OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savanna**. New York: Columbia University Press. 52-70. 2002.

PARR, C. L. et al. **Tropical grassy biomes: misunderstood, neglected, and under threat**. *Trends in Ecology & Evolution*. 29.4: 205-213. 2014.

PILON, N. A. L. et al. **The diversity of post-fire regeneration strategies in the cerrado ground layer.** *Journal of Ecology*. 109.1: 154-166. 2021.

PINHEIRO, E. S.; DURIGAN, G. **Dinâmica espaço-temporal (1962-2006) das fitofisionomias em unidade de conservação do Cerrado no sudeste do Brasil.** *Brazilian Journal of Botany*. 32.3: 441-454. 2009.

PIVELLO, V. R. et al. **Abundance and distribution of native and alien grasses in a “Cerrado” (Brazilian Savanna) Biological Reserve 1.** *Biotropica*. 31.1: 71-82. 1999.

PENNINGTON, R. T.; RATTER, J. A. **Neotropical savannas and seasonally dry forests: plant diversity, biogeography, and conservation.** New York: CRC press. 25-78. 2006.

PENNINGTON, R. T.; LEHMANN, C. E.; ROWLAND, L. M. **Tropical savannas and dry forests.** *Current Biology*. 28.9: 541-545. 2018.

RAMOS, D. M. et al. **Fire cues trigger germination and stimulate seedling growth of grass species from Brazilian savannas.** *American Journal of Botany*. 106.9: 1190-1201. 2019.

RAMOS-NETO, M, B.; PIVELLO, V, R. **Lightning fires in a Brazilian savanna National Park: rethinking management strategies.** *Environmental Management*. 26.6: 675-684. 2000.

READ, T. R. et al. **Smoke and heat effects on soil seed bank germination for the re-establishment of a native forest community in New South Wales.** *Austral Ecology*. 25.1: 48-57. 2000.

RIBEIRO J. F.; WALTER B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO S. M.; ALMEIDA S. P.; RIBEIRO J. F. **Cerrado: ecologia e flora.** Brasília: Embrapa Cerrados/Embrapa Informação Tecnológica. 151-199. 2008.

RIBEIRO, M. N. et al. **Fogo e dinâmica da comunidade lenhosa em cerrado sentido restrito, Barra do Garças, Mato Grosso.** *Acta Botanica Brasilica*. 26.1: 203-217.2012.

ROCHE, S.; DIXON, K. W.; PATE, J. S. **Seed ageing and smoke: partner cues in the amelioration of seed dormancy in selected Australian native species**. Australian Journal of Botany. 45.5: 783-815. 1997.

RODRÍGUEZ, M. V. et al. **Effect of storage temperature on dormancy release of sunflower (*Helianthus annuus*) achenes**. Seed Science Research. 28.2: 101. 2018.

SAGE, R. F. **The evolution of C4 photosynthesis**. New Phytologist. 161.2; 341-370. 2004.

SANO, E. E. et al. **Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil**. Environmental Monitoring and Assessment. 166.1: 113-124. 2010.

SCHMIDT, I. B. et al. **Implementação do programa piloto de manejo integrado do fogo em três unidades de conservação do Cerrado**. Biodiversidade Brasileira-BioBrasil. 2:55-70. 2016.

SCHOLES, R. J.; ARCHER, S. R. **Tree-grass interactions in savannas**. Annual Review of Ecology and Systematics. 28.1: 517-544. 1997.

SCOTT, D.; BECKEN, S. **Adapting to climate change and climate policy: Progress, problems and potentials**. Journal of Sustainable Tourism. 18.3: 283-295. 2010.

SOLBRIG, O. J.; MEDINA, E.; SILVA, J. F. Determinants of tropical savannas. In: SOLBRIG, O. J.; MEDINA, E.; SILVA, J. F. **Biodiversity and Savanna Ecosystems Processes**. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. 31-41. 1996.

THOMPSON, K.; OOI, M. K. J. **To germinate or not to germinate: more than just a question of dormancy**. Seed Science Research. 20.4: 209-211. 2010.

VAN WILGEN, B. W. et al. **A fire history of the savanna ecosystems in the Kruger National Park, South Africa, between 1941 and 1996**. South African Journal of Science. 96.4: 167-178. 2000.

VELDMAN, J. W. et al. **Fire frequency, agricultural history and the multivariate control of pine savanna understory plant diversity**. Journal of Vegetation Science. 25.6: 1438-1449. 2014.

VELDMAN, J. W. et al. **Toward an old-growth concept for grasslands, savannas, and woodlands.** *Frontiers in Ecology and the Environment*. 13.3: 154-162. 2015.

ZHOU, J. et al. **Effects of smoke-water and smoke-isolated karrikinolide on tanshinones production in *Salvia miltiorrhiza* hairy roots.** *South African Journal of Botany*. 119: 265-270. 2018

ZIRONDI, H. L. et al. **Heat and smoke affect the germination of flammable resprouters: *Vellozia* species in the Cerrado.** *Folia Geobotanica*. 54.1: 65-72. 2019^b.

ZIRONDI, H. L.; SILVEIRA, F. A.; FIDELIS, A. **Fire effects on seed germination: Heat shock and smoke on permeable vs impermeable seed coats.** *Flora*. 253: 98-106. 2019^a.

CONCLUSÃO GERAL

Os resultados revelam que o uso da fumaça e do armazenamento pode ser benéfico no processo germinativo de espécies do estrato herbáceo-arbustivo do Cerrado, no entanto, diante da grande diversidade de espécies, e das diferentes respostas germinativas apresentadas, são necessários mais estudos para compreender melhor a estratégia reprodutiva dessas formas de vida frente ao fogo, bem como os mecanismos de alívio de dormência em sementes armazenadas.

Os dados obtidos indicam que:

- (i) A fumaça pode ser benéfica para o processo germinativo, no entanto, algumas espécies podem apresentar inibição da germinação, e aumento do TMG;
- (ii) O armazenamento pode aumentar as porcentagens germinativas em plantas de Cerrado, aliviando a dormência em espécies de Cyperaceae e Poaceae;
- (iii) A combinação do armazenamento com posterior tratamento com fumaça pode potencializar as porcentagens germinativas de espécies de Poaceae.

APÊNDICE

Normas para elaboração do manuscrito (Flora, INSS eletrônico): 0367-2530.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient details to allow the work to be reproduced by an independent researcher. Methods that are already published should be summarized, and indicated by a reference. If quoting directly from a previously published method, use quotation marks and also cite the source. Any modifications to existing methods should also be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In

contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them.

A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc.

Formulae and equations in appendices should be given separate numbering:

Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on.

Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.