



UnB

Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Departamento de Ecologia
Programa de Pós-Graduação em Ecologia

**GERMINAÇÃO DE GRAMÍNEAS NATIVAS E INVASORAS DO CERRADO
APÓS EXPOSIÇÃO A PULSOS DE CALOR.**

Marcus Vinicius Falcão Paredes

Brasília, 2016



Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Departamento de Ecologia
Programa de Pós-Graduação em Ecologia

**GERMINAÇÃO DE GRAMÍNEAS NATIVAS E INVASORAS DO CERRADO
APÓS EXPOSIÇÃO A PULSOS DE CALOR.**

Marcus Vinicius Falcão Paredes

Orientadora: Profa. Heloisa Sinatora Miranda

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação do Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília, como requisito parcial a obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Brasília, maio de 2016.

Brasília, 06 de junho de 2016.

Agradecimentos

Agradeço minha orientadora, Profª. Heloisa Sinatora Miranda pela confiança e orientação primorosa. Pois, foi ela quem me recebeu de braços abertos e acreditou em mim e, mesmo sem me conhecer, propôs fazermos um trabalho em parceria, o qual aceitei com muito gosto.

Nesta caminhada de dois anos e três meses junto ao Programa de Pós-graduação em Ecologia da UnB conheci muitos bons professores com quem convivi em sala de aula, entre eles: Paulo Motta (Seminários), John Hay (Ecologia de Populações e Invasões Biológicas), Emerson (Ecologia de Comunidades), Mercedes (Ecossistemas), Pujol (Biogeografia), Edison Sujii (Métodos em Estatística), Pedro (Métodos em Estatística), Rosângela Tidon (Invasões Biológicas). Além da própria professora Heloísa (Métodos em Ecologia e Ecologia do Fogo). Também reconheço o apoio dos amigos do laboratório Naomi, Carol, Stefano, Rafael, Leandro, Wesley e minha sobrinha Maria Cândida. É certo que sentirei saudades dos encontros no laboratório às segundas-feiras pela manhã, quando minha orientadora sempre me dizia: - Marcus, você tem quer ler mais! Recomendando com amor de mãe. Também agradeço ao Instituto Brasília Ambiental (Ibram) por permitir e me apoiar com a flexibilização de horários de trabalho para que pudesse assistir às aulas e escrever a dissertação final.

E, não menos importante, agradeço à minha família, em especial meu pai Carlos Paredes e minha mãe Maria Helena, pelo amor e exemplo de vida dado a mim, antes, agora e sempre. Também agradeço de coração à minha esposa Paula, pela motivação constante, dando-me a certeza eu iria conseguir ser mestre e, além disso, no último semestre do mestrado, ela me deu o maior presente de minha vida, meu filho, Eduardo Paredes.

Obrigado!

Marcus Paredes

Resumo – O Cerrado é considerado uma savana tropical, onde o fogo geralmente é rápido e de superfície. De forma geral, estudos mostram que o fogo poderia beneficiar a germinação das sementes que apresentam dormência física, pois o calor pode danificar a proteção imposta pelos diversos envoltórios das sementes. Este trabalho teve como objetivo investigar a capacidade de germinação de nove espécies de gramíneas nativas e invasoras do Cerrado (*Echinolaena inflexa* (Poir.) Chase, *Paspalum gardnerianum* Nees, *Paspalum reduncum* Nees ex Steud., *Paspalum stellatum* Humb. & Bonpl. ex Flüggé, *Paspalum trachycoleon* Steud., *Schizachyrium sanguineum* (Retz.) Alston, *Andropogon gayanus* Kunth, *Melinis minutiflora* P. Beauv. e *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D.Webster.). Uma vez que (i) o fogo não estimula a germinação das sementes sem dormência física, como é o caso de muitas gramíneas do Cerrado, (ii) em ambientes onde o fogo é recorrente as espécies mais tolerantes ao calor tendem a eliminar as mais sensíveis e (iii) as gramíneas invasoras do Cerrado parecem ser beneficiadas com a queima recorrente, este trabalho se propôs responder a seguinte pergunta: No Cerrado, as sementes de gramíneas invasoras presentes no solo são mais tolerantes do que as de espécies nativas a temperaturas similares àquelas experimentadas durante a passagem do fogo? Para isso, as sementes foram expostas, em laboratório, às mesmas condições térmicas as quais o banco de sementes do solo é exposto durante uma queimada no Cerrado. As combinações de tempos e temperaturas utilizadas visaram simular a posição vertical das sementes no banco do solo durante a passagem do fogo. O desenho experimental consistiu no aquecimento das sementes em fluxo de ar seco a temperatura de 50, 70, 90, 110, 130 ou 150°C por dois ou cinco min. A exposição das sementes ao fluxo de ar quente não estimulou a germinação, provavelmente porque as sementes estudadas não possuem dormência física e o fluxo de calor não resultou na quebra de dormência. Todas as espécies apresentaram relação negativa entre os pulsos de calor e a germinação, entretanto, as espécies apresentaram reduções desiguais na germinação após as exposições aos mesmos tratamentos. Embora *M. minutiflora* tenha sido a única espécie classificada como resistente a pulso de calor de 150°C, não se pode afirmar que todas as espécies invasoras são mais tolerantes a altas temperaturas do que as nativas. Isto por que *U. decumbens* apresenta redução significativa na germinação após pulsos de 90°C e *A. gayanus* apresenta redução na germinação após exposição a 130°C. Por outro lado, há espécies nativas que germinam após exposição a 130°C, como é o caso de *P. trachycoleon* e *S. sanguineum*. Dessa forma, o uso do fogo como forma de manejo em áreas de Cerrado irá reduzir a germinação do banco de sementes do solo de todas as espécies estudadas. Entretanto, *P. trachycoleon* e *S. sanguineum* podem ser utilizadas em planos de recuperação de áreas degradadas por apresentarem alta produção de semente, alta germinação e germinarem após exposição 130°C, temperatura similar àquelas experimentadas pelas sementes do banco do solo durante queimadas de Cerrado.

Palavras-chave: Fogo, manejo, altas temperaturas, queimadas, sementes, dormência, banco de sementes.

Abstract – The Cerrado is considered a tropical savannah, where there's usually a rapid surface fire. In general, studies have shown that fire could benefit the germination of the seeds which have physical dormancy since the heat can damage the protection imposed by the various seed coats of the seeds. This study aimed to investigate the germination of nine species of native and invasive grasses of Cerrado (*Echinolaena inflexa* (Poir.) Chase, *Paspalum gardnerianum* Nees, *Paspalum reduncum* Nees ex Steud., *Paspalum stellatum* Humb. & Bonpl. Ex Flügge, *Paspalum trachycoleon* Steud., *Schizachyrium sanguineum* (Retz.) Alston, *Andropogon gayanus* Kunth, *Melinis minutiflora* P. Beauv. and *Urochloa decumbens* (Stapf) RDWebster.). Since (i) fire does not stimulate the germination of seeds without physical dormancy as in many grasses from Cerrado, (ii) in environments where fire is frequent, the most heat tolerant species tend to eliminate the most sensitive ones and (iii) Cerrado invasive grasses seem to benefit from the frequent fires, this study aimed to answer the following question: regarding the Cerrado soil seed bank, are the invasive grass seeds more tolerant to temperatures similar to those experienced during a fire event than the native grass seeds are? Because of that, the seeds were exposed in the laboratory to the same thermal conditions which the soil seed bank is exposed during a fire in the Cerrado. The combinations of exposure time and temperature used intended to simulate the vertical position of the seed in the soil seed bank during the fire passage. The experimental design consisted of heating the seeds with a dry air flow in the temperatures of 50, 70, 90, 110, 130 or 150 °C for five or two minutes. Seed exposure to the hot air flow did not stimulate germination, probably because the seed of the studied species do not have physical dormancy and the heat flow did not result in dormancy break. All species showed a negative relationship between heat and germination, however, the species showed uneven reductions in germination after exposure to the same treatments. Although, *M. minutiflora* has been the only species classified as resistant to 150 °C heat pulse, one can not say that all invasive species are more tolerant of high temperatures than native. This why *U. decumbens* shows significant reduction in germination after pulses of 90 °C and *A. gayanus* has reduced germination after exposure to 130°C. On the other hand, native species can germinate after exposure to 130 °C, as is the case of *P. trachycoleon* and *S. sanguineum*. Thus, the use of fire as a form of management in the Cerrado areas will reduce the germination of soil seed bank for all species. However, *P. trachycoleon* and *S. sanguineum* can be used in degraded areas recovery work by presenting high seed production, high germination and germinate after exposure to 130°C, temperature similar to those experienced by soil seed bank during fires of Cerrado.

Key words: Fire management, high temperatures, fires, seeds, dormancy, seed bank, savannah.

Sumário

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Lista de Tabelas	vi
Lista de Figuras	vi
1. Introdução	1
2. Material e Métodos	5
2.1 Espécies estudadas	5
2.1.1 Espécies Nativas	6
2.1.2 Espécies Invasoras	7
2.2 Coleta, obtenção, beneficiamento e triagem das sementes	9
2.3 Desenho experimental	10
2.4 Análise Estatística	11
3. Resultados	12
4. Discussão	19
5. Conclusões	26
6. Referências bibliográficas	27

Lista de tabelas

Tabela 1. Resultados fatoriais da ANOVA, utilizando seis fatores (Origem; Gênero; Espécie; Temperatura; Tempo). GL – Grau de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; MQ – Média dos quadrados.

Tabela 2. Germinação e tempo médio de germinação (\pm desvio padrão) para sementes de espécies nativas e invasoras (*) de ampla distribuição no Cerrado. Germinação sob luz branca, com foto-período de 12h a temperatura ambiente ($\approx 25^{\circ}\text{C}$).

Tabela 3. Resultados fatoriais da ANOVA, utilizando duas variáveis independentes como fatores (temperatura e tempo) e duas variáveis dependentes (Germinação e Tempo médio de germinação - *TMG*) para um conjunto de seis espécies de gramíneas nativas do cerrado e três invasoras, submetidas a pulsos de calor (50, 70, 90, 110, 130 e 150°C) durante 2 ou 5 minutos. GL – Grau de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; MQ – Média dos quadrados.

Tabela 4. Tempo médio de germinação (\pm desvio padrão) para sementes de nove espécies de gramíneas nativas e invasoras do Cerrado submetidas a pulsos de calor (50°C , 70°C , 90°C , 110°C , 130°C ou 150°C) por 2 ou 5 min.

Lista de figuras

Figura 1. Sementes de: **a** - *Echinolaena inflexa* (Poir.) Chase; **b** - *Paspalum gardnerianum* Nees; **c** - *Paspalum reduncum* Nees ex Steud.; **d** - *Paspalum stellatum* Humb. & Bonpl. ex Flüggé; **e** - *Paspalum trachycoleon* Steud.; **f** - *Schizachyrium sanguineum* (Retz.) Alston; **g** - *Andropogon gayanus* Kunth; **h** - *Melinis minutiflora* P. Beauv.; **i** - *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D.Webster. Foram mantidas todas as estruturas da cariopse.

Figura 2. Média de germinação (\pm desvio padrão) para seis espécies de gramíneas nativas do Cerrado em resposta a tratamentos térmicos em laboratório. As colunas brancas correspondem o grupo controle, as cinza-claro representam a exposição ao calor por 2 min e as cinza-escuro a exposição por 5 min. *CTR* = sem tratamento térmico. O símbolo * indica os tratamentos com diferenças estatísticas em relação a *CTR*.

Figura 3. Média de germinação (\pm desvio padrão) para três espécies de gramíneas invasoras do Cerrado em resposta a tratamentos térmicos em laboratório. As colunas brancas correspondem o grupo controle, as cinza-claro representam a exposição ao calor por 2 min e as cinza-escuro a exposição por 5 min. *CTR* = sem tratamento térmico. O símbolo * indica os tratamentos com diferenças estatísticas em relação ao grupo controle (*CTR*). As letras mostram quando existe diferença estatística entre o tempo de exposição na mesma temperatura.

1. Introdução

O Cerrado é considerado uma savana tropical e apresenta várias formas fisionômicas com alta diversidade florística. Nas fisionomias savânicas do Cerrado o estrato herbáceo-subarbusivo é heliófilo e dominado por gramíneas que acumulam biomassa durante a estação chuvosa, de outubro a abril, e secam durante a estação seca, favorecendo a ocorrência de queimadas (Coutinho, 2006). Após a queima, há a rápida recuperação de biomassa no estrato rasteiro (Meireles & Henriques, 1992; Coutinho *et al.*, 1982), o que irá favorecer a ocorrência de novas queimadas já no próximo ano (Neto *et al.*, 1998; D'Antonio & Vitousek, 1992). O fogo no Cerrado geralmente é de superfície, rápido e com baixo tempo de residência, consumindo principalmente a biomassa composta por folhas e ramos finos (diâmetro menor ou igual a 6 mm, Luke & McArthur, 1978), vivos ou mortos do estrato rasteiro, onde as gramíneas representam cerca de 70% deste combustível fino (Miranda *et al.*, 2009, 2010).

Durante queimadas controladas no Cerrado, Miranda *et al.* (1993) reportaram que durante as queimadas, as temperaturas das chamas acima até 160 cm a cima do solo variar de 85 a 840°C e de $279 \pm 97^\circ\text{C}$ na superfície do solo (Castro-Neves & Miranda, 1996). Para queimadas nas savanas da Venezuela, Silva *et al.* (1990) reportaram 111°C a 0,5 cm de profundidade. Entretanto, a temperatura registrada por Miranda *et al.* (1993) a 1 cm de profundidade não ultrapassou 55°C. Para profundidades maiores do que 5 cm não foram registradas alterações significativas na temperatura no solo após a passagem do fogo (Miranda *et al.*, 1993; Dias *et al.*, 1996). Dessa forma, para profundidades superiores a 2 cm, a pequena elevação da temperatura do solo após a queimada, provavelmente não causará efeitos diretos nas sementes presentes no banco de sementes do solo, que de agora em diante será referido apenas como banco de sementes. Entretanto, a elevação da temperatura nos primeiros milímetros de profundidade pode aumentar a germinação via quebra de dormência, ou reduzir a germinação ao danificar os embriões (Keeley *et al.*, 2011). De forma geral, estudos mostram que o fogo poderia estimular a germinação das sementes que apresentam dormência física (Clarke & French, 2005; Baskin & Baskin, 2004), pois o calor pode romper a proteção imposta pelos diversos envoltórios do embrião, e rachar o tegumento impermeável, com conseqüente entrada de água e oxigênio nos tecidos embrionários que causariam a interrupção da dormência como efeito direto do fogo (Clarke & French, 2005; Baskin & Baskin, 2004; Gashaw & Michelsen, 2002).

Os efeitos indiretos do fogo no banco de sementes são resultados da alteração do regime térmico do solo causado pela remoção da cobertura vegetal e pela deposição de camada de cinzas sobre o solo. Essas alterações resultarão no aumento da amplitude térmica diária nos primeiros milímetros de profundidade (Auld & Bradstock, 1996; Castro-Neves & Miranda, 1996). Outros efeitos indiretos resultantes das queimadas são a exposição das sementes à fumaça (Fichino *et al.*, 2016; Thomas *et al.*, 2007, Clarke & French, 2005), o aumento de disponibilização de nutrientes (Bell *et al.*, 1995) e o estímulo à floração (Bond & Wilgen, 1996). Os efeitos indiretos podem ser estudados separadamente ou simultaneamente com os efeitos diretos das altas temperaturas sobre as sementes, que por sua vez estão associados ao tempo de exposição. A complexidade e a variedade dos efeitos diretos e indiretos tornam difícil a comparação entre os resultados de estudos com aquecimento de sementes para savanas (Fichino *et al.*, 2016; Thomas *et al.*, 2007; Clarke & French, 2005; Gashaw & Michelsen, 2002; Auld & Bradstock, 1996; Bell *et al.*, 1995; González-Rabanal & Casal, 1995).

Especificamente para o Cerrado, alguns autores analisaram os efeitos das altas temperaturas sobre a germinação de várias espécies de plantas com diferentes temperaturas, formas de aquecimento e tempos de exposição. Contudo, de forma geral, os resultados mostram que para sementes de espécies lenhosas a exposição a altas temperaturas não estimula a germinação. Por exemplo, Ribeiro *et al.* (2013) reportam que o aquecimento de sementes a 100°C por 5 ou 10 min, não estimulou a germinação de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, *Dalbergia miscolobium* Benth. e *Kielmeyera coriacea* Mart. & Zucc. Salazar & Goldstein (2014) observaram que *Acosmium dasycarpum* (Vogel) Yakovlev; *Brosimum gaudichaudii* Trécul; *Eriotheca pubescens* (Mart. & Zucc.) Schott & Endl.; *Ouratea hexasperma* (A.St.-Hil.) Baill.; e *Solanum lycocarpum* A.St.-Hil. apresentaram redução na germinação após exposição a 90°C por 10 e 15 min. Para sementes de *D. miscolobium* e *Plathymenia reticulata* Benth. com diferentes tamanhos, Bouchardet *et al.* (2015) observaram que a germinação não foi estimulada em resposta ao fluxo de ar seco a 80, 100, 150°C por 2 ou 5 min, entretanto a redução na germinação foi dependente do tamanho da semente e Cirne & Miranda (2008) mostraram que as sementes de *K. coriacea* coletadas dos frutos que abriram após a passagem do fogo não tiveram a germinação alterada, as temperaturas dentro dos frutos variaram de 61 a 63°C durante a passagem do fogo. Entretanto, pode haver exceções, como *Guazuma ulmifolia* Lam que apresentou aumento na germinação após aquecimento em fluxo de ar seco por 100°C por 5 ou 10 min (Ribeiro *et al.*, 2013).

Para espécies herbáceas e arbustivas não houve relato de estímulo à germinação após exposição a altas temperaturas na literatura pesquisada. Fichino *et al.* (2016) mostraram que sementes de *Vellozia glauca* Pohl, *Abolboda poarchon* Seub., *Xyris hymenachne* Mart., *Hyptis velutina* Pohl ex Benth. e *Hyptis crenata* Pohl não tiveram a germinação aumentada após exposição a 150°C por 5 min. Le Stradic *et al.* (2015) reportam que sementes de 15 espécies, incluindo quatro espécies de *Vellozia*, não apresentaram aumento na germinação após aquecimento a 100°C por 5 min. Também, para esta combinação de temperatura e tempo, Schmidt *et al.* (2005) reportam o início da redução na germinação de sementes de *Heteropterys pteropetala* A.Juss. Da mesma forma, Fichino *et al.* (2012) mostraram que houve redução significativa na germinação após exposição a 200°C por 2 e 5 min em sementes de *Syngonanthus nitens* Bong. Ruhland. Para gramíneas de ocorrência no Cerrado, Overbeck *et al.* (2006) reportam que *Andropogon lateralis* Nees e *Schizachyrium microstachyum* (Desv. ex Ham.) Roseng., B.R. Arrill. & Izag. não tiveram a germinação estimulada ou reduzida após exposição a 100°C por 2 min, enquanto que *Elionurus muticus* Kuntze e *Leptochoryphium lanatum* Nees reduziram a germinação a partir da exposição a 70°C, por 2 min. *Aristida torta* (Nees) Kunth teve a germinação reduzida após a exposição a 100°C por 5 min (Le Stradic *et al.*, 2015).

Em pesquisas sobre o efeito da fumaça na germinação de sementes do Cerrado Fichino *et al.* (2016), em estudo com seis espécies do Cerrado do Parque Estadual do Jalapão (TO), não encontraram relação positiva entre a fumaça e a germinação das sementes, entretanto Le Stradic *et al.* (2015) mostram que a germinação de *A. torta* aumentou de 2,3 vezes após a exposição das sementes à água com compostos de fumaça. Os autores argumentam que este aumento foi consequência da quebra de algum tipo de dormência primária ou fisiológica.

O banco de sementes do solo é composto pelas sementes dispersas e viáveis localizadas na superfície ou enterradas no solo, podendo ser persistente ou transiente. Quando as sementes ficam viáveis no solo por mais de um ano o banco é considerado persistente e, quando as sementes do banco perdem a viabilidade em menos de um ano, é considerado transiente (Simpson *et al.*, 1989). Estudos recentes mostram que para o Cerrado o banco de sementes é transiente para a maior parte das espécies (Andrade & Miranda, 2014; Salazar *et al.*, 2011) e com densidades de sementes consideradas baixa, variando de 63 ± 8 sementes/m² (Andrade & Miranda, 2014) a 144 ± 24 sementes/m² (Salazar *et al.*, 2011). Embora alguns estudos considerem que a

reprodução vegetativa seja mais importante do que a germinação em ecossistemas de savanas (Salazar e Goldstein, 2014; Bond & Keeley, 2005; Bellingham & Sparrow, 2000; Whelan, 1995), o recrutamento de novos indivíduos via banco de sementes é importante para a permanência da população no sistema das savanas porque a reprodução sexuada pode gerar aumento da diversidade genética dos propágulos (Pausas *et al.*, 2004; Bond & Keeley, 2005).

No Cerrado preservado a regeneração por sementes ou vegetativa mantém a biodiversidade local, entretanto a introdução de espécies invasoras pode alterar o recrutamento de novos indivíduos, com consequentes modificações nos processos ecológicos, que podem favorecer o estabelecimento de espécies invasoras (D'Antonio *et al.*, 2001). Dentre as mais importantes espécies vegetais invasoras do Cerrado estão as gramíneas de origem africana, com grande distribuição espacial, alta produção de biomassa, rebrota vigorosa após o fogo ou corte, ciclos reprodutivos relativamente curtos, produção massiva de sementes e grande investimento em reprodução vegetativa (D'Antonio & Vitousek, 1992; Watson, 1990). Dessa forma, o aumento da abundância de espécies invasoras no Cerrado está associado a reduções da diversidade local, a alterações do regime de queima, a mudanças no comportamento do fogo e o aumento na produção de biomassa (Marinho & Miranda, 2013; Martins *et al.*, 2011; Martins, 2006; D'Antonio *et al.*, 2001; Pivello *et al.*, 1999) e alterações significativas na densidade do banco de sementes nativas do Cerrado. Por exemplo, em áreas invadidas por *Andropogon gayanus* Kunth o banco de sementes é composto por cerca de 1000 sementes/m² (Marinho & Miranda, 2013), onde *Melinis minutiflora* P. Beauv é a espécie dominante o banco pode chegar a 3700 sementes/m² (Marinho & Miranda, 2013; Ikeda *et al.*, 2008; Martins *et al.*, 2007; Freitas & Pivello, 2005) ou para áreas invadidas por *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D.Webster a densidade de sementes é superior a 800 sementes/m² (Martins, 2008). Assim, as espécies invasoras têm se tornado alvo de grande preocupação, especialmente em Unidades de Conservação (D'Antonio *et al.*, 2001; Pivello *et al.*, 1999; D'Antonio & Vitousek, 1992). Sampaio & Schmidt (2014) alertam para a necessidade de que planos de manejo proponham o controle das espécies invasoras em Unidades de Conservação, pois com o passar do tempo os processos de invasão ficam mais consolidados. Planos de manejo, a partir de 2014, podem empregar queimas prescritas para a conservação do Cerrado, com o entendimento que o fogo, dentro de um contexto amplo, possui funções ecológicas, sociais, econômicas e culturais na forma do Manejo Integrado do Fogo (Ibama, 2015).

Entretanto, os planos de manejo, que apresentem metodologias específicas para o combate a gramíneas invasoras em Unidades de Conservação no Cerrado, necessitam de subsídios técnicos e científicos para obterem maior sucesso na preservação e regeneração da vegetação nativa.

Portanto, visando obter os subsídios que possam auxiliar a elaboração de planos de manejo que tenham como finalidade a redução da presença ou a menor expansão das gramíneas invasoras em Unidade de Conservação, este trabalho teve como objetivo gerar conhecimento sobre a tolerância do banco de sementes de gramíneas às altas temperaturas durante a passagem do fogo. Para isso investigou-se a capacidade das sementes de seis espécies nativas e três invasoras do Cerrado de germinar após a exposição a pulsos de altas temperaturas. Para este trabalho foram consideradas altas temperaturas aquelas superiores a 50°C. Uma vez que: (i) o fogo não estimula a germinação das sementes sem dormência física (Gashaw & Michelsen, 2002; González-Rabanal & Casal, 1995), como é o caso de muitas gramíneas do Cerrado (Overbeck *et al.*, 2006), (ii) em ambientes onde o fogo é recorrente as espécies mais tolerantes ao calor tendem a eliminar as mais sensíveis (Frost & Robertson, 1987) e (iii) as gramíneas invasoras do Cerrado parecem ser beneficiadas com a queima recorrente (D'Antonio *et al.*, 2001; Williams & Baruch 2000), este trabalho se propôs responder a seguinte pergunta: No Cerrado, as sementes de gramíneas invasoras presentes no banco do solo são mais tolerantes do que as de espécies nativas a temperaturas similares àquelas experimentadas durante a passagem do fogo?

2. Material e métodos

2.1 Espécies estudadas

Visando responder a pergunta no laboratório, as sementes foram expostas a condições térmicas semelhantes às experimentadas no banco sementes do solo até a profundidade de 1 cm durante queimadas. Para isso, foram selecionadas nove espécies de seis gêneros de gramíneas de ampla distribuição no Cerrado (<http://www.splink.org.br>), sendo seis espécies nativas e três espécies invasoras.

2.1.1 Espécies nativas

Echinolaena inflexa (Poir.) Chase, *Paspalum gardnerianum* Nees, *Paspalum reduncum* Nees ex Steud., *Paspalum stellatum* Humb. & Bonpl. ex Flüggé, *Paspalum trachycoleon* Steud., *Schizachyrium sanguineum* (Retz.) Alston, foram as espécies

disponíveis para coleta e para as quais existem estudos relativos à competição, fenologia e/ou produção de sementes (Musso *et al.*, 2015; Aires *et al.*, 2014; Marinho & Miranda, 2013; Carmona & Martins, 2010a; Munhoz & Felfili, 2005; Carmona *et al.*, 1999; Filgueiras, 1992; Almeida, 1995).

Cinco das seis espécies são gramíneas C4, exceto *E. inflexa*, conhecida popularmente como capim-flexinha, que apresenta metabolismo fotossintético C3. *Echinolaena inflexa* é uma espécie perene, estolonífera ou rizomatosa com colmos entre 20 e 50 cm de altura (Clayton *et al.*, 2006). Ocorre no Cerrado sentido restrito, campo sujo e campo limpo com distribuição endêmica na América do Sul (Martins & Leite, 1997; Clayton *et al.*, 2006). Apresenta fenologia precoce de ciclo longo, com ciclo reprodutivo de novembro a julho (Almeida, 1995), entretanto, podem ocorrer inflorescências durante todo ano (Martins & Leite, 1997). Forma frutos relativamente grandes com a massa de 100 sementes cheias de 489 mg (Aires *et al.*, 2013), de forma oval, brilhosa, com pericarpo não palhento e sem arista (Figura 1-a). As sementes apresentam germinabilidade de $\approx 50\%$ e possuem dormência primária de cerca de seis meses (Aires, *et al.* 2014). Pivello *et al.* (1999) indicam o capim-flexinha como capaz de competir e deslocar o capim-gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.).

Paspalum gardnerianum é uma espécie perene, cespitosa, com colmos eretos variando entre 45 e 100 cm de comprimento (Clayton *et al.*, 2006). Com distribuição em Cerrado típico, campo limpo e campo sujo (Carmona *et al.*, 1999). A espécie possui fenologia reprodutiva tardia, com inflorescências surgindo de maio a agosto (Almeida, 1995), entretanto pode se estender por todo ano (Martins & Leite, 1997). A massa de 100 sementes cheias é de 111 ± 17 mg (Aires *et al.*, 2014), não são palhentas e possuem pequenas aristas (Figura 1-b). Aires *et al.* (2014) observaram baixa germinação logo após a coleta, 9,6%, e germinação de 55% após um ano de armazenagem, o que indica dormência fisiológica para *P. gardnerianum*.

Paspalum reduncum é uma espécie perene, cespitosa, rizomatosa, com colmos eretos de 60 a 90 cm de comprimento (Clayton *et al.*, 2006). É característica de campos limpo e sujo, cerrado sentido restrito e habitats brejosos (Filgueiras, 1992). A fenologia reprodutiva de *P. reduncum* é tardia e pode apresentar inflorescências durante todo ano (Martins, 2006; Martins & Leite, 1997). A massa para 100 sementes cheias é 39 ± 4 mg (Aires, *et al.* 2014), seus frutos não são palhentos, possuem pericarpo duro e sem aristas (Figura 1c). Para sementes recém coletadas a germinação é de 55% (Aires, *et al.* 2014).

Paspalum stellatum é uma espécie perene, cespitosas, com rizomas curtos. Os colmos são eretos com 40 a 80 cm de comprimento. Pode ser encontrada desde a América do Norte ao sul da América do Sul (Clayton *et al.*, 2006). No cerrado é mais abundante nas fisionomias de campo limpo, campo sujo e Cerrado sentido restrito (Filgueiras, 1992). Sua fenologia é tardia com floração iniciando em fevereiro e a dispersão de frutos em agosto (Martins & Leite, 1997). A massa de 100 sementes cheias é de 107 ± 1 mg (Aires, *et al.* 2014), e apresentam a cariopse protegida por pericarpo palhento sem arista (Figura 1d). A germinação é de 68% e não apresenta dormência (Aires, *et al.* 2014). Aires *et al.* (2014) argumentam que devido à alta produção de sementes e altas porcentagens de germinação, *P. stellatum* pode apresentar um bom desempenho competitivo quando em associação com *M. minutiflora*.

Paspalum trachycoleon espécie perene que apresenta rizomas curtos e colmos inclinados com 100 a 200 cm de comprimento. Ocorre da América do Norte à América do Sul (Clayton *et al.*, 2006). No Cerrado, ocorre em campo sujo e em cerrado sentido restrito (Filgueiras, 1992). Produz frutos pequenos, com massa para 100 sementes cheias de 29 ± 1 mg (Aires, *et al.* 2014), palhentos, sem aristas (Figura 1e). A germinação é superior a 80% e não apresenta dormência (Aires, *et al.* 2014).

Schizachyrium sanguineum é perene, cespitosa com colmos de 60 a 300 cm de comprimento. Está presente em todo o continente americano e também na Ásia tropical (Clayton *et al.*, 2006) e no Cerrado pode ser encontrada nas fitofisionomias de campo limpo e campo sujo (Filgueiras, 1992). Apresenta fenologia reprodutiva de janeiro a junho (Martins, 2006). A massa de 100 sementes cheias é de 250 mg (Dra. Carolina Musso, dados não publicados). Os frutos apresentam cariopse protegidas por um pericarpo palhento e com aristas longas (Figura 1f) e germinação superior a 80% (Musso *et al.*, 2015).

2.1.2 Espécies invasoras

Para a América do Sul, a maioria das espécies de gramíneas invasoras foi introduzida como forrageira para o gado (Williams & Baruch, 2000) e no Brasil são comercializadas para esse fim. As três espécies aqui estudadas, *Andropogon gayanus* Kunth, *Melinis minutiflora* Beauv. e *Urochloa decumbens* Stapf são espécies de origem africana e hoje estão presentes em várias unidades de conservação do continente americano (Williams & Baruch, 2000) e do Brasil (Aires *et al.*, 2014; Martins *et al.*, 2007; Pivello *et al.*, 1999).

Entre as características destas gramíneas invasoras estão a alta produção de biomassa e a grande produção sementes (Williams & Baruch, 2000). *Andropogon gayanus* é uma espécie perene, cespitosa, com colmos entre 150 e 300 cm de altura, com distribuição original na África tropical e subtropical, região ao sul do deserto do Saara (Clayton *et al.*, 2006). Um indivíduo pode lançar até 70 inflorescências (Flores *et al.*, 2005) de suas altas hastes florais que surgem em maio e são mais altas que as da maioria das espécies nativas e assim, a dispersão de suas sementes pode ser facilitada pelo vento (Flores *et al.*, 2005). A produção de sementes é, em média, 70000 sementes/m² (Flores *et al.*, 2005), com massa para 100 sementes cheias de 366 mg (Italiano, 2000). Seus frutos estão maduros em julho, são palhentos e com aristas (Figura 1g). A germinabilidade é superior a 60% (Flores *et al.*, 2005), contudo suas sementes não formam banco permanente no solo. De acordo com Flores *et al.* (2005) quando no solo, as sementes perdem a viabilidade em até 6 meses.

Melinis minutiflora é uma espécie perene, estolonífera e colmos de até 100 cm de altura (Clayton *et al.*, 2006). Sua distribuição original abrange a África tropical e a introdução da espécie no Brasil está relacionada à chegada dos escravos que trouxeram as sementes do capim-gordura em suas camas feitas de palha, além do uso como espécie forrageira para o gado (Martins, 2006; Filgueiras, 1990). Segundo Martins *et al.* (2007), para a região de Brasília, *M. minutiflora* possui fenologia tardia com início da floração em maio e o final da dispersão dos propágulos ocorre em setembro. Suas sementes são pequenas, não palhentas e com aristas (Figura 1h). São leves, com massa de 100 sementes cheias de 12 mg (Martins *et al.*, 2007) e possui alta produção, podendo chegar a 72000 sementes/m² (Martins *et al.*, 2006). A espécie forma banco de sementes permanente e, em laboratório, armazenadas em condições ambientes, suas sementes permanecem viáveis por oito anos, quando ainda apresentam germinabilidade superior a 40% (Carmona & Martins, 2010a).

Urochloa decumbens é uma espécie perene, estolonífera com colmos entre 50 e 150 cm de altura. A sua distribuição original é na África central, Ruanda, Burundi e Zaire (Clayton *et al.*, 2006). O período reprodutivo tem início no final de dezembro, finalizando a dispersão em junho, o que corresponde a uma fenologia precoce de ciclo longo (Koehler, 2010). *Urochloa decumbens* produz frutos grandes, não palhentos e sem aristas (Figura 1i). Cem sementes cheias pesam cerca de 500 mg (Ikeda *et al.*, 2014; Laura *et al.*, 2009). A germinação pode variar de 29% a 87% (Ikeda *et al.*, 2014; Laura *et al.*, 2009; Klink, 1996). A produção de sementes pode atingir cerca

8600 sementes/m² para pastos cultivados (Pancera, 2011) e suas sementes possuem dormência fisiológica, de até três meses para sementes recém-colhidas. Em laboratório, as sementes podem ficar viáveis por dois anos com germinação de 30% (Vieira *et al.*, 2013).

2.2 Coleta, obtenção, beneficiamento e triagem das sementes

As sementes das seis espécies nativas foram coletadas na Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A Unidade de Conservação engloba a região núcleo da Reserva da Biosfera no Distrito Federal (DF). Possui clima característico da região dos Cerrados, com uma estação chuvosa de outubro a abril e outra seca de maio a setembro. A precipitação média anual é de 1453 mm e 75% das chuvas ocorrem entre novembro e março. A temperatura média anual é de 22°C, com as médias das temperaturas máximas e mínimas variando de entre 27°C e 15°C respectivamente (IBGE, 2004).

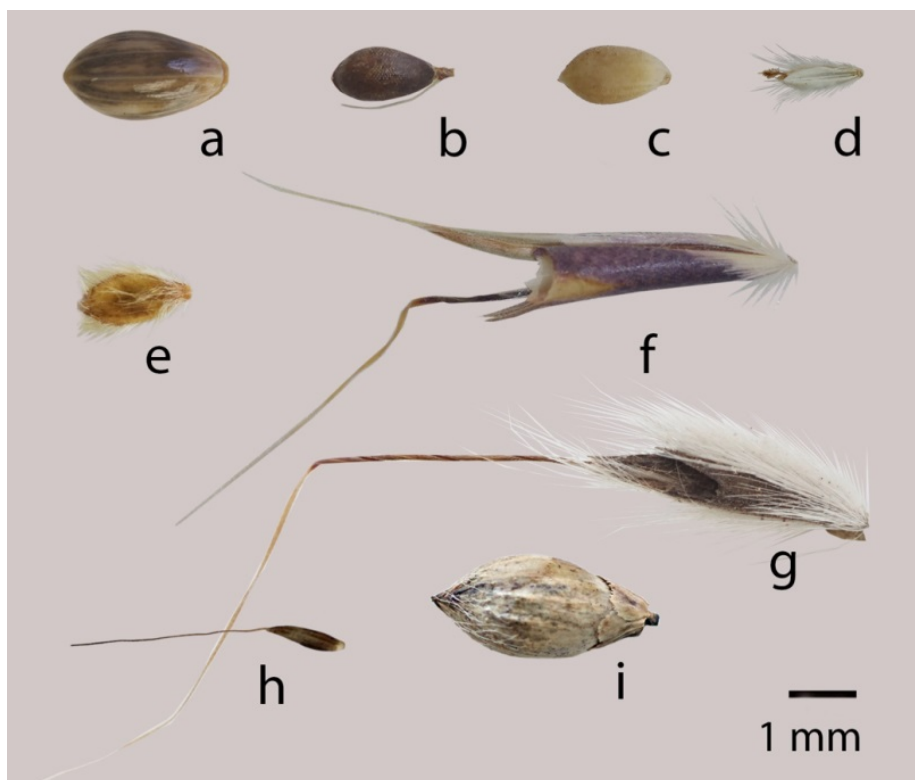


Figura 1. Sementes de: **a** - *Echinolaena inflexa* (Poir.) Chase; **b** - *Paspalum gardnerianum* Nees; **c** - *Paspalum reduncum* Nees ex Steud.; **d** - *Paspalum stellatum* Humb. & Bonpl. ex Flüggé; **e** - *Paspalum trachycoleon* Steud.; **f** - *Schizachyrium sanguineum* (Retz.) Alston; **g** - *Andropogon gayanus* Kunth; **h** - *Melinis minutiflora* P. Beauv.; **i** - *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D.Webster. Foram mantidas todas as estruturas da cariopse.

As sementes foram coletadas de janeiro a abril de 2014, observando o período de dispersão natural de cada espécie a fim de coletar apenas sementes maduras, ou seja, as coletas foram realizadas quando as panículas apresentavam parte das sementes já dispersadas (Carmona *et al.*, 1999). Após a coleta, as sementes foram transportadas para o laboratório para limpeza e triagem. As sementes das três espécies invasoras foram adquiridas no mercado agrícola (BRSEEDS Produção e Comércio de Sementes LTDA de Araçatuba/SP), uma vez que são comercializadas normalmente.

A triagem das sementes das espécies nativas e invasoras e a eliminação de impurezas foram feitas manualmente, selecionando apenas as sementes com formato e coloração uniforme e, quando possível, foi utilizado soprador de sementes para retirada de sementes vazias e pequenas partículas de impurezas. Durante o processo de beneficiamento foram mantidas todas as estruturas da cariopse dos frutos, referidos, daqui por diante, como sementes.

Após a triagem e o beneficiamento, as sementes foram armazenadas em sacos de papel sob condições de temperatura ambiente, $\approx 25^{\circ}\text{C}$, até o início do experimento em setembro de 2014. Não foi aplicado sobre as sementes nenhum tratamento químico ou físico para quebra de dormência ou para evitar contaminação por patógenos e fungos.

2.3 Desenho experimental

Para todas as espécies, o desenho experimental consistiu em seis tratamentos de aquecimento (50, 70, 90, 110, 130 ou 150°C) e um grupo controle. Para cada temperatura as sementes foram aquecidas em fluxo de ar seco por dois ou cinco min. Estas combinações de tempo e temperaturas visam simular as condições das sementes no banco de sementes durante uma queimada. Resultados reportados em de estudos com queimadas no Cerrado foram base para a escolha dos tratamentos (combinações de temperaturas e tempos de exposição) aplicados nesse experimento (Silva *et al.*, 1990; Castro-Neves & Miranda *et al.*, 1996; Miranda *et al.*, 1993; 2009; 2010). Durante a passagem do fogo no Cerrado, a temperatura na superfície do solo é da ordem de $279 \pm 97^{\circ}\text{C}$ (Castro-Neves & Miranda, 1996). Para as savanas Venezuelanas, Silva *et al.* (1990) apresentam valores de 110°C para 0,5 cm de profundidade e para o Cerrado, à profundidade de 1 cm, a temperatura máxima não ultrapassou 55°C (Miranda *et al.*, 2009; 2010). O tempo de permanência das altas temperaturas na superfície do solo durante as queimadas é inferior a cinco minutos, após esse tempo a temperatura da superfície do solo retorna ao valor de antes da queimada e a temperatura do ar a 1 cm de

altura volta ao normal em um minuto após a passagem do fogo (Miranda *et al.*, 1993). Dessa forma, considerando que 90% das sementes contidas no banco do solo encontram-se no primeiro centímetro de profundidade (Andrade *et al.*, 2002), o intervalo de temperaturas e tempos selecionados correspondem ao percebido por grande parte das sementes no banco do solo.

Para cada combinação, espécie, temperatura e tempo de exposição, quatro repetições com 100 sementes cheias foram previamente separadas, exceto para *E. inflexa* para a qual foram 25 sementes por repetição. As sementes utilizadas em cada repetição foram obtidas por meio de uma estimativa com base na massa de 100 sementes cheias (Aires *et al.*, 2014; Musso *et al.*, 2015; Laura *et al.*, 2009; Martins *et al.*, 2007; Carmona *et al.*, 1999).

Para o aquecimento em estufa, as sementes foram depositadas de forma homogênea sobre uma forma construída com folha dupla de papel alumínio, a fim que houvesse um aquecimento rápido e homogêneo. Para evitar pseudo-replicações, cada uma das repetições foi aquecida individualmente (Morrison & Morris, 2000). Após o resfriamento, em condições ambientes, as sementes foram semeadas em placa de Petri forrada com papel filtro e algodão, umedecidas com água destilada e postas para germinar sob luz branca (lâmpadas fluorescente tubular 20W, T10, Luz do Dia) com foto período de 12h, em temperatura ambiente, $\approx 25^{\circ}\text{C}$ (Aires *et al.*, 2014).

A germinação das sementes foi monitorada diariamente quando eram contadas e descartadas. As sementes foram consideradas germinadas quando a radícula apresentava a curvatura geotrópica ou a formação do coleótilo (Labouriau, 1983). Sempre que necessário, as placas foram umedecidas com água destilada. O monitoramento da germinação foi interrompido ao final de 30 dias ou quando a germinação atingiu 100%.

A germinação (G) foi calculada de acordo com a equação: $G = (\sum ni \cdot N^{-1})100$, onde $\sum ni$ é o número total de sementes germinadas em relação a total de sementes colocadas para germinar (N) (Ribeiro *et al.*, 2013; Labouriau, 1983) e o tempo médio de germinação (TMG) foi calculado com a seguinte equação: $TMG = \sum_{i=1}^k (ni \cdot ti) / \sum_{i=1}^k ni$, em que, ti é o tempo decorrido entre o início e o i -ésimo dia de observação, ni é o número de sementes germinadas no momento i (não acumulado) e k representa o dia da última observação (Ranal & Santana, 2006).

2.4 Análise estatística

Para verificar a importância dos fatores origem (invasora ou nativa), gênero, espécie, temperatura e tempo de exposição na germinação (G), foi feita uma análise de

variância ANOVA associando os cinco fatores. Posteriormente, outra análise de variância ANOVA foi feita para cada espécie separadamente, utilizando as temperaturas e o tempo de exposição como variáveis independentes. Essa análise permitiu verificar qual temperatura afetou *G* e *TMG* em cada espécie e a interação com o tempo de exposição (2 e 5 min). O teste Tukey foi utilizado a *posteriori* para as múltiplas comparações das médias. Para que os dados de germinação fossem compatíveis com os pressupostos das análises paramétricas, estes foram transformados para arco seno ($G/100$).

3. Resultados

O resultado da ANOVA com cinco fatores (Tabela 1) mostrou que quatro fatores são significativos para a germinação (origem – $F_{1,468}=17,93$, $p<0,001$; gênero – $F_{4,468}=92,76$, $p<0,001$; espécie – $F_{3,468}=83,78$, $p<0,001$; temperatura - $F_{6,468}=496,02$, $p<0,001$). O fator tempo de exposição não foi significativo de forma geral, exceto para *A. gayanus* à 130°C e para *U. decumbens* à 90°C e considerando que o fator espécie foi significativo no modelo (Tabela 1), esse estudo optou por analisar cada espécie separadamente em outra análise ANOVA.

Tabela 1. Resultados fatoriais da ANOVA, utilizando seis fatores (Origem; Gênero; Espécie; Temperatura; Tempo). GL – Grau de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; MQ – Média dos quadrados.

Variáveis	GL	SQ	MQ	F	P
Origem	1	1,068	1,068	17,983	<0,001
Gênero	4	22,043	5,511	92,763	<0,001
Espécie	3	14,931	4,977	83,782	<0,001
Temperatura	1	29,467	29,467	496,020	<0,001
Tempo	1	0,009	0,009	0,148	0,700
Origem : Temperatura	1	0,888	0,888	14,949	<0,001
Gênero : Temperatura	4	5,029	1,257	21,163	<0,001
Espécie : Temperatura	3	2,352	0,784	13,197	<0,001

A germinação média (\pm desvio padrão) das espécies cujas sementes não sofreram tratamento térmico variou de $3 \pm 1\%$ a $100 \pm 0\%$ e com média geral de $56 \pm 10\%$. As espécies nativas apresentaram maior variação na germinação (*G*) em comparação às invasoras, sendo *P. gardnerianum* com o menor valor e *S. sanguineum* o maior (Tabela 2). Para três espécies do gênero *Paspalum*, *P. reduncum*, *P. stellatum* *P. trachycoleon*, não houve variação significativa na germinação antes dos tratamentos

térmicos (Tabela 2). As espécies de origem invasora apresentaram menor variação nas porcentagens de germinação em relação às nativas e sem diferença significativa entre elas: $32 \pm 4\%$ para *A. gayanus*, $35 \pm 4\%$ para *U. decumbens* e $37 \pm 3\%$ para *M. minutiflora* (Tabela 2), com valor médio de $35 \pm 3\%$.

Tabela 2. Germinação e tempo médio de germinação (\pm desvio padrão) para sementes de espécies nativas e invasoras (*) de ampla distribuição no Cerrado. Germinação sob luz branca, com foto-período de 12h a temperatura ambiente ($\approx 25^\circ\text{C}$).

Espécies	Germinação (%)	Tempo médio de germinação (dias)
<i>Andropogon gayanus</i> *	32 ± 4	$5,0 \pm 1,1$
<i>Melinis minutiflora</i> *	37 ± 3	$6,5 \pm 0,3$
<i>Urochloa decumbens</i> *	35 ± 4	$5,0 \pm 3,0$
<i>Echinolaena inflexa</i>	57 ± 4	$12,7 \pm 1,5$
<i>Paspalum gardnerianum</i>	3 ± 1	$6,6 \pm 0,2$
<i>Paspalum reduncum</i>	59 ± 1	$6,9 \pm 0,3$
<i>Paspalum stellatum</i>	53 ± 12	$9,2 \pm 0,9$
<i>Paspalum trachycoleon</i>	65 ± 14	$6,0 \pm 0,4$
<i>Schizachyrium sanguineum</i>	100 ± 0	$7,1 \pm 1,0$

De acordo com os resultados da ANOVA dois fatores (Tabela 3), nenhuma das espécies estudadas apresentou aumento na germinação (Figuras 2 e 3) quando expostas ao fluxo de ar quente, entretanto, a redução na germinação se deu de forma diferenciada entre as espécies. Assim, elas foram classificadas de acordo com a temperatura máxima em que ocorreu a redução da germinação: (i) resistentes: *M. minutiflora*; (ii) intermediárias: *P. trachycoleon*, *S. sanguineum*, e *P. gardnerianum*, *P. reduncum*, *P. stellatum* e *A. gayanus*; (iii) sensíveis, *E. inflexa* e *U. decumbens*.

Melinis minutiflora foi considerada espécie resistente por apresentar germinações após exposição a pulsos de calor de 150°C por 2 ou 5 min, com redução significativa na germinação para estes tratamentos ($F_{6,42}=44,27$, $p<0,001$). As porcentagens de germinação reduziram de $37 \pm 3\%$ para $10 \pm 2\%$ após exposição a 150°C por 2 min e para $5 \pm 3\%$ por 5 min, sem diferença significativa entre os tempos de exposição (Figura 3).

Tabela 3. Resultados fatoriais da ANOVA, utilizando duas variáveis independentes como fatores (temperatura e tempo) e duas variáveis dependentes (Germinação e Tempo médio de germinação - *TMG*) para um conjunto de seis espécies de gramíneas nativas do cerrado e três invasoras, submetidas a pulsos de calor (50, 70, 90, 110, 130 e 150°C) durante 2 ou 5 minutos. GL – Grau de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; MQ – Média dos quadrados.

Espécie	Variáveis independentes	Germinação					TMG				
		GL	SQ	MQ	F	P	GL	SQ	MQ	F	P
<i>M. Minutiflora</i>	Temperatura	6	1,1846	0,197	44,271	<0,001	6	280,95	46,830	40,368	<0,001
	Tempo	1	0,015	0,015	3,454	0,070	1	5,30	5,300	4,57	0,038
	Temperatura:Tempo	6	0,052	0,009	1941	0,096	6	20,97	3,500	3,014	0,015
	Resíduos	42	0,187	0,004			42	48,720	1,160		
<i>A. gayanus</i>	Temperatura	6	28,198	0,470	203,143	<0,001	6	274,280	45,71	74,639	<0,001
	Tempo	1	0,006	0,006	2,632	0,112	1	0,650	0,650	1,061	0,309
	Temperatura:Tempo	6	0,040	0,007	2,843	0,021	6	3,560	0,590	0,969	0,458
	Resíduos	42	0,097	0,002	-	-	42	25,720	0,610	-	-
<i>U. Decumbens</i>	Temperatura	6	5,032	0,839	920,071	<0,001	6	440,400	73,390	64,622	<0,001
	Tempo	1	0,006	0,006	6,887	0,121	1	2,060	2,060	1,813	0,185
	Temperatura:Tempo	6	0,045	0,008	8,235	<0,001	6	5,900	0,980	0,860	0,532
	Resíduos	42	0,038	0,001	-	-	42	47,700	1,140	-	-
<i>P. Gardnerianum</i>	Temperatura	6	1840,400	306,73	83,177	<0,001	6	499,600	83,260	9,037	<0,001
	Tempo	1	2,510	2,510	0,680	0,414	1	2,150	2,150	0,233	0,632
	Temperatura:Tempo	6	13,000	2,170	0,588	0,738	6	46,300	7,720	0,838	0,547
	Resíduos	42	154,900	3,690	-	-	42	386,900	9,210	-	-
<i>P. stelatum</i>	Temperatura	6	7,249	1,208	143,912	<0,001	6	984,100	164,020	503,480	<0,001
	Tempo	1	0,000	0,000	0,020	0,887	1	3,400	3,360	10,310	0,002
	Temperatura:Tempo	6	0,026	0,004	1,516	0,792	6	4,500	0,750	2,290	0,053
	Resíduos	42	0,353	0,008			42	13,700	0,330		
<i>E. Inflexa</i>	Temperatura	6	0,442	0,0736	6,472	<0,001	6	1,942	0,324	164,806	<0,001
	Tempo	1	0,003	0,003	0,264	0,610	1	0,001	0,001	0,744	0,393
	Temperatura:Tempo	6	0,007	0,001	0,101	0,996	6	0,003	0,001	0,230	0,965
	Resíduos	42	0,478	0,134	-	-	42	0,082	0,002	-	-
<i>P. Reduncum</i>	Temperatura	6	11,736	1,956	30,324	<0,001	6	461,700	76,960	493,010	<0,001
	Tempo	1	0,225	0,229	3,485	0,086	1	0,300	0,290	1,878	0,178
	Temperatura:Tempo	6	0,778	0,130	2,010	0,086	6	2,100	0,36	0,295	0,053
	Resíduos	42	2,709	0,064	-	-	42			-	-
<i>P. trachycoleon</i>	Temperatura	6	7,890	1,315	47,106	<0,001	6	246,010	41,000	412,529	<0,001
	Tempo	1	0,001	0,001	0,030	0,863	1	0,260	0,260	2,608	0,114
	Temperatura:Tempo	6	0,115	0,0192	0,686	0,662	6	0,690	0,120	1,164	0,344
	Resíduos	42	1,172	0,0279	-	-	42	4,170	0,100	-	-
<i>S. sanguineum</i>	Temperatura	6	20,427	3,404	226,295	<0,001	6	572,000	95,330	25,571	<0,001
	Tempo	1	0,000	0,000	0,009	0,926	1	0,200	0,230	0,061	0,806
	Temperatura:Tempo	6	0,046	0,008	0,512	0,796	6	49,700	8,280	2,221	0,060
	Resíduos	42	0,632	0,015	-	-	42	156,600	3,730	-	-

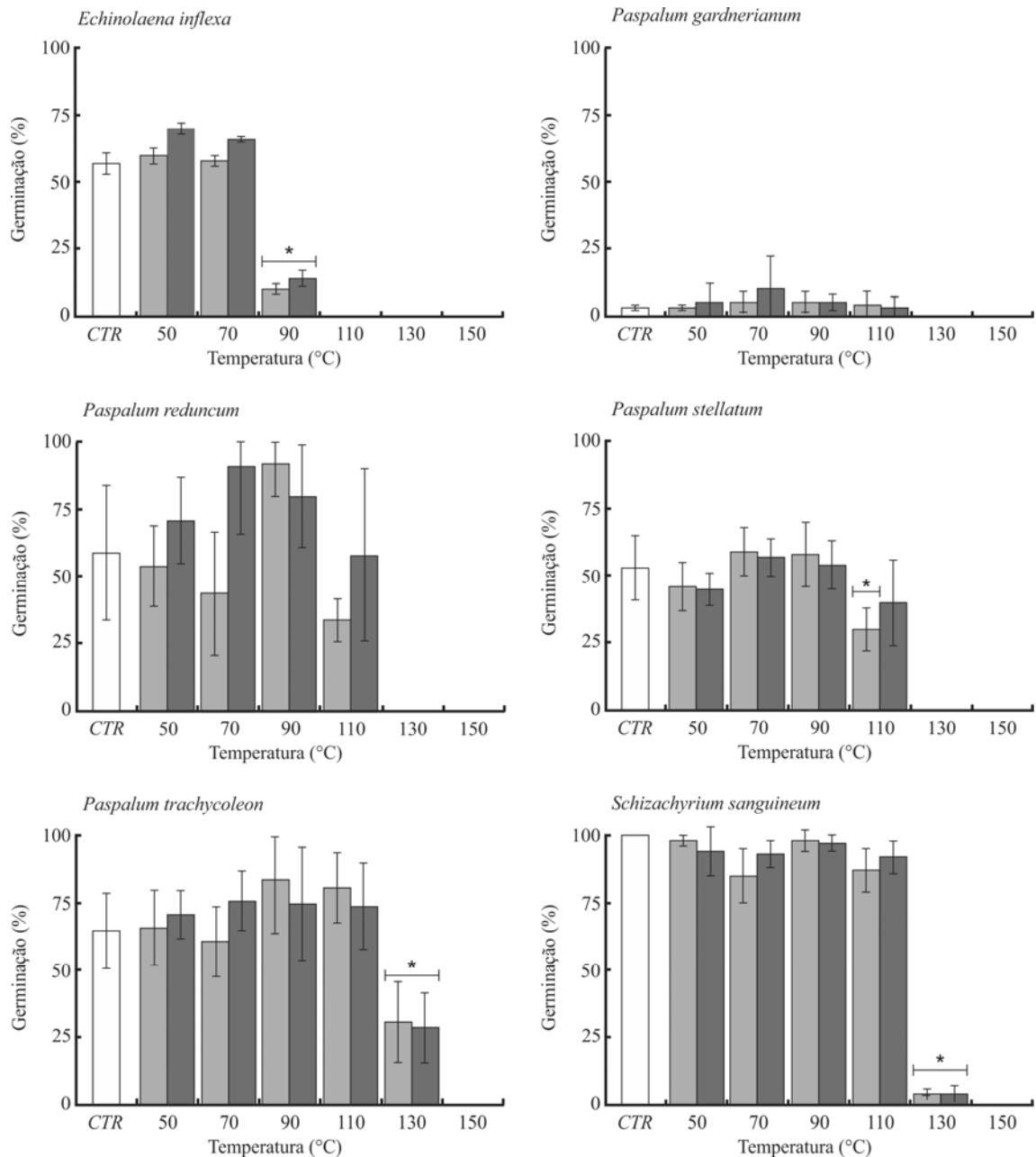


Figura 2. Média de germinação (\pm desvio padrão) para seis espécies de gramíneas nativas do Cerrado em resposta a tratamentos térmicos em laboratório. As colunas brancas correspondem o grupo controle, as cinza-claro representam a exposição ao calor por 2 min e as cinza-escuro a exposição por 5 min. *CTR* = sem tratamento térmico. O símbolo * indica os tratamentos com diferenças estatísticas em relação a *CTR*.

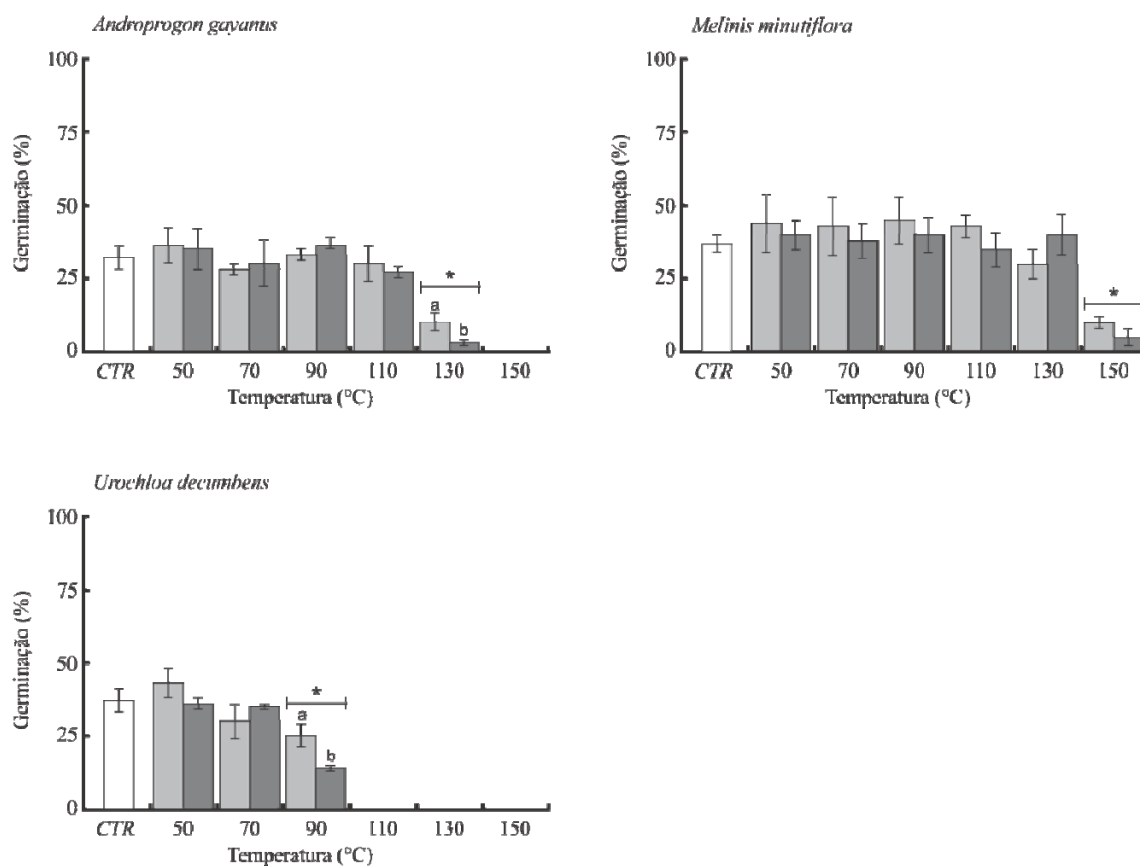


Figura 3. Média de germinação (\pm desvio padrão) para três espécies de gramíneas invasoras do Cerrado em resposta a tratamentos térmicos em laboratório. As colunas brancas correspondem o grupo controle, as cinza-claro representam a exposição ao calor por 2 min e as cinza-escuro a exposição por 5 min. CTR = sem tratamento térmico. O símbolo * indica os tratamentos com diferenças estatísticas em relação ao grupo controle (CTR). As letras mostram quando existe diferença estatística entre o tempo de exposição na mesma temperatura.

O grupo intermediário foi composto pelas espécies que germinaram após exposição a 110°C e/ou 130°C e não germinam a 150°C. Destas, *S. sanguineum* apresentou a maior redução em *G* após exposição a 130°C ($F_{6,42}=226,29$, $p<0,001$), reduziu de $100 \pm 0\%$ para $4 \pm 2\%$ independente do tempo de exposição. *Paspalum trachycoleon* apresentou redução significativa para *G* ao atingir 130°C ($F_{6,42}=47,11$, $p<0,001$) quando *G* foi reduzido à cerca da metade do valor registrado para as sementes sem exposição ao fluxo de calor, redução de $65 \pm 14\%$ para $31 \pm 15\%$ e de $29 \pm 13\%$ para a exposição por 2 e 5 min respectivamente, sem diferença significativa entre os tempos de exposição (Figura 2). Já para *A. gayanus* a germinação foi reduzida após exposição a 130°C ($F_{6,42}=203,14$, $p<0,001$) passando de $32 \pm 4\%$ para $10 \pm 3\%$ após 2

min de exposição (Figura 3) e com redução maior (para $3 \pm 1\%$) após 5 min de exposição ($p=0,008$).

Paspalum gardnerianum, *P. reduncum* e *P. stellatum* não germinaram com temperaturas superiores a 110°C e, a esta temperatura, não apresentaram diferença significativa com as germinações registradas para as sementes sem tratamento térmico (Figura 2).

O grupo das espécies consideradas sensíveis às altas temperaturas foi composto por *E. inflexa* e *U. decumbens*, que não apresentaram germinação para temperaturas superiores a 90°C . Após exposição a 90°C , *E. inflexa* apresentou redução significativa ($F_{6,42}=143,91$, $p<0,001$) em *G*: de $57 \pm 4\%$ para $10 \pm 2\%$ e de $14 \pm 3\%$ para 2 e 5 min respectivamente, sem diferença significativa entre os tempos de exposição (Figura 2). *Urochloa decumbens* também registrou redução ($F_{6,42}=920,07$, $p<0,001$) na germinação de $35 \pm 4\%$ para $25 \pm 4\%$ e $14 \pm 1\%$ após 2 e 5 min de exposição, sendo menor a germinação após 5 min ($F_{6,42}=6,887$ $p=0,012$).

Para as sementes sem tratamento térmico, o tempo médio de germinação (\pm desvio padrão), foi de $7,3 \pm 2,0$ dias, sendo o menor $5,0 \pm 1,1$ dias para *A. gayanus* e o maior $12,7 \pm 1,5$ dias para *E. inflexa*. Entre as espécies invasoras, todas apresentaram tempo médio de germinação (*TMG*) inferior à média geral e entre as nativas duas das seis espécies estudadas, *P. gardnerianum* ($6,6 \pm 0,2$ dias) e *P. trachycoleon* ($6,0 \pm 0,4$ dias), apresentaram *TMG* inferior à média geral (Tabela 2). Após os tratamentos com fluxo de ar quente o *TMG* calculado na temperatura máxima de germinação (*TMax*), apresentou aumento médio de 27% atingindo $9,9 \pm 1,0$ dias. Quatro espécies apresentaram aumento significativo no *TMG* após aquecimento, *P. gardnerianum* ($F_{6,42}=64,62$, $p<0,001$); *S. sanguineum* ($F_{6,42}=25,57$, $p<0,001$); *A. gayanus* ($F_{6,42}=74,63$, $p<0,001$) e *M. minutiflora* ($F_{6,42}=40,36$, $p<0,001$). Entretanto, apenas *M. minutiflora*, apresentou diferença significativa ($F_{6,42}=6,04$, $p=0,005$) entre os tempos de exposição, isto é, 2 e 5 min (Tabela 4). *Melinis minutiflora* apresentou a maior variação do tempo médio de germinação após aquecimento, com aumento de aproximadamente 7 dias, e nenhuma espécie apresentou redução significativa no *TMG* após os tratamentos térmicos (Tabela 4).

Tabela 4. Tempo médio de germinação (\pm desvio padrão) para sementes de nove espécies de gramíneas nativas e invasoras do Cerrado submetidas a pulsos de calor (50°C, 70°C, 90°C, 110°C, 130°C ou 150°C) por 2 ou 5 min.

Espécies	Tempo médio de germinação (dias)												
	Controle	50°C		70°C		90°C		110°C		130°C		150°C	
		2 min	5 min	2 min	5 min	2 min	5 min	2 min	5 min	2 min	5 min	2 min	5 min
<i>Andropogon gayanus</i> *	5,0 \pm 1,1a	4,9 \pm 0,6	4,8 \pm 0,9	4,8 \pm 0,5	5,1 \pm 0,4	5,0 \pm 0,6	4,6 \pm 0,8	5,3 \pm 0,6	5,3 \pm 0,6	7,3 \pm 1,1b	9,0 \pm 1,3b		
<i>Melinis minutiflora</i> *	6,5 \pm 0,3a	4,8 \pm 0,3	6,1 \pm 0,4	6,5 \pm 0,3	6,5 \pm 0,4	6,4 \pm 0,5	5,9 \pm 0,4	6,6 \pm 0,7	6,6 \pm 0,7	6,8 \pm 0,4	6,9 \pm 0,3	11,0 \pm 1,0b	14,3 \pm 1,8b,c
<i>Urochloa decumbens</i> *	5,8 \pm 0,3	5,4 \pm 0,5	5,1 \pm 0,3	6,0 \pm 0,1	5,6 \pm 0,5	5,7 \pm 1,1	7,2 \pm 1,6						
<i>Echinolaena inflexa</i>	12,7 \pm 1,5	10,3 \pm 0,4	10,8 \pm 0,4	12,1 \pm 0,7	11,2 \pm 1,4	12,4 \pm 1,1	13,1 \pm 0,5						
<i>Paspalum gardnerianum</i>	6,6 \pm 0,2a	7,1 \pm 0,7	6,1 \pm 0,1	9,2 \pm 0,9	7,6 \pm 0,7	7,8 \pm 0,8	6,9 \pm 0,6	10,7 \pm 1,1b	10,1 \pm 0,8b				
<i>Paspalum reduncum</i>	6,9 \pm 0,3	6,9 \pm 0,6	5,8 \pm 0,6	6,4 \pm 0,6	5,4 \pm 0,3	6,0 \pm 0,2	6,1 \pm 0,4	6,6 \pm 0,3	6,8 \pm 0,7				
<i>Paspalum stellatum</i>	9,2 \pm 0,9	10,1 \pm 0,3	8,5 \pm 0,5	9,4 \pm 0,4	8,9 \pm 0,8	9,2 \pm 0,6	8,8 \pm 0,8	10,1 \pm 0,7	9,3 \pm 0,6				
<i>Paspalum trachycoleon</i>	6,0 \pm 0,4	5,9 \pm 0,3	6,0 \pm 0,4	5,7 \pm 0,2	6,2 \pm 0,4	5,5 \pm 0,3	5,4 \pm 0,1	5,2 \pm 0,3	5,5 \pm 0,3	6,5 \pm 0,4	6,7 \pm 0,4		
<i>Schizachyrium sanguineum</i>	7,1 \pm 1,0a	7,8 \pm 0,4	8,2 \pm 0,7	7,2 \pm 1,1	6,8 \pm 0,3	5,7 \pm 0,3	6,0 \pm 0,1	6,3 \pm 0,1	9,2 \pm 0,9	13,5 \pm 2,5b	12,6 \pm 1,2b		

* Espécies invasoras no Cerrado; letras diferentes indicam diferença significativa ($p < 0,05$)

4. Discussão

Neste trabalho, as germinações (*G*) das gramíneas nativas que não sofreram tratamento térmico estão dentro do intervalo reportado em outros estudos, com valores variando entre 10% a 80% para *E. inflexa*; 9% a 45% para *P. gardnerianum*; 55% a 69% para *P. reduncum*; 36% a 80% para *P. stellatum*; 95% para *P. trachycoleon* e superior a 80% para *S. sanguineum* (Aires *et al.*, 2014; Musso *et al.*, 2015; Carmona & Martins, 2010a; Carmona *et al.*, 1998; Klink, 1996). A grande variação nos valores de *G* em cada espécie pode ser consequência de diferentes épocas de coleta, homogeneidades dos lotes de sementes, formas de beneficiamento, variações genéticas, climáticas e edáficas. Sabe-se também que os diferentes períodos de armazenagem podem alterar significativamente a dormência fisiológica (Aires *et al.*, 2014; Bell *et al.*, 1995).

Para as espécies invasoras as germinações mensuradas também estão dentro do intervalo de valores apresentados na literatura: 19% a 70% para *A. gayanus*, 12% a 90% para *M. minutiflora* e 25% a 80% para *U. decumbens* (Aires *et al.*, 2014; Musso *et al.*, 2015; Vieira *et al.*, 2013; Carmona & Martins, 2010a; Laura *et al.*, 2009; Flores *et al.*, 2005; Klink, 1996). Entretanto, estes valores devem ser observados com cautela, pois o material estudado pode ser ou não oriundo de áreas de pastagens plantadas, onde o solo seria adubado e corrigido, o que pode alterar a produção de sementes viáveis (Castro *et al.*, 1994; Carmo *et al.*, 1988), além dos fatores já citados que podem afetar a dormência e a germinabilidade.

Nenhuma das espécies nativas ou invasoras utilizadas neste trabalho apresentou estímulo à germinação quando expostas a altas temperaturas, independente do tempo de exposição (Figuras 2 e 3). Não foi encontrada na bibliografia para o Cerrado a informação de que a exposição de sementes de gramíneas nativas às altas temperaturas resultasse em estímulos positivos à germinação (Le Stradic *et al.*, 2015; Overbeck *et al.*, 2006). Le Stradic *et al.* (2015), argumentam que nenhuma das duas gramíneas (*Aristida torta* e *E. inflexa*) estudadas apresentam tegumento impermeável à água (dormência física), portanto o calor (100°C por 5 min) não poderia desencadear a quebra de dormência. Overbeck *et al.* (2006), em estudo com 10 espécies de gramíneas, observaram que não houve aumento na germinação após exposição a temperaturas de até 110°C, por 2 min. Entretanto, os autores justificam a manutenção da germinação de *Andropogon lateralis* Nees e *Schizachyrium microstachyum* (Desv. ex Ham.) Roseng., B.R. Arrill. & Izag. em todo o intervalo de temperaturas, à tolerância das sementes a altas temperaturas, o que poderia ser interpretado como adaptação ao fogo. Os autores

também sugerem que a tolerância ao calor pode estar relacionada com o tamanho das sementes. Na literatura internacional foram relatadas algumas espécies de gramíneas das savanas australianas que apresentaram relação positiva da germinação (G) com a exposição a altas temperaturas. Clarke & French (2005), em estudo com 22 *Poaceas* das savanas australianas, reportam aumento em G após a exposição a 120°C por 2 min apenas para sementes de *Eragrostis benthamii* Mattei com aumento de 35% para 70% em G e os autores justificam a tolerância às altas temperaturas à adaptação das pequenas sementes de *E. benthamii* ao fogo, da mesma forma com proposto por Hanley *et al.* (2003).

Para esse estudo, as germinações após a exposição ao fluxo de calor separaram as sementes em três classes: resistentes, intermediárias e sensíveis. A classe resistente incluiu apenas *M. minutiflora*, única espécie com germinação após exposição a 150°C por 2 e 5 min, quando apresentou redução de 95% em G e não apresentou redução significativa em G após a exposição a 130°C para os dois tempos. De forma semelhante, D'Antonio *et al.* (2001) observaram que a germinação desta espécie não foi reduzida após exposição a 120°C por 4 min. Os resultados indicam que $5 \pm 3\%$ do banco de sementes de *M. minutiflora* expostas a 150°C por cinco min irão germinar, isso representa 14% do total de sementes germináveis, ou seja, uma em cada sete sementes localizadas a poucos milímetros da superfície poderá germinar logo após a passagem do fogo. *Melinis minutiflora* produz cerca de 72000 sementes/m² e apresenta germinação entre 12% e 90%, o que pode formar anualmente banco de sementes variando de poucas até cerca de 3700 sementes/m² (Marinho & Miranda, 2013; Ikeda *et al.*, 2008; Martins *et al.*, 2007; Freitas & Pivello, 2005). Entretanto, o estabelecimento de plântulas varia de 0,04% a 6,6% (Martins *et al.*, 2009; Barger *et al.* 2003), o que representa entre 2 e 54 novos indivíduos/m² na área antes da passagem do fogo (Marinho & Miranda, 2013). Para efeito de comparação entre o número de plantas estabelecidas em ambientes antes ou depois fogo, foi assumida a redução de 50% no banco de sementes de *M. minutiflora* após queimadas (Marinho, 2013), associada à redução de cerca de 80% na germinação das sementes localizadas a poucos milímetros de profundidade e expostas a 150°C durante a queimada, a redução total pós-fogo no banco seria para o máximo de 6 plântulas/m². Além da diminuição no número de plântulas, o fogo também causará redução de cerca de 30% dos indivíduos adultos de *M. minutiflora* (Marinho, 2013), fato que promoverá redução na produção de sementes na próxima estação reprodutiva. Estas informações sugerem que o fogo é prejudicial a *M. minutiflora*, contudo, para que

a população da invasora seja efetivamente reduzida, o manejo com o fogo deve ser realizado por no mínimo quatro anos consecutivos, a fim evitar nova produção de sementes, já que a espécie gera banco de sementes permanente, continuando viável, por 3,8 anos no banco do solo (Carmona & Martins, 2010b).

Urochloa decumbens e *E. inflexa* foram as duas espécies classificadas como sensíveis a pulsos de calor. Após a exposição a 90°C por 2 e 5 min, *U. decumbens* apresentou redução em *G* de 29% e 60% e *E. inflexa* de 82% e 75%, respectivamente, e não foram observadas germinações após a exposição a 110°C. Em campo, temperaturas entre 90 e 110°C resultariam em dano à maior parte das sementes sensíveis, inclusive as que estiverem enterradas até a 0,5 cm, pois nessa profundidade o solo poderá atingir 110°C (Silva *et al.*, 1990). Martins (2008), em estudo realizado em área de pasto, durante processo de regeneração natural, reporta a densidade do banco de sementes para *U. decumbens*, até 5,0 cm de profundidade, em 858 sementes/m², podendo ser maior, uma vez que Ikeda *et al.* (2014) reportam que a espécie apresenta germinação até 9 cm de profundidade. Contudo, elevada a redução da germinação das sementes sensíveis de *U. decumbens* no solo logo após a passagem fogo, pode ser compensada pela sua grande capacidade de reprodução vegetativa (Loch, 1977). Além disso, os efeitos indiretos do fogo no solo, como o aumento na amplitude térmica, podem estimular a germinação ao quebrar a dormência fisiológica presente em algumas sementes de *U. decumbens* enterradas a 1cm (Gorgone-Barbosa *et al.*, 2016), o que pode favorecer a persistência da espécie no local.

Para *E. inflexa*, segunda espécie classificada como sensível ao calor, *G* foi reduzido em 82% e 75%, quando as sementes foram expostas a 90°C por 2 e 5 min respectivamente, sinalizando grande perda de sementes viáveis após os eventos de fogo. Em campo, onde a espécie pode ser dominante, o banco de sementes de *E. inflexa* varia de 26 a 76 sementes/m² para amostras de solo coletadas a 2 cm e 5 cm de profundidade respectivamente (Andrade & Miranda, 2014; Salazar *et al.*, 2011). A ausência de formação de banco permanente para a espécie sugere que as sementes que irão germinar serão aquelas dispersas no ano corrente e, conseqüentemente, localizadas na superfície ou a poucos milímetros de profundidade, onde será maior o efeito de altas temperaturas durante a passagem do fogo. Contudo, a relação positiva entre a massa das sementes e a profundidade máxima de emergência estabelecida por Bond *et al.* (1999), permite inferir que as sementes de *E. inflexa* localizadas a profundidades de até 5 cm possam germinar, visto que a massa de suas sementes (489 mg/100 sementes, Aires *et al.*, 2014)

é semelhante a de *U. decumbens* (≈ 500 mg/100 sementes, Ikeda *et al.*, 2014; Laura *et al.*, 2009) a qual apresenta germinações até 9 cm (Ikeda *et al.*, 2014).

Outra característica importante para a manutenção de *E. inflexa* é que o número de novos indivíduos estabelecidos por reprodução vegetativa em áreas queimadas, é três vezes superior à aquele resultante da germinação de sementes (Miranda & Klink, 1996). Dessa forma, para a comparação do estabelecimento de plântulas antes e depois do fogo, considerando em 18% o estabelecimento médio de plântulas de espécies nativas (Aries *et al.* 2014) e a germinabilidade de 50%, o número de plântulas estabelecidas antes do fogo seria de 2 a 7 sementes/m², e após o fogo, considerando que a redução na germinação das sementes que foram expostas ao calor de 90°C é de cerca 80%, o número de plântulas estabelecidas depois do fogo seria de no máximo quatro a cada 3 m² (1,3 plântulas/m²). Entretanto, Miranda & Klink (1996) em estudo de colonização de *E. inflexa*, reportam que o número de plântulas estabelecidas por sementes em áreas protegidas do fogo seria de 0,7 a 2,6 plântulas/m² e em áreas queimadas o número de plântulas seria maior, de 0,9 a 5,8 plântulas/m². O maior estabelecimento de plântulas em áreas com queima reportado por Miranda & Klink (1996), pode ser atribuído aos efeitos indiretos do fogo na germinação, como o aumento da amplitude térmica diária, exposição das sementes à fumaça, o aumento de disponibilização de nutrientes ou até mesmo o estímulo à floração, fatores que não foram considerados nos cálculos de estabelecimento deste trabalho. Assim, as duas espécies classificadas como sensíveis apresentam características comuns: baixa tolerância ao calor, elevada reprodução vegetativa, maior massa das sementes quando comparada às outras espécies estudadas, ausência de aristas para facilitar o enterramento (Figura 1, Johnson & Baruch, 2013) e podem germinar de profundidades maiores que 3,0 cm. A baixa tolerância das sementes às altas temperaturas registrada neste estudo, concorda com o reportado por Overbeck *et al.* (2006), Gashaw & Michelsen (2002) e Miranda & Klink (1996) de que espécies rebrotadoras não dependem da germinação para manterem a abundância local. Entretanto, mesmo que baixo, o número de plântulas resultantes da germinação é importante para a permanência da população no sistema das savanas (Pausas *et al.*, 2004; Bond & Keeley, 2005).

Seis espécies foram classificadas com resistência intermediária ao fluxo de calor, *A. gayanus*, *P. trachycoleon* e *S. sanguineum* apresentaram reduções em *G* a 130°C e *P. gardnerianum*, *P. reduncum* e *P. stellatum* germinaram a 110°C e não germinaram a 130°C (Figuras 2 e 3). Este intervalo de temperaturas é registrado em campo entre

poucos milímetros e 0,5 cm de profundidade (Castro-Neves & Miranda, 1996; Silva *et al.*, 1990; Miranda *et al.*, 1993) onde estão contidas cerca de 70% das sementes do banco do solo (Andrade & Miranda, 2014).

Para *A. gayanus* os resultados indicaram que cerca de 90% das sementes viáveis expostas a 130°C por cinco min não irão germinar. Flores *et al.* (2005) reportam que *A. gayanus* produz de 2000 a 77000 sementes/m², com formação de banco de sementes variando de 550 a 1125 sementes/m² e que pode ser reduzido em 77% após o fogo no final da estação seca (Marinho & Miranda, 2013), ou seja, o banco será reduzido para 181 a 371 sementes/m². Entretanto, considerando a germinação de 32% estimada nesse estudo, a redução de 90% na viabilidade das sementes após a exposição a 130°C por 5 min e o estabelecimento apenas 1,7%, de plântulas (Flores *et al.*, 2005), o número de plântulas estabelecidas após o fogo será de no máximo uma plântula a cada cinco metros quadrados (0,07 a 0,20 plântulas/m²). Porém, diferente de *M. minutiflora*, *A. gayanus* apresenta baixa mortalidade de indivíduos adultos após o fogo, altos índices de rebrota, rápida recuperação da biomassa aérea e não apresenta reprodução vegetativa após o fogo (Marinho & Miranda, 2013; Flores *et al.*, 2005; Rossiter *et al.*, 2003; Bowden, 1964). Dessa forma, mesmo com o baixo estabelecimento de plântulas por sementes, se não houver a remoção dos indivíduos adultos após a queima, a rápida reposição da biomassa aérea com conseqüente floração na próxima estação reprodutiva, resultará na completa reposição do banco de sementes (Marinho & Miranda, 2013), pois um indivíduo pode produzir até 70 inflorescências, resultando cerca de 70000 sementes/m² (Flores *et al.*, 2005).

Para as demais espécies, classificadas com resistência intermediária, todas nativas, atualmente há poucos estudos sobre o banco de sementes viáveis no solo. Andrade & Miranda (2014) e Salazar *et al.* (2011) estudaram 18 espécies, excluindo *E. inflexa*, a densidade do banco de sementes viáveis variou de no máximo 9 sementes/m² (*Axonopus barbigerus* (Kunth) Hitchc.) para menos de uma semente/m², sugerindo que qualquer redução no número de sementes viáveis das gramíneas nativas resultará em perda de variabilidade de propágulos para estes componentes da vegetação. Dessa forma, considerando a germinação média de 56% e o estabelecimento em 18% (Aries *et al.*, 2014), o número aproximado de plântulas seria de 0,1 a 0,9 plântulas/m² em ambientes sem fogo. Para estimar o número de plântulas estabelecidas em ambientes pós-fogo foi considerada redução de 70% das sementes após o fogo e a redução na germinação de ≈80% (sementes expostas a 110°C por 5 min), assim o número de

plântulas de gramíneas nativas estabelecidas após o fogo seria aproximadamente de uma a cinco plântulas para cada 100 m² (0,01 a 0,05 plântulas/m²). Apesar disso, o fogo estimula e/ou antecipa a floração de algumas espécies de gramíneas nativas do Cerrado (Andrade & Miranda, 2014; Munhoz & Felfilli, 2005; Coutinho, 1976; Meguro, 1969) o que pode favorecer a recomposição do banco de sementes e consequente ocupação do espaço aberto pelo fogo (Whelan, 1995). Até o momento não temos informação de que o mesmo ocorra para as espécies de gramíneas invasoras no Cerrado que só irão florescer na próxima estação reprodutiva. Outro fator a ser considerado é o efeito do aumento da amplitude térmica diária do solo sobre a germinação das sementes (Musso *et al.* 2015; Baskin e Baskin, 2001; Labouriau, 1983). Musso *et al.* (2015) em estudo com nove espécies de gramíneas nativas e uma invasora, relatam que o efeito da alteração na germinação são dependentes do tempo de armazenagem das sementes nas novas amplitudes térmicas do pós-fogo. As novas amplitudes pós-fogo favoreceram a germinação de *Aristida recurvata* Kunth e reduziram a germinação de *S. microstachyum*. Para as espécies invasoras, Gorgone-Barbosa *et al.* (2016) reportam que o aumento na amplitude térmica pode estimular a germinação de *U. decumbens* e para *M. minutiflora* Musso *et al.* (2015) reportam aumento na germinação após a exposição das sementes por 30 dias em temperaturas similares ao regime térmico pós-fogo sugerindo uma associação adaptativa entre o período da queima e o início da estação chuvosa.

A massa das sementes está relacionada com resistência a pulsos de calor e o estudo está fundamentado em duas hipóteses, a primeira propõe que sementes com massas maiores são mais resistentes ao calor, pois demoram mais a alterar o equilíbrio térmico interno, de tal forma que seus embriões estariam protegidos por um tempo maior das altas temperaturas (Keeley, 1977), como observado por Bouchardet *et al.* (2015), Gashaw & Michelsen (2002) e Delgado *et al.* (2001). A outra hipótese, proposta por Hanley *et al.* (2003), sugere a existência de processos adaptativos relacionados à distribuição vertical das sementes no solo, onde as sementes maiores que podem germinar a partir de profundidades maiores já estão protegidas das altas temperaturas e não dependem da tolerância das sementes às altas temperaturas para germinar, entretanto as sementes menores, que não são capazes de germinar a profundidades maiores, vão depender da maior tolerância ao calor para germinar próximas à superfície. Dessa forma, os resultados deste trabalho apoiam a hipótese proposta por Hanley *et al.* (2003), pois as espécies de massas maiores (*U. decumbens* e *E. inflexa*) foram mais

sensíveis a altas temperaturas do que a espécie de massa menor. Entretanto, Keeley (1977) propôs que a baixa superfície das sementes em proporção ao volume contribui para a capacidade das sementes em tolerar elevadas temperaturas, contudo a proporção superfície/volume não foi estimada neste estudo.

Os resultados mostraram que *M. minutiflora* possui maior tolerância ao fluxo de calor, sugerindo que esta espécie sofrerá as menores reduções no banco de sementes após o fogo em comparação às demais. Conseqüentemente, a germinação terá um papel importante para *M. minutiflora* no processo de regeneração da vegetação após o fogo. As espécies sensíveis (*E. inflexa* e *U. decumbens*) apresentaram redução acentuada na germinação após exposição ao fluxo de calor, o que sugere que em condições pós-fogo estas espécies vão depender mais da reprodução vegetativa do que da reprodução sexuada para permanecer no ambiente. De forma geral, *E. inflexa* e *U. decumbens* apresentam características de espécies rebrotadoras e *M. minutiflora* exibe característica de espécie semeadora (Klink, 1996; Gashaw & Milchelsen, 2002).

Os tempos de exposição nos tratamentos térmicos não foram significativamente diferentes para as espécies nativas (Figura 2). Dessa forma, infere-se que 2 ou 5 min vão afetar de forma semelhante *G* e *TMG*. Como implicação ecológica deste resultado, pode ser inferir que 2 min de exposição já são o suficiente para alterar o processo germinativo das gramíneas nativas, contudo as espécies invasoras podem apresentar padrões diferentes (Figura 3).

Melinis minutiflora foi a espécie com maior aumento no *TMG* após o a exposição ao fluxo de calor (Tabela 4), e *A. gayanus* apresentou aumento de aproximadamente duas vezes no *TMG* após o aquecimento. Portanto, as sementes destas invasoras, que vão germinar após a exposição a pulsos de altas temperaturas, terão o *TMG* aumentado, o que resultará retardo na ocupação do espaço. Por outro lado, *P. reduncum*, *P. stellatum* e *P. trachycoleon*, não tiveram o *TMG* alterado após exposição ao fluxo de calor. Dessa forma, as espécies nativas serão beneficiadas por não apresentarem aumento no tempo de germinação após o fogo, o que pode favorecer a ocupação de espaços abertos pelo fogo em relação às invasoras.

Considerando apenas o banco de sementes do solo, o manejo com fogo isoladamente parece ser ineficiente para conter as espécies invasoras ou favorecer as espécies nativas, isto porque haverá redução do banco de sementes de todas as espécies e não há registro, para o Cerrado, de estímulo a germinação após pulsos de calor para gramíneas nativas. Entretanto, o manejo com fogo associado à reposição antrópica do

banco de sementes pode ser eficiente em planos de recuperações de áreas degradadas (PRAD) do estrato herbáceo do Cerrado. Duas espécies de gramíneas nativas podem apresentar bons resultados em PRADs com semeadura, são elas: *P. trachycoleon* e *S. sanguineum*, pois possuem alta produção de sementes viáveis (Aires *et al.* 2014); germinações acima de 60% e suas sementes são tolerantes a pulsos de calor de 130°C. Podendo competir com as espécies invasoras.

5. Conclusões

A exposição das sementes de gramíneas nativas e invasoras do Cerrado a fluxos de ar quente (de 50 a 150°C por 2 ou 5 min) não estimulou a germinação ne nenhuma espécie, provavelmente porque as sementes estudadas não possuem dormência física. As sementes de todas as espécies apresentaram relação negativa entre o calor e a germinação, entretanto as espécies apresentaram reduções desiguais na germinação após as exposições às mesmas temperaturas. Com relação à pergunta proposta neste estudo, embora *M. minutiflora* tenha sido classificada como tolerante a pulsos de calor de 150°C, não se pode afirmar que todas as espécies invasoras são mais tolerantes as altas temperaturas do que as nativas. Isto porque, *U. decumbens* apresentou redução na germinação após a exposição a pulsos de 90°C e *A. gayanus* redução a 130°C. Por outro lado, espécies nativas podem ser mais tolerantes, ou apresentar tolerância similar às invasoras, e germinar após pulsos de 130°C, como o caso de *P. trachycoleon* e *S. sanguineum*.

O estudo mostrou que a exposição das sementes a pulsos a temperaturas, similares àquelas experimentadas pelas sementes do banco do solo durante queimadas de Cerrado, vão reduzir a germinação do banco de sementes para todas as espécies estudadas, sejam nativas ou invasoras. Porém, estudos visando o manejo do fogo para combater espécies invasoras devem considerar não só a tolerância das sementes às altas temperaturas, mas também conhecer as características do banco de sementes de cada espécie, a produção de sementes, a fenologia, a mortalidade de indivíduos adultos após o fogo e a capacidade de reprodução vegetativa de cada espécie, já que essas características são importantes para a permanência da espécie onde o fogo é recorrente. A semeadura com *Paspalum trachycoleon* e *S. sanguineum* pode auxiliar na recuperação de áreas degradadas, pois estas espécies apresentam alta produção de sementes, alta porcentagem de germinação e suas sementes possuem tolerância à exposição a 130°C. Assim, embora estas espécies não formem banco permanente,

mesmo que a área manejada seja queimada no futuro, as sementes protegidas no banco do solo terão maior possibilidade de germinar com o início da estação chuvosa, do que as das outras gramíneas nativas estudadas no presente trabalho.

6. Referências bibliográficas

- Aires, S.S., Sato, M.N. & Miranda, H.S. (2014). Seed characterization and direct sowing of native grass species as a management tool. *Grass and Forage Science*, 69: 470-478.
- Auld, T.D. & Bradstock, R.A. (1996). Soil temperatures after the passage of a fire: do they influence the germination of buried seeds? *Australian Journal of Ecology*, 21: 106-109.
- Almeida, S.P. (1995). Grupos fenológicos da comunidade de gramíneas perenes de um campo Cerrado no Distrito Federal Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 30: 1067-1073.
- Andrade, L.A.Z., Neto, W.N. & Miranda, H.S. (2002). Effects of fire on the soil seed bank in a Cerrado *sensu stricto* in central Brazil. In: Viegas, D.X. (ed.) *Forest Fire Research and Wildland Fire Safety*, Millpress, Rotterdam.
- Andrade, L.A.Z. & Miranda, H.S. (2014). The dynamics of the soil seed bank after a fire event in a woody savanna in central Brazil. *Plant Ecology*, 215: 1199-1209.
- Barger, N.N., D'Antonio, C.M., Ghneim, T. & Cuevas, E. (2003). Constraints to colonization and growth of the African grass, *Melinis minutiflora*, in a Venezuelan savanna. *Plant Ecology*, 167: 31-43.
- Baskin, C.C. & Baskin, J.M. (2001). *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. San Diego: Academic Press Elsevier.
- Baskin, J.M. & Baskin, C.C. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, 14: 1-16.
- Bell D.T., Rokich D.P., McChesney, C.J. & Plummer, J.A. (1995). Effects of temperature, light and gibberellic acid on the germination of seeds of 43 species native to Western Australia. *Journal of Vegetation Science*, 6: 797-806.
- Bellingham, P.J. & Sparrow, A.D. (2000). Resprouting as a life history strategy in woody plant communities. *Oikos*, 89: 409-416.
- Bond, W.J., Honig, M. & Maze K.E. (1999). Seed size and seedling emergence: an allometric relationship and some ecological implications. *Oecologia*, 120: 132-136.
- Bond, W.J. & Keeley, J.E. (2005). Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution*, 20: 387-394.
- Bond, W.J. & Van Wilgen, B.W. (1996). *Fire and Plants. Population and Community Ecology*. Chapman & Hall, London.
- Bowden, B.N. (1964). Studies on *Andropogon gayanus* Kunth. III. An outline of its biology. *Journal of Ecology*, 52: 255-271.
- Bouchardet, D.D.A., Ribeiro, I.M., Sousa, N.D.A.D., Aires S.S. & Miranda H.S. (2015). Efeito de altas temperaturas na germinação de sementes de *Plathyenia reticulata* Benth. e *Dalbergia miscolobium* Benth. *Revista Árvore*, 4: 697-705.

- Carmo, M., Nascimento, D., & Mantorani, E.A. (1988). Efecto de la fertilización nitrogenada y la época de cosecha en la producción y la calidad de semillas de *Brachiaria decumbens*. *Pasturas Tropicales*, 10: 19-22.
- Carmona, R. & Martins, C.R. (2010a). Qualidade física, viabilidade e dormência de sementes recém-colhidas de capim-gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv). *Revista Brasileira de Sementes*, 32: 77-82.
- Carmona, R. & Martins, C.R. (2010b). Dormência e armazenabilidade de sementes de capim-gordura. *Revista Brasileira de Sementes*, 32: 71-79.
- Carmona, R., Martins, C.R. & Fávero, A.P. (1998). Fatores que afetam a germinação de sementes de gramíneas nativas do Cerrado. *Revista Brasileira de Sementes*, 31: 167-172.
- Carmona, R., Martins, C.R. & Fávero, A.P. (1999). Características de sementes de gramíneas nativas do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34: 1067-1074.
- Castro-Neves, B.M. & Miranda, H.S. (1996). Efeitos do fogo no regime térmico do solo de um campo sujo de Cerrado. In: Miranda H.S., Saito C.H., Dias, B.F.S. (orgs.) *Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga*. Brasília, Universidade de Brasília.
- Cirne, P. & Miranda, H.S. (2008). Effects of prescribed fires on the survival and release of seeds of *Kielmeyera coriacea* (Spr.) Mart. (*Clusiaceae*) in savannas of Central Brazil. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20: 197-204.
- Clarke, S. & French, K. (2005). Germination response to heat and smoke of 22 Poaceae species from grassy woodlands. *Australian Journal of Botany*, 53: 445-454.
- Clayton, W.D., Vorontsova, M.S., Harman, K.T. & Williamson, H. (2006). GrassBase- The online World grass flora. Kew: The Board of Trustees, Royal Botanic Gardens, Disponível em: <<http://www.kew.org/data/grasses-db.html>>. Acesso em: 30 novembro de 2015.
- Castro, R.D., Vieira, M. & Carvalho, M.D. (1994). Influência de métodos e épocas de colheita sobre a produção e qualidade de sementes de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk. *Revista Brasileira de Sementes*, 16: 6-11.
- Coutinho, L.M. (2006). O conceito de bioma. *Acta Botanica Brasilica*, 20: 13-23.
- Coutinho, L.M. (1976). *Contribuição ao conhecimento do papel ecológico das queimadas na floração de espécies do Cerrado*. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 173.
- Coutinho, L.M., de Vuono, Y.S. & Lousa, J.S. (1982). Aspectos ecológicos do fogo no Cerrado. IV. A época da queimada e a produtividade primária líquida epigéia do estrato herbáceo-subarbustivo, *Revista Brasileira de Botânica*, 5: 37-41.
- D'Antonio, C.M. & Vitousek, P.M. (1992). Biological invasions by exotic grasses, the grass fire cycle, and global change. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 23: 63-87.
- D'Antonio, C.M., Hughes, F.R. & Vitousek, P.M. (2001). Factors influencing dynamics of two invasive C4 grasses in seasonally dry hawaiian woodlands. *Ecology*, 82: 89-104.

- Delgado, J.A., Serrano, J.M., López, F. & Acosta, F.J. (2001). Heat shock, mass-dependent germination, and seed yield as related components of fitness in *Cistus ladanifer*. *Environmental and Experimental Botany*, 46: 11-20.
- Dias, I.F.O., Miranda, A.C. & Miranda, H.S. (1996). Efeitos de queimadas no microclima de solos de campos de Cerrado - DF/Brasil. In: Miranda, H.S., Saito, C.H., Dias, B.F.S. (orgs.). *Impactos de queimadas em áreas de Cerrado e restinga*. Brasília, ECL/UnB.
- Fichino, B.S., Dombroski, J.R., Pivello, V.R. & Fidelis, A. (2016). Does fire trigger seed germination in the neotropical savannas? Experimental tests with six Cerrado species. *Biotropica*, (DOI: 10.1111/btp.12276).
- Fichino, B.S., Fidelis A., Schmidt, I. & Pivello, V. (2012). Efeitos de altas temperaturas na germinação de sementes de capim-dourado (*Syngonanthus nitens* (Bong.) Ruhland, Eriocaulaceae): implicações para o manejo. *Acta Botanica Brasilica*, 26: 508-511.
- Filgueiras, T.S. (1990). Africanas no Brasil: gramíneas introduzidas da África. *Cadernos de Geociências*, 5: 57-63.
- Filgueiras, T.S. (1992). Gramíneas forrageiras nativas no Distrito Federal, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 27: 1103-1111.
- Flores, T.A., Setterfield, S.A. & Douglas, M.M. (2005). Seedling recruitment of the exotic grass *Andropogon gayanus* (Poaceae) in northern Australia. *Australian Journal of Botany*, 53: 243-249.
- Freitas, G.K. & Pivello, V.R. (2005). A ameaça das gramíneas exóticas à biodiversidade. In: Pivello, V.R. & Varanda, E.M. (eds). *O Cerrado Pé-de-Gigante: ecologia e conservação*. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente.
- Frost, P.G.H. & Robertson, F. (1987). The ecological effects of fire in savannas. In *Determinants of tropical savannas*. Walker, B.H. (ed.). IRL Press, Oxford.
- Gashaw, M. & Michelsen, A. (2002). Influence of heat shock on seed germination of plants from regularly burnt savanna woodlands and grasslands in Ethiopia. *Plant Ecology*, 159: 83-93.
- González-Rabanal, F. & Casal, M. (1995). Effect of high temperatures and ash on germination of ten species from gorse shrubland. *Vegetatio*, 116: 123-131.
- Gorgone-Barbosa, E., Pivello, V.R., Baeza, M.J. & Fidelis, A. (2016). Disturbance as a factor in breaking dormancy and enhancing invasiveness of African grasses in a Neotropical Savanna. *Acta Botanica Brasilica*, 30: 131-137.
- Hanley, M., Unna, J. & Darvill, B. (2003). Seed size and germination response: a relationship for fire-following plant species exposed to thermal shock. *Oecologia*, 134: 18-22.
- Ibama. (2015). Ibama prepara atividades de manejo integrado do fogo nas Terras Indígenas. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/publicadas/ibama-prepara-atividades-de-manejo-integrado-do-fogo-nas-terras-indigenas>>. Acesso em: 31 de março de 2016.
- IBGE. (2004). Reserva Ecológica do IBGE – Ambiente e plantas vasculares. *Estudos e Pesquisa Informação Geográfica*, 3: 70.

- Ikeda, F.S, Mitja, D., Vilela, L. & Sousa-Silva, J.C. (2008). Banco de sementes em Cerrado *sensu stricto* sob queimada e sistemas de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43: 667–673.
- Ikeda, F.S, Victoria Filho, R., Vilela, L., Marchi, G., Cavalieri, S. & Silva, A. (2014). Emergência e crescimento inicial de cultivares de *Urochloa* em diferentes profundidades de sementeira. *Planta Daninha*, 31: 71-78.
- Italiano, E.C.C. (2000). Determinação da época de colheita de sementes do *Andropogon gayanus* Kunth para a região Meio-Norte do Brasil. *Pastura Tropicales*, (2): 29-33.
- Johnson, E.E. & Baruch, Z. (2013). Awn length variation and its effect on dispersal unit burial of *Trachypogon spicatus* (Poaceae). *International Journal of Tropical Biology and Conservation*, 62: 321-326.
- Keeley, J.E. (1977). Seed production, seed populations in soil, and seedling production after fire for two congeneric pairs of sprouting and nonsprouting chaparral shrubs. *Ecology*, 58: 820-829.
- Keeley, J.E., Pausas, J.G., Rundel, P.W., Bond, W.J. & Bradstock, R.A. (2011). Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in Plant Science*, 16: 406-411.
- Klink, C.A. (1996). Germination and seedling establishment of two native and one invading african grass species in the Brazilian Cerrado. *Journal of Tropical Ecology*, 12: 139-147.
- Koehler, A. (2010). *Reprodução em Brachiaria spp.: SERK (Somatic Embryogenesis Receptor-Like Kinase) no desenvolvimento da antera, do ovário e na embriogênese*. Dissertação de doutorado, Universidade de São Paulo.
- Labouriau, L.G. (1983). *A germinação das sementes*. Série de Biologia, Monografia N°. 24. Programa Regional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Secretaria-Geral da Organização dos Estados Americanos, Washington.
- Laura, V.A, Rodrigues A.A.D.C, Arias E.R.A, Chermouth K.S & Rossi T. (2009). Qualidade física e fisiológica de sementes de braquiárias comercializadas em Campo Grande-MS. *Ciência e Agrotecnologia*, 33: 326-332.
- Le Stradic, S., Silveira, F.A.O., Buisson, E., Kévin, C., Carvalho, V. & Fernandes, G.W. (2015). Diversity of germination strategies and seed dormancy in herbaceous species of campo rupestre grasslands. *Austral Ecology*, 40: 537-546.
- Loch, D.S. (1977). *Brachiaria decumbens* (Signal grass) - A review with particular reference to Australia. *Tropical grasslands*, 11: 141-157.
- Luke, R.H. & McArthur, A.G. (1978). *Bushfires in Australia*. Australian Government Publishing Service, Canberra.
- Marinho, M.S. & Miranda, H.S. (2013). Efeito do fogo anual na mortalidade e no banco de sementes de *Andropogon gayanus* Kunth. No Parque Nacional de Brasília/DF. *Biodiversidade Brasileira*, 3: 149-158.
- Martins, C.R. (2006). *Caracterização e manejo da gramínea Melinis minutiflora P. Beauv. (capim gordura): uma espécie invasora do Cerrado*. Brasília, Universidade de Brasília, Tese.
- Martins, C.R., Hay, J.D.V., Valls, J.F.M., Leite, L.L. & Henriques, R.P.B. (2007). Levantamento das gramíneas exóticas do Parque Nacional de Brasília, Distrito Federal, Brasil. *Natureza & Conservação*, 5: 23-30.

- Martins, C.R., Hay, J.D.V. & Carmona, R. (2009). Potencial invasor de duas cultivares de *Melinis minutiflora* no Cerrado brasileiro – Características de sementes e estabelecimento de plântulas. *Revista Árvore*, 33: 713-722.
- Martins, C.R., Hay, J.D.V., Walter, B.M.T., Proença, C.E.B. & Vivaldi, L.J. (2011). Impacto da invasão e do manejo do capim-gordura (*Melinis minutiflora*) sobre a riqueza e biomassa da flora nativa do Cerrado sentido restrito. *Revista Brasileira de Botânica*, 34: 73-90.
- Martins, C.R. & Leite, L.L. (1997). Fenologia reprodutiva de gramíneas colonizadoras de áreas degradadas no Parque Nacional de Brasília-DF, Brasil. In: *III Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas*, 3, Anais,. Ouro Preto: Universidade Federal de Viçosa.
- Martins, S.V., Almeida, D.D., Fernandes, L.V. & Ribeiro, T.M. (2008). Banco de sementes como indicador de restauração de uma área degradada por mineração de caulim em Brás Pires, MG. *Revista Árvore*, 32: 1081-1088.
- Meireles, M.L. & Henriques, R.P.B. (1992). Produção primária líquida em área queimada e não queimada de campo sujo de Cerrado (Planaltina-DF: *Acta Botanica Brasilica*, 6: 3-14.
- Meguro, M. (1969). Fatores que regulam a floração de *Imperata brasiliense* Trin. (*Gramineae*). *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (Botânica)*: 24: 103-126.
- Miranda, A.C., Miranda, H.S., Dias, I.F.O. & Dias, B.F.S. (1993). Soil and air temperatures during prescribed Cerrado fires in Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 9: 313–320.
- Miranda, H.S., Neto, W.N. & Castro-Neves, B.M. (2010). Caracterização das queimadas de Cerrado. In: Miranda, H.S. (org.). *Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Projeto Fogo*. Brasília-IBAMA.
- Miranda, H.S., Sato, M.N., Neto, W.N. & Aires, F.S. (2009). Fires in the Cerrado, the Brazilian savanna. In: Crochane, M.A. (ed.) *Tropical Fire Ecology: climate change, land use and ecosystem dynamics*. Heidelberg: Springer-Praxis.
- Miranda, M.I & Klink, C.A. (1996). Influência do fogo na alocação de biomassa de *Echinolaena inflexa* em duas áreas de campo sujo de Cerrado, 37-45. In: Miranda, H.S., Dias, B.F.S. & Saito, C.H. (orgs.). *Impacto de Queimadas em Área de Cerrado e Restinga*. Brasília, ECL/Universidade de Brasília.
- Morrison, D.A. & Morris, E.C. (2000). Pseudoreplication in experimental designs for the manipulation of seed germination treatments. *Austral Ecology*, 25: 292-296.
- Munhoz, C.B.R. & Felfili, J.M. (2005) Fenologia do estrato herbáceo-subarbustivo de uma comunidade de campo sujo na Fazenda Água Limpa no Distrito Federal, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 19: 979-988.
- Musso, C., Miranda, H.S., Aires, S.S., Bastos, A.C., Soares, A.M.V.M. & Loureiro, S. (2015). Simulated post-fire temperature affects germination of native and invasive grasses in Cerrado (Brazilian savanna). *Plant Ecology & Diversity*, 8: 219–227.
- Neto, W.N., Andrade, S.M.A. & Miranda, H.S. (1998). The dynamics of the herbaceous layer following prescribed burning: a four years study in the Brazilian savanna. In

- Proceedings of 3rd International Conference on Forest Fires Research*. Viegas, D.X. (ed.) Coimbra, Portugal.
- Overbeck, G.E., Müller, S.C., Pillar, V.D. & Pfadenhauer, J. (2006). No heat-stimulated germination found in herbaceous species from burned subtropical grassland. *Plant Ecology*, 184: 237-243.
- Pancera, E.J.J. (2011). Produção de sementes do capim-braquiária submetido à irrigação e doses de nitrogênio. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Curso de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- Pausas, J.G., Bradstock, R.A., Keith, D.A. & Keeley J.E. (2004) Plant functional traits in relation to fire in crown-fire ecosystems. *Ecology*, 85: 1085–1100.
- Pivello, V.R., Shida, C.N. & Meirelles, S.T. (1999). Alien grasses in Brazilian savannas: a threat to the biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 8: 1281-1294.
- Ranal, M.A. & Santana, D.G. (2006). How and why to measure the germination process? *Revista Brasileira de Botânica*, 29: 1–11.
- Ribeiro, L.C, Pedrosa, M. & Borghetti, F. (2013). Heat shock effects on seed germination of five Brazilian savanna species. *Plant Biology*, 15: 152–157.
- Rossiter N.A., Setterfield S.A., Douglas M.M. & Hutley, L. B. (2003). Testing the grass-fire cycle: alien grass invasion in the tropical savannas of northern Australia. *Diversity and Distributions*, 9: 169-176.
- Salazar, A. & Goldstein, G. (2014). Effects of fire on seedling diversity and plant reproduction (sexual vs. vegetative) in Neotropical savannas differing in tree density. *Biotropica*, 46: 139-147.
- Salazar, A., Goldstein, G., Franco, A.C. & Miralles-Wilhelm, F. (2011). Timing of seed dispersal and dormancy, rather than persistent soil seed-banks, control seedling recruitment of woody plants in Neotropical savannas. *Seed Science Research*, 21: 103-116.
- Sampaio, A.B., & Schmidt, I.B. (2014). Espécies exóticas invasoras em unidades de conservação federais do Brasil. *Biodiversidade Brasileira*, 2: 32-49.
- Schmidt, I.B., Sampaio, A.B. & Borghetti, F. (2005). Efeitos da época de queima sobre a reprodução sexuada e estrutura populacional de *Heteropterys pteropetala* (Adr. Juss.: *Malpighiaceae*, em áreas de Cerrado *sensu stricto* submetidas a queimas bienais. *Acta Botanica Brasilica*, 4: 929-936.
- Scott, K., Setterfield, S., Douglas, M. & Andersen, A. (2010). Soil seed banks confer resilience to savanna grass-layer plants during seasonal disturbance. *Acta Oecologica*, 36: 202-210.
- Silva, J.F., Raventós, J. & Caswell, H. (1990). Fire and fire exclusion effects on the growth and survival of two savanna grasses. *Acta Oecologica*, (11: 783-800.
- Simpson, R.L., Alessio, L.M. & Parker, V.T., 1989. Seed banks: general concepts and methodological issues. In: Alessio, L.M., Parker, V.T., Simpson, R.L. (eds.: *Ecology of Soil Seed Banks*. Academic Press, New York, NY.
- Thomas, P.B., Morris, E.C. & Auld, T.D. (2007). Response surfaces for the combined effects of heat shock and smoke on germination of 16 species forming soil seed banks in south-east Australia. *Austral Ecology*, 32: 605-616.

- Vieira, M.A., Nagano, N.R., Bianchi, F.D. & Silva, R. P. (2013). Efeito do armazenamento na superação da dormência de sementes de forrageiras. *Colloquium Agrariae*, n. Especial: 50-56.
- Watson, L. (1990). The grass family, Poaceae. In *Reproductive versatility in the grasses*, Chapman, G.P. (ed.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Whelan, R.J. (1995). *The ecology of fire*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Williams, D.G. & Baruch Z. (2000). African grass invasion in the Americas: ecosystem consequences and the role of ecophysiology. *Biological Invasions*, 2: 123-140.