

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE

ANA CAROLINA CARDOSO DE OLIVEIRA

PRODUÇÃO DE MUDAS DE DUAS ESPÉCIES DE GRAMÍNEAS NATIVAS
PARA RESTAURAÇÃO DO CERRADO

ARARAS - SP

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE

ANA CAROLINA CARDOSO DE OLIVEIRA

PRODUÇÃO DE MUDAS DE DUAS ESPÉCIES DE GRAMÍNEAS NATIVAS
PARA RESTAURAÇÃO DO CERRADO

Orientador: Prof. Dr. Ricardo A. G. Viani
(Departamento de Biotecnologia e Produção
Vegetal e Animal - Centro de Ciências
Agrárias)

Co-orientador: Prof. Dr. Victor A. Forti
(Departamento de Tecnologia
Agroindustrial e Socioeconomia Rural -
Centro de Ciências Agrárias)

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente
(PPGAA) da Universidade Federal de São
Carlos para a obtenção do título de Mestre
em Agricultura e Ambiente.

ARARAS - SP

2019

Oliveira, Ana Carolina Cardoso de

PRODUÇÃO DE MUDAS DE DUAS ESPÉCIES DE GRAMÍNEAS
NATIVAS PARA RESTAURAÇÃO DO CERRADO / Ana Carolina Cardoso
de Oliveira. -- 2019.
104 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus
Araras, Araras

Orientador: Ricardo Augusto Gorne Viani

Banca examinadora: Ricardo Augusto Gorne Viani, Giselda Durigan,
Priscilla de Paula Loiola

Bibliografia

1. mudas. 2. gramíneas nativas. 3. Cerrado. I. Orientador. II.
Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Maria Helena Sachi do Amaral – CRB/8 7083



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Ana Carolina Cardoso de Oliveira, realizada em 30/04/2019:

Prof. Dr. Ricardo Augusto Gorne Viani
UFSCar

Profa. Dra. Priscilla de Paula Loiola
UFSCar

Profa. Dra. Giselda Durigan
IF

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Giselda Durigan e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ão) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.

Prof. Dr. Ricardo Augusto Gorne Viani

*Dedico aos cientistas, pesquisadores,
restauradores e admiradores do Cerrado.*

Agradecimentos

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho pude contar com o apoio de muitas pessoas, as quais se tornaram especiais e fundamentais para que eu alcançasse meus objetivos nessa trajetória.

Gostaria de agradecer, primeiramente, ao Prof. Dr. Ricardo Viani, pela orientação, ensinamentos, paciência e confiança que tornaram possível a conclusão deste trabalho. Também por ter me aceito como sua orientada, desde 2014, e sempre me incentivar na vida acadêmica. Obrigada por me apresentar à ciência, à restauração ecológica e por ser um grande exemplo de professor e pesquisador!

Ao Prof. Dr. Victor Forti, agradeço por aceitar-me como co-orientada, me ensinando muito sobre a área de sementes. E também por todos os conselhos sempre positivos, pela paciência, pelos “Calma, Ana!”, pelas conversas cheias de ideias para projetos futuros e por toda disposição em me orientar e auxiliar durante todo o mestrado. Sou muito grata por tudo!

Ao programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente da Universidade Federal de São Carlos, do qual me orgulho de ter sido aluna. Agradeço aos professores, à Coordenação, ao Conselho do PPGAA que fiz parte como representante discente, à Secretaria e à turma do ano de 2017. Fazer parte desse programa foi muito enriquecedor para minha vida pessoal e profissional.

À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior: O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Aos funcionários da Estação Ecológica de Itirapina, em especial ao Paulo Ruffino, pela disposição e orientação para a realização das coletas de solo nativo do Cerrado.

Ao IPEF, em especial ao Tiago, por permitir que usássemos a estrutura de beneficiamento de sementes da instituição.

Aos integrantes do Grupo de Estudos em Silvicultura e Floresta por sempre estarem dispostos a ajudar em tantos momentos importantes. Agradeço muito pelo interesse e boa vontade de vocês, serão sempre lembrados!

Aos amigos, em especial: Jean, Elielton, André, Thaís, Priscilla, Isabella, Ana Lúcia e àqueles das repúblicas MST e Abatedouro por todo apoio, paciência, compreensão e por proporcionarem momentos especiais durante esses dois anos de mestrado. Vocês moram no meu coração!

À banca examinadora da qualificação: Prof. Dr. Marcio R. Soares, Profa. Dra. Patrícia Marluci e Dra Priscilla Loiola, por todas as contribuições. E também à banca examinadora da defesa: Profa. Dra. Giselda Durigan e Dra. Priscilla Loiola (titulares); Prof. Dr. Marcio R. Soares e Prof. Dr. José Leonardo de Moraes Gonçalves (suplentes), pela disponibilidade.

E, finalmente, aos meus familiares, especialmente à minha mãe Eliana, meu pai Ananias e minha irmã Juliana pelo amor incondicional, por aderirem à causa do Cerrado junto a mim, por todo apoio, incentivo e por sempre estarem presentes apesar da distância de quase 3000 quilômetros que nos separa. Sou muito grata por ter vocês ao meu lado, amo vocês!

Agradeço ainda a todos que estiveram presentes e contribuíram de alguma forma nessa trajetória.

Obrigada.

Resumo

O Cerrado é caracterizado por um gradiente fitofisionômico que contém desde campos até fisionomias florestais, com uma flora rica e alto nível de endemismo. Porém, esse vem sendo convertido e degradado por atividades antrópicas, principalmente pela expansão do agronegócio. Com as demandas legais de regularização ambiental, muitas propriedades rurais devem restaurar suas áreas, o que é um grande desafio, principalmente nas fisionomias campestres e savânicas do Cerrado, nas quais há predominância de gramíneas nativas. O plantio de mudas de ervas nativas pode ser uma técnica empregada na restauração dessas áreas, porém, é necessário primeiro desenvolver técnicas de produção destas plantas em viveiros. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi testar a produção de mudas de gramíneas nativas usando as técnicas usuais de produção de mudas arbóreas. Em um primeiro momento, testamos a produção de *Schizachyrium sanguineum* (Retz.) Alston e *Loudetiopsis chrysothrix* (Nees) Conert. pela técnica de semeadura indireta em sementeiras com solo de Cerrado ou areia, e posterior repicagem para recipientes (30, 55 ou 290 cm³) com solo de Cerrado, substrato florestal ou a mistura de ambos (SC+SF). A técnica de semeadura indireta foi bem sucedida para ambas as espécies, pois houve germinação em condições de sementeira e sobrevivência maior que 70% após a transferência para os recipientes definitivos. Para ambas as espécies, as mudas cresceram mais em altura e tiveram mais perfilhos quando produzidas com substrato contendo solo de Cerrado e nos recipientes maiores. Em experimento subsequente, foi testada a influência de doses crescentes de fertilizante de liberação controlada (FLC) no crescimento de mudas de *S. sanguineum*. O crescimento das mudas aumentou com a adição de FLC e doses entre 4,7 e 6 kg.m⁻³ proporcionaram maiores crescimento e concentração de nutrientes nas mudas. O solo de Cerrado proporciona maior crescimento das mudas que o substrato florestal não adubado, porém, menor que o substrato florestal adubado. Concluimos que é possível produzir mudas das gramíneas *L. chrysothrix* e *S. sanguineum* com técnicas de produção de mudas de espécies arbóreas e que *S. sanguineum* responde positivamente à adição de fertilizante no substrato. Nossos resultados comprovam a possibilidade de produzir mudas de espécies herbáceas nativas a partir de sementes em viveiro, aumentando a diversidade de espécies disponíveis para restauração de ecossistemas campestres e savânicos do Cerrado.

Palavras-chave: *Schizachyrium sanguineum*; *Loudetiopsis chrysothrix*; sementes; viveiro; recipientes; substratos; fertilizantes de liberação controlada.

Abstract

The Brazilian Cerrado is a mosaic of vegetation types, ranging from grasslands to forests. Cerrado has been converted and degraded by anthropogenic activities, increasing the need for ecological restoration in many areas. Restoration by planting seedlings is promising, but the efforts for seedling production are currently focused on tree species, not considering herbaceous species. Since grasses are essential in the herbaceous layer of the Cerrado, we tested whether nursery techniques used for tree seedling production would be suitable to produce seedlings of two native grasses. First, we sowed seeds of *Schizachyrium sanguineum* (Retz.) Alston and *Loudetiopsis chrysothrix* (Nees) Conert. in seedbeds with Cerrado native soil and sand as substrates and later transferred to definitive containers (30, 55 or 290 cm³) with Cerrado soil, commercial substrate or the mixture of both. Both species accepted the sowing technique, as they germinated under nursery conditions and survival after transfer to definitive containers was greater than 70%. For both species, the seedlings grew more in height and had more tillers when cultivated in the Cerrado soil, in the larger container. In a second experiment, we tested the influence of increasing levels of controlled-release fertilizer (CRF) on the growth of *S. sanguineum* seedlings. Seedlings growth increased with the increase in CRF levels, and CRF doses between 4.7 kg.m⁻³ and 6 kg.m⁻³ provided higher growth and nitrogen, phosphorus and potassium shoot concentration. The Cerrado soil provided higher seedling growth than the non-fertilized commercial substrate, however, lower than the commercial substrate fertilized. We conclude that seedlings of the native grasses *L. chrysothrix* and *S. sanguineum* can be produced using tree seedling production techniques currently used in commercial nurseries, and that *S. sanguineum* growth positively responds to higher nutrient availability in the substrate. Our results confirm the possibility of producing seedlings of native herbaceous species from seed in nursery, increasing the availability of non-tree species for Cerrado grasslands and savanna restoration.

Key words: *Schizachyrium sanguineum*; *Loudetiopsis chrysothrix*; nursery; containers; substrates; controlled release fertilizer; native grass seedlings.

SUMÁRIO

Introdução geral	1
Referências bibliográficas.....	11
CAPÍTULO 1. Produção de mudas de gramíneas nativas do Cerrado como alternativa para restauração	19
Resumo	20
Introdução	21
Material e métodos	24
Resultados	30
Discussão	40
Conclusões	47
Referências bibliográficas	48
CAPÍTULO 2. Fertilização no substrato de produção de mudas da gramínea nativa do Cerrado <i>Schizachyrium sanguineum</i> (Retz.)	55
Resumo	56
Introdução	57
Material e métodos	59
Resultados	64
Discussão	70
Conclusões	74
Referências bibliográficas	75
Considerações finais	80
ANEXOS	82

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2. Fertilização no substrato de produção de mudas da gramínea nativa do Cerrado *Schizachyrium sanguineum* (Retz.)

Tabela 1. Médias (\pm erro padrão) de taxa de crescimento relativo em altura (TCR), número de perfilhos e relação de massa de matéria seca da raiz e parte aérea (R:PA) de mudas da gramínea *Schizachyrium sanguineum* cultivada em solo do Cerrado (SC) ou substrato florestal (SF) com diferentes doses de fertilizante de liberação controlada (FLC) NPK 15-09-12. Letras diferentes indicam diferenças pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).... **66**

Tabela 2. Média (\pm erro padrão) de concentração de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na parte aérea de mudas da gramínea *Schizachyrium sanguineum* produzidas com solo nativo (SC) ou substrato florestal (SF) com diferentes doses de fertilizante de liberação controlada (FLC) NPK 15-09-12. Letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). **67**

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. Produção de mudas de gramíneas nativas do Cerrado como alternativa para restauração

Figura 1. Sementeiras com areia (A) e solo de Cerrado (B) para germinação e emergência das gramíneas *Schizachyrium sanguineum* e *Loudetiopsis chrysothrix*. **25**

Figura 2. Processo de transferência de plantas de *Loudetiopsis chrysothrix* das sementeiras para recipientes de 30 cm³ contendo solo de Cerrado e substrato florestal. **26**

Figura 3. Medida de altura e contagem do número perfilhos (indicados por setas) em *Loudetiopsis chrysothrix* (A e B) e *Schizachyrium sanguineum* (C e D). **28**

Figura 4. Médias (\pm erro padrão) do tempo médio de emergência (TME) (A), e dos percentuais de emergência no TME (B) e máximo (C) das gramíneas *Loudetiopsis chrysothrix* e *Schizachyrium sanguineum* nas sementeiras com areia ou solo de Cerrado (SC). Letras minúsculas comparam (teste de Tukey, 5% de significância) espécies e maiúsculas os substratos das sementeiras para cada espécie. **30**

Figura 5. Percentual de emergência ao longo do tempo das gramíneas *Loudetiopsis chrysothrix* (A) e *Schizachyrium sanguineum* (B) em sementeiras com areia ou solo de Cerrado (SC). 31

Figura 6. Sobrevivência (média ± erro padrão) de *Loudetiopsis chrysothrix* após a transferência de sementeiras para os recipientes e substratos finais (30 dias; A e B) e ao final do experimento (210 dias; C e D). A e C: mudas de sementeiras com areia; B e D: mudas de sementeiras com solo de Cerrado. Os substratos dos recipientes finais são solo de Cerrado (SC), substrato florestal (SF) e mistura de ambos (SC+SF). Os volumes dos recipientes finais são 30, 55 e 290 cm³. 32

Figura 7. Sobrevivência (média ± erro padrão) de *Schizachyrium sanguineum* após a transferência de sementeiras para os recipientes e substratos finais (30 dias; A e B) e ao final do experimento (180 dias; C e D). A e C: mudas de sementeiras com areia; B e D: mudas de sementeiras com solo de Cerrado. Os substratos dos recipientes finais são solo de Cerrado (SC), substrato florestal (SF) e mistura de ambos (SC+SF). Os volumes dos recipientes finais são 30, 55 e 290 cm³. 33

Figura 8. Influência do substrato da sementeira, e dos substrato e recipiente finais nas médias (± erro padrão) de taxa de crescimento relativo (TCR; cm.cm⁻¹.mês⁻¹) em altura das mudas de gramíneas. Interação entre substratos e volumes dos recipientes finais (A) e entre substratos das sementeiras e dos recipientes finais (B) para *Loudetiopsis chrysothrix*; e interação entre substratos e volumes dos recipientes finais (C) e entre substratos das sementeiras e volumes dos recipientes finais (D) para *Schizachyrium sanguineum*. Os substratos da sementeira são areia ou solo de Cerrado (SC). Os substratos dos recipientes finais são solo de Cerrado (SC), substrato florestal (SF) e mistura de ambos (SC+SF). Os volumes dos recipientes finais são 30, 55 e 290 cm³. Letras minúsculas comparam dentro dos grupos e as letras maiúsculas entre os grupos (teste de Tukey, 5% de significância)..... 35

Figura 9. Influência do substrato da sementeira, e dos substrato e recipiente finais nas médias (± erro padrão) de número de perfilhos das mudas de gramíneas. Interação entre substratos das sementeiras e dos recipientes finais (A) e entre substratos e volumes dos recipientes finais (B) para *Loudetiopsis chrysothrix*; e interação entre substratos das sementeiras e dos recipientes finais (C) e entre substratos e volumes dos recipientes finais (D) para *Schizachyrium sanguineum*. Os substratos da sementeira são areia ou solo de

Cerrado (SC). Os substratos dos recipientes finais são solo de Cerrado (SC), substrato florestal (SF) e mistura de ambos (SC+SF). Os volumes dos recipientes finais são 30, 55 e 290 cm³. Letras minúsculas comparam dentro dos grupos e as letras maiúsculas entre os grupos (teste de *Tukey*, 5% de significância). 37

Figura 10. Influência do substrato da sementeira, e dos substrato e recipiente finais nas médias (\pm erro padrão) da relação entre raiz:parte aérea das mudas de gramíneas. Interação entre substratos das sementeiras e dos recipientes finais (A) para *Loudetiopsis chrysothrix* e interação entre substratos e volume dos recipientes finais (B) para *Schizachyrium sanguineum*. Os substratos da sementeira são areia ou solo de Cerrado (SC). Os substratos dos recipientes finais são solo de Cerrado (SC), substrato florestal (SF) e mistura de ambos (SC+SF). Os volumes dos recipientes finais são 30, 55 e 290 cm³. Letras minúsculas comparam dentro dos grupos e as letras maiúsculas entre os grupos (teste de *Tukey*, 5% de significância). 39

CAPÍTULO 2. Fertilização no substrato de produção de mudas da gramínea nativa do Cerrado *Schizachyrium sanguineum* (Retz.)

Figura 1. Processo de transferência das plantas de *S. sanguineum* formadas em sementeiras para os recipientes finais de produção das mudas. 60

Figura 2. Coleta de solo da camada de 0-20 cm de Campo Cerrado na Estação Ecológica de Itirapina-SP. 61

Figura 3. Taxa de crescimento relativo em altura (TCR, A), número de perfilhos e relação raiz:parte aérea de mudas da gramínea *Schizachyrium sanguineum* cultivadas em doses crescentes de fertilizante de liberação controlada (FLC) NPK 15-09-12. O modelo de regressão quadrática foi significativo para todos os parâmetros ($\alpha = 0,05$; Anexo 8). .. 65

Figura 4. Mudas de *Schizachyrium sanguineum* produzidas em diferentes substratos, três meses após a transferência para os tubetes. SC = solo nativo; SF = substrato florestal; T1 = SF - 1 kg.m⁻³ de FLC; T3 = SF - 3 kg.m⁻³ de FLC; T5 = SF - 5 kg.m⁻³ de FLC; T7 = SF - 7 kg.m⁻³ de FLC. 65

Figura 5. Concentração de nitrogênio (A), fósforo (B) e potássio (C) da parte aérea de mudas da gramínea *Schizachyrium sanguineum* em relação às doses crescentes de

fertilizante de liberação controlada (FLC), NPK 15-09-12. Em A, o modelo de regressão linear foi significativo, em B e C o modelo quadrático foi significativo ($\alpha = 0,05$; Anexo 8). 66

Figura 6. Altura das mudas de *S. sanguineum* em relação ao tempo de avaliação em viveiro, quando cultivada em solo de Cerrado (A) ou substrato florestal com 0, 1, 3, 5 ou 7 kg (respectivamente, B, C, D, E, F) de fertilizante de liberação controlada NPK 15-09-12 por m³ de substrato. O modelo de regressão quadrática foi significativo para todas as relações ($\alpha = 0,05$; Anexo 9). 68

Figura 7. Número de perfilhos das mudas de *S. sanguineum* em relação ao tempo de avaliação em viveiro, quando cultivada em solo de Cerrado (A) ou substrato florestal com 0, 1, 3, 5 ou 7 kg (respectivamente, B, C, D, E, F) de fertilizante de liberação controlada NPK 15-09-12 por m³ de substrato. Em B o modelo de regressão não foi significativo, em C o modelo de regressão linear foi significativo e em A, D, E e F o modelo de regressão quadrática foi significativo ($\alpha = 0,05$; Anexo 10). 69

ANEXOS

Anexo 1. Temperatura e umidade relativa registradas ao longo do experimento no viveiro em que as mudas de gramíneas nativas do Cerrado foram produzidas, em Araras-SP. 86

Anexo 2. Caracterização química dos substratos utilizados na produção de mudas de gramíneas. SC = solo de Cerrado; SF = substrato florestal; SC+SF = mistura de ambos (1:1 v/v). 86

Anexo 3. Número de mudas de *Loudetiopsis chrysothrix* e *Schizachyrium sanguineum* em diferentes sementeira, recipientes e substratos (SC = solo do cerrado; SF = substrato florestal) submetidas à análise de massa de matéria seca. 86

Anexo 4. Interação entre as espécies (*Loudetiopsis chrysothrix* e *Schizachyrium sanguineum*) e substratos das sementeiras (areia ou solo nativo) para as variáveis tempo médio de emergência (TME) e percentuais de emergência máximo ($E_{MÁX}$) e no TME (E_{TME}), de acordo com o valor de p da análise de variância (ANOVA) à 5% de significância. 86

Anexo 5. Interação entre os substratos das sementeiras, recipientes e substratos definitivos para a taxa de crescimento relativo (TCR) em altura, o número de perfilhos e a relação raiz e parte aérea (R:PA), de acordo com o valor p da análise de variância (ANOVA) à 5% de significância.	86
Anexo 6. Caracterização química dos substratos utilizados para a produção de mudas de <i>Schizachyrium sanguineum</i> . SC = solo do Cerrado; SF = substrato florestal.	86
Anexo 7. Média mensal de temperatura (°C) e umidade relativa (%) no viveiro durante o período de produção das mudas de <i>Schizachyrium sanguineum</i> (julho de 2017 a fevereiro de 2018).	86
Anexo 8. Resumo das análises de regressão polinomial para a taxa de crescimento relativo (TCR) em altura, número de perfilhos, relação entre raiz e parte aérea, e concentração de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na parte aérea das mudas de <i>Schizachyrium sanguineum</i> em relação às doses de fertilizante de liberação controlada (FLC) NPK 15-09-12 por m ³ de substrato.....	86
Anexo 9. Resumo das análises de regressão polinomial para altura das mudas em relação ao tempo de produção em viveiro para os tratamentos com solo de Cerrado (SC) e com substrato florestal (SF) sem ou com adição de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC) NPK 15-09-12 por m ³ de substrato..	86
Anexo 10. Resumo das análises de regressão polinomial para o número de perfilhos das mudas em relação ao tempo de produção em viveiro para os tratamentos com solo de Cerrado (SC) e com substrato florestal (SF) sem ou com adição de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC) NPK 15-09-12 por m ³ de substrato.	86

Introdução geral

Cerrado: importância e ameaças à sua conservação

O Cerrado é o segundo maior domínio fitogeográfico do Brasil, ocupando 22% da superfície do país, superado apenas pela Floresta Amazônica (OLIVEIRA-FILHO e RATTER, 2006; RIBEIRO e WALTER, 2008). Esse domínio fitogeográfico é composto por fitofisionomias campestres, savânicas ou florestais. As florestais apresentam cobertura do solo predominante por árvores, enquanto as campestres e as savânicas têm um estrato rasteiro composto por ervas e arbustos, podendo ou não conter árvores esparsas, respectivamente (EITEN, 1972; COUTINHO, 1978; RIBEIRO e WALTER, 2008). Essas fisionomias são resultado de fatores específicos deste domínio e suas interações, tais como o clima, marcado por invernos secos e verões chuvosos, a variação química e física do solo, a disponibilidade de água e nutrientes, a frequência de fogo e também pela profundidade do lençol freático (RIBEIRO e WALTER, 2008).

A consequência da variada composição fisionômica do Cerrado é uma flora rica e com alto nível de endemismo, que a torna uma área prioritária para a conservação da biodiversidade em escala mundial (MYERS et al., 2000; KLINK e MACHADO, 2005; JOPPA et al., 2011). A vegetação do Cerrado é composta em 85% por ervas e arbustos, e apenas 15% correspondem a árvores (CASTRO et al., 1999; FERNANDES et al., 2016). Além de sua rica biodiversidade, o Cerrado é importante para a provisão de diversos serviços ecossistêmicos, estando estreitamente relacionado com a recarga de aquíferos (OLIVEIRA et al., 2017) e com as nascentes das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul fora da Amazônia (STRASSBURG et al., 2017).

Apesar de sua importância para a conservação da biodiversidade e para a manutenção de serviços ecossistêmicos, o Cerrado vem perdendo sua vegetação nativa devido às intensas alterações antrópicas, em um cenário de expansão de atividades

agropecuárias e de infraestrutura. Além disso, a proteção legal para o Cerrado é insuficiente e incentivos à conservação limitados para este domínio fitogeográfico, quando comparados com o que existe para domínios florestais (SANO et al., 2007; SOARES-FILHO et al., 2014; STRASSBURG et al., 2017). Com isso, o Cerrado teve mais de metade da sua área convertida em sistemas produtivos, principalmente agricultura, pecuária e silvicultura (KLINK e MACHADO, 2005; LIU e DIAMOND, 2005; COELHO et al., 2013; GIBBS et al., 2015). A rápida conversão da vegetação nativa do Cerrado para sistemas produtivos ocasionou diversos problemas ambientais, tais como fragmentação de áreas, perdas de biodiversidade, introdução de espécies exóticas, erosão do solo, mudanças no regime histórico de fogo, poluição de cursos d'água e aquíferos, e alterações no ciclo hidrológico (KLINK e MACHADO, 2005; VELDMAN et al., 2017; HONDA e DURIGAN, 2016; DURIGAN et al., 2007)

Embora exista menor incentivo à conservação do Cerrado em relação aos demais biomas do Brasil, a Lei de proteção à vegetação nativa vigente (BRASIL, 2012) estabelece a recomposição da vegetação nativa pré-existente em parte da área de todas as propriedades rurais do Brasil, gerando uma necessidade de restaurar cerca de 3,7 Mha do Cerrado (SOARES-FILHO et al., 2014). Tendo em vista a relevância do Cerrado para a vida humana e selvagem, é importante que a restauração de seus ecossistemas seja feita de forma eficiente e buscando retornar à vegetação que antes existia. Somente assim será possível recuperar e contribuir para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos providos pelo Cerrado.

Restauração ecológica no Brasil e no Cerrado

A restauração ecológica é definida como o processo e a prática de auxiliar a recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído (SER, 2004).

No Brasil, como reflexo cultural e de políticas públicas que valorizam muito mais a conservação de florestas em detrimento de outras formações, a maioria dos esforços de restauração também são voltados a esse tipo de vegetação (OVERBECK et al., 2013; VELDMAN et al., 2017). Para fisionomias florestais do Cerrado, como o “cerradão”, técnicas como o plantio de mudas de árvores, podem ser aplicadas sem que ocorram prejuízos à estrutura da vegetação, contribuindo para a recuperação do ecossistema. O plantio de mudas para restauração florestal é feito com o intuito de retornar algumas espécies nativas daquele ecossistema e excluir fatores de degradação atuantes, de forma a dar condições para que a área se recupere, se tornando semelhante ao ecossistema ali pré-existente (McDONALD et al., 2016).

As gramíneas exóticas invasoras são um dos mais problemáticos fatores de degradação que devem ser excluídos de áreas em restauração. Em florestas, o dossel formado pela cobertura de copa das árvores contribui para a eliminação de gramíneas invasoras, uma vez que, geralmente, essas espécies são intolerantes à sombra (GUENNI et al., 2008). Com isso, essa relação é utilizada como técnica de restauração florestal: plantam-se árvores nativas de rápido crescimento e com potencial de formação de dossel, de forma a rapidamente sombrear a área e eliminar as gramíneas exóticas (ALMEIDA e VIANI, 2019). Essa técnica contribui para o alcance dos objetivos da restauração ecológica em florestas, porém em fisionomias savânicas e campestres do Cerrado, em que não há predominância do componente arbóreo, seu uso prejudica a dinâmica de funcionamento e exclui parte da biodiversidade desses ecossistemas.

A conversão de fisionomias abertas do Cerrado em floresta, por um lado, reduz ou elimina a presença das gramíneas exóticas pelo sombreamento, mas também elimina gramíneas nativas, que representam cerca de 25% da riqueza (FILGUEIRAS et al., 1998) e 84% da biomassa acima do solo do estrato herbáceo do Cerrado (LILIENFEIN et al.,

2001). Ao suprimir um dos componentes mais importantes da vegetação de savanas e campos, ocorrem perdas de espécies e a descaracterização da estrutura dessas fisionomias, transformando-as em ecossistemas que se aproximam a florestas (BOND e PARR, 2010; OVERBECK et al., 2013; VELDMAN et al., 2015b). Portanto, trata-se de um florestamento e não de restauração ecológica e isto leva a perdas da flora e fauna nativas, alterações da ciclagem de nutrientes, redução do estoque de carbono no solo, alterações no ciclo hidrológico pela diminuição da recarga de aquíferos e cursos d'água e mudanças no regime de fogo natural (VELDMAN et al., 2015a). Portanto, fica evidente a necessidade de se adequar técnicas já existentes e/ou desenvolver novas estratégias de restauração para ecossistemas savânicos e campestres do Cerrado (OVERBECK et al., 2015), priorizando a manutenção do solo coberto por vegetação herbácea nativa nesses ecossistemas.

As técnicas até então estudadas para a restauração do componente herbáceo de campos e savanas do Cerrado são a condução da regeneração natural, a semeadura direta, a transposição de *topsoil*, a transferência de plantas adultas e de palhada com diásporos (LE STRADIC et al. 2014; FERREIRA et al. 2015; LE STRADIC et al. 2016; PELLIZZARO et al. 2017; GOMES et al. 2018; PILON et al. 2018a e b). Com exceção da condução da regeneração natural, as técnicas estudadas esbarram em problemas como a dependência de remanescentes bem conservados para aquisição dos propágulos da vegetação nativa, e isso gera riscos de impactos negativos para a conservação dessas áreas fonte (LE STRADIC et al. 2018; PILON et al. 2018b). Para a técnica de semeadura direta, outro problema encontrado é relacionado às baixas taxas de germinação ou desconhecimento das mesmas apresentadas pelas espécies herbáceas nativas (CARMONA et al. 1999; SAMPAIO et al. 2015; KOLB et al. 2016), o que pode levar a uma baixa ocupação do solo por estas espécies e uma incapacidade de competir pelo

estabelecimento com gramíneas exóticas (PELLIZZARO et al., 2017; PILON et al., 2018b). Assim, é evidente a necessidade de se buscar em técnicas que auxiliem na superação dessas barreiras atuais à restauração do estrato herbáceo do Cerrado (BUISSON et al., 2019).

A produção de mudas de espécies herbáceas de savanas e campos do Cerrado pode ser uma alternativa para complementar as técnicas já estudadas. Isso permitiria a aplicação da técnica de plantio de mudas, largamente utilizada neste domínio para árvores (BERTONI, 1992; DURIGAN, 2003; MELO et al., 2004a; MELO et al., 2004b; DURIGAN, 2005; FELFILI et al., 2005; SILVA e CÔRREA, 2008; DURIGAN, 2011; VENTUROLI et al., 2013), para restaurar adequadamente o Cerrado aberto. Porém, o conhecimento existente de produção de mudas está basicamente voltado para espécies arbóreas e, em menor proporção, para arbustivas (VIDAL et al., 2019).

Técnicas utilizadas para produção de mudas para a restauração

Em sua maior parte, as espécies produzidas em viveiros comerciais são multiplicadas a partir de sementes (SCREMIN-DIAS et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2016) e a obtenção das mudas depende diretamente do processo de germinação das sementes e estabelecimento das plantas após a semeadura. Isso pode variar de acordo com as espécies, que podem apresentar dormência de sementes e variar quanto à percentuais e velocidade de emergência. Existem duas formas de realizar a semeadura em viveiros: direta ou indiretamente.

A semeadura direta é realizada a partir da colocação da semente diretamente nos recipientes de produção definitivos, tal como tubetes plásticos. Essa técnica é recomendada para sementes que apresentam germinação elevada e homogênea. Por outro lado, para sementes que possuem baixas taxas de germinação e/ou germinação

heterogênea e com parâmetros técnicos pouco conhecidos, recomenda-se a semeadura indireta, a qual consiste na germinação prévia das sementes em sementeiras com posterior transferência (repicagem) das plantas para os recipientes definitivos. As sementeiras devem conter substrato que permita a germinação das sementes, sendo a areia lavada o mais comum em viveiros de produção de mudas florestais (SCREMIN-DIAS et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2016).

Após a etapa de semeadura, as mudas irão se desenvolver no viveiro por um período até que atinjam parâmetros pré-definidos de qualidade. Uma muda de qualidade é definida principalmente por atributos morfológicos como altura, diâmetro do caule e balanço entre raiz e parte aérea, os quais influenciam diretamente na sobrevivência das mudas após plantio (GROSSNICKLE & MACDONALD, 2018). Esses atributos são facilmente mensuráveis em condições de viveiro e estão diretamente relacionados aos substratos de produção e ao volume dos recipientes (RITCHIE et al. 2010; GROSSNICKLE e MACDONALD, 2018).

As características e dimensões dos recipientes, além de controlarem o crescimento das raízes, afetam a quantidade de água e nutrientes disponíveis para o desenvolvimento das plantas, refletindo também no crescimento da parte aérea das mudas (LUNA et al., 2009; RITCHIE et al. 2010). Para produção de mudas de árvores em viveiros comerciais é comum o uso de tubetes de polietileno, os quais proporcionam o desenvolvimento de um sistema radicular de qualidade, permitem maior grau de mecanização e melhor ergonomia durante o processo de produção, podem ser reutilizados, permitem produção de maior quantidade de mudas por área do viveiro e reduzem custos de transporte (DAVIDE e FARIA, 2008; GOMES e PAIVA, 2008; GONÇALVES et al., 2005; WENDLING et al., 2001).

O substrato utilizado influencia diretamente no crescimento das mudas, uma vez que suas características químicas definem a disponibilidade de nutrientes, e as físicas estão relacionadas principalmente à retenção da água. Algumas características foram elencadas como essenciais para que um substrato seja considerado bom para produção de mudas florestais em viveiros, destacando-se: baixa densidade; alta capacidade de absorção e retenção de água; porosidade adequada para evitar o acúmulo de água em excesso; boa disponibilidade de nutrientes; leve para fácil manuseio em viveiro e elevada disponibilidade no mercado, permitindo fácil acesso (SCREMIN-DIAS et al., 2006; SCHUMACHER e VIEIRA, 2016). Muitas vezes, o substrato, apesar de conter nutrientes, não fornece a quantidade suficiente para o bom desenvolvimento das plantas, sendo necessária a adição de fertilizantes de forma a adequá-lo às demandas das mudas (OLIET et al., 1999; LANDIS, 1990; ROSSA et al., 2011; GONÇALVES et al., 2012). Entre os fertilizantes, existem os de liberação controlada, que vem sendo bastante utilizados em viveiros de mudas florestais nativas.

Os fertilizantes de liberação controlada são capazes de disponibilizar e manter níveis constantes de macro e micronutrientes, em diferentes formulações, durante um período que pode variar de três a 18 meses, e isso depende da espessura da resina de cobertura do fertilizante (VALERI e CORRADINI, 2005; LANDIS e DUMROESE, 2009; JOSÉ et al., 2009). Essas características são favoráveis para a produção de mudas, uma vez que há a disponibilização de nutrientes durante todo o processo produtivo, suprindo as demandas das plantas e evitando lixiviação de nutrientes no caso de irrigação excessiva do substrato (OLIET et al. 1999; JOSÉ et al., 2009). Porém, o uso deste tipo de fertilizante gera custos mais altos para os viveiros, sendo necessárias adequações de doses e formulações para cada espécie a ser produzida, diminuindo perdas e maximizando investimentos na produção de mudas (OLIET et al., 2004; CLARK e ZHENG, 2015).

Esses fatores, juntos, influenciam no crescimento e desenvolvimento das mudas em viveiro e, conseqüentemente, no seu desempenho após o plantio em campo. Para isso, foram estabelecidos parâmetros morfológicos e fisiológicos que podem ser acompanhados durante o processo de produção em viveiros, permitindo a obtenção de mudas com altos potenciais de crescimento em campo, definindo o sucesso da restauração florestal (RITCHIE et al., 2010; GROSSNICKLE e MACDONALD, 2018).

Produção de mudas nativas do Cerrado para restauração

Para o Cerrado, existem estudos e manuais que estabelecem técnicas para a produção de mudas de árvores e arbustos nativos em viveiro (COSTA et al., 2012; SILVA et al. 2009; SOBRINHO et al., 2010; BARDIVIESSO et al., 2011; SILVA et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2016; RODRIGUES et al., 2016; PINHO et al., 2018), semelhantes àqueles utilizados para florestas. Apesar dos avanços na produção de mudas para espécies nativas do Cerrado, ainda existem grandes lacunas de conhecimento sobre a propagação de espécies herbáceas nativas em condições de viveiro, com intuito de produzir mudas para restauração de fisionomias abertas. Dessa forma, as técnicas empregadas na cadeia de produção de mudas de árvores nativas (SCREMIN-DIAS et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2016) podem ser adaptadas para proporcionar o desenvolvimento de herbáceas em viveiro, baseando-se em fatores que definem o funcionamento das fisionomias abertas do Cerrado.

Sabe-se ao menos que as espécies vegetais do Cerrado são adaptadas a solos pobres em nutrientes, com altas concentrações de alumínio e acidez (HARIDASAN, 2000; VIANI et al., 2014). Esses fatores são essenciais para a composição de espécies das fisionomias do Cerrado, que ocorrem apenas em solos ácidos, outras são restritas aos solos calcários e outras indiferentes quanto à fertilidade do solo (RATTER et al., 1977,

1978). Ao produzir mudas dessas espécies, deve-se considerar essas características ao selecionar o substrato, de forma a fornecer as melhores condições para o desenvolvimento das plantas. Gramíneas nativas, principal componente do estrato herbáceo do Cerrado, respondem ao aumento de fertilidade do solo, aumentando sua biomassa (SILVA e HARIDASAN, 2007; ELLER e OLIVEIRA, 2016; FERREIRA, 2017). Isso pode ser um indicativo de que gramíneas nativas possam receber adubação para um maior crescimento durante a produção de mudas.

Neste estudo, foram testadas as técnicas usuais de produção de mudas de espécies arbóreas para produzir mudas de duas espécies de gramíneas nativas de fisionomias abertas do Cerrado. Foram selecionadas as espécies *Schizachyrium sanguineum* (Retz.) Alston (capim-roxo) e *Loudetiopsis chrysothrix* (Nees) Conert, (capim-brinco-de-princesa), por ambas ocorrerem em formações campestres e savânicas do Cerrado do estado de São Paulo (DURIGAN et al., 2004; TANNUS e ASSIS, 2004) e por serem perenes (CLAYTON et al., 2006), o que é desejável para restauração ecológica, uma vez que promoverão a cobertura permanente do solo. O plantio de mudas de *S. sanguineum* já foi relatado como eficiente na restauração ecológica de áreas de Cerrado degradadas por mineração, controlando a população da gramínea exótica *Melinis minutiflora* quando plantadas após o manejo químico e retirada da biomassa seca da espécie invasora (SILVA et al., 2013). No entanto, os autores não descreveram as técnicas utilizadas para a produção das mudas utilizadas no estudo.

A produção de mudas de gramíneas nativas do Cerrado é um nicho de conhecimento técnico-científico a ser explorado, que envolve técnicas de semeadura, seleção de recipientes e substrato, níveis de adubação ideais e outros fatores que possam influenciar seu crescimento em viveiro e, conseqüentemente, seu estabelecimento em campo. Assim, essa dissertação foi dividida em dois capítulos, buscando primeiro,

responder às seguintes perguntas sobre a produção de mudas de *S. sanguineum* e *L. chrysothrix*:

1. Os parâmetros de emergência são melhores em sementeiras com solo de Cerrado do que com areia?
2. As espécies se adaptam à técnica de semeadura indireta, incluindo o processo de transferência (repicagem) das plantas das sementeiras para os recipientes finais?
3. Recipientes com maiores volumes promovem maior crescimento das mudas de gramíneas?
4. Substratos com solo de Cerrado permitem maior crescimento das mudas, do que o substrato comercial utilizado na produção de mudas de árvores?

No segundo capítulo, nosso objetivo foi identificar as respostas de mudas de *S. sanguineum* à adição de fertilizantes de liberação controlada em substrato comercial, que é usual como técnica de produção de mudas florestais. Assim, buscamos responder as perguntas:

1. As mudas crescem mais com o aumento da disponibilidade de nutrientes no substrato?
2. A adaptação natural ao solo nativo favorece seu crescimento nesse substrato?
3. A concentração de nutrientes das folhas das mudas está positivamente relacionada às doses crescentes de fertilizante?
4. Maiores doses de fertilizantes levam ao maior crescimento das mudas em menor tempo?

Referências bibliográficas

- ALMEIDA, C.; VIANI, R.A.G. Selection of shade trees in forest restoration plantings should not be based on crown tree architecture alone. **Restoration Ecology**, 2019.
- BARDIVIESSO, D.M.; MARUYAMA, W.I.; DOS REIS, L.L.; MODESTO, J.H.; REZENDE, W.E. Diferentes substratos e recipientes na produção de mudas de guabiroba (*Campomanesia pubescens* O.Berg). **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v.18, n.1, p. 52-59, 2011.
- BERTONI, J.E.A. Reflorestamento com essências nativas e a regeneração natural do cerrado. **Revista do Instituto Florestal, São Paulo**, v. 4, n. 3, p. 706-709, 1992.
- BOND W.J.; PARR, C.L. Beyond the forest edge: ecology, diversity and conservation of the grassy biomes. **Biological Conservation**, v. 143, n. 10, p. 2395-2404, 2010.
- BRASIL. **Lei nº 12.727, de 17-X-2012**. Diário Oficial da União, Brasília, p.1, 2012.
- BUISSON, E.; LE STRADIC, S.; SILVEIRA, F.A.O.; DURIGAN, G.; OVERBECK, G.E.; FIDELIS, A.; FERNANDES, G.W.; BOND, W.J.; HERMANN, J.M.H.; MAHY, G.; ALVARADO, S.T.; ZALOUMIS, N.P.; VELDMAN, J.W. Resilience and restoration of tropical and subtropical grasslands, savannas, and grassy woodlands. **Biological Reviews**, v. 94, n. 2, p. 590-609, 2019.
- CARMONA, R.; MARTINS, C.R.; FÁVERO, A.F. Características de sementes de gramíneas nativas do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 6, p. 1067-1074, 1999.
- CASTRO, A.A.J.F.; MARTINS, F.R.; TAMASHIRO, J.Y.; SHEPHERD, G.J. How rich is flora of Brazilian cerrados? **Annals of the Missouri Botanical Garden**, Vol. 86, No. 1, pp. 192-224, 1999.
- CLARK, M.J.; ZHENG, Y. Use of species-specific controlled-release fertilizer rates to manage growth and quality of container nursery crops. **HortTechnology**, v. 25, n. 3, p. 370-379, 2015.
- COELHO, M.S.; RESENDE, F.M.; FERNANDES, G.W. Chinese economic growth: implications for Brazilian conservation policies. **Natureza & Conservação**, v. 11, p. 88-91, 2013.
- COSTA, E.; OLIVEIRA, L.C.; ESPÍRITO SANTO, T.L.; LEAL, P.A.M. Production of baruzeiro seedling in different protected environments and substrates. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 4, p. 633-641, 2012.
- COUTINHO, L.M. O conceito de Cerrado. (The concept of Cerrado.). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 1, n. 1, p. 17-23, 1978.
- DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Viveiros florestais. In: DAVIDE, A. C.; SILVA, E. A. A. (Ed.). **Produção de sementes e mudas de espécies florestais**. Lavras: UFLA, 2008. cap. 2, p. 83-124.
- DURIGAN, G. Bases e Diretrizes para a restauração da vegetação de Cerrado. In: KAGEYAMA, P. Y.; LIVEIRA, R. E.; MORAES L. F. D.; ENGEL, V. L.;

- GANDARA, F. B. (Org.). **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. Botucatu: FEPAF, p. 187-201. 2003.
- DURIGAN, G. **Manual para recuperação da vegetação de cerrado**. São Paulo: SMA, 3. ed., 19 p., 2011.
- DURIGAN, G. Restauração da Cobertura Vegetal em Região de Domínio do Cerrado. In: GALVÃO, A.P.M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. (Org.). **Restauração Florestal: Fundamentos e Estudos de Caso**. Colombo: Embrapa Florestas, p. 103-118, 2005.
- DURIGAN, G.; BAITELLO, J.B.; FRANCO, G.A.D.C.; SIQUEIRA, M.F. **Plantas do cerrado paulista**. Imagens de uma paisagem ameaçada. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica, 475p. 2004.
- DURIGAN, G.; SIQUEIRA, M.F.; FRANCO, G.A.D.C. Threats to the Cerrado remnants of the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 4, p. 355-363, 2007.
- EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, n. 2, p. 201-341, 1972.
- ELLER, C.B.; OLIVEIRA, R.S. Effects of nitrogen availability on the competitive interactions between an invasive and a native grass from Brazilian cerrado. **Plant and Soil**, v. 410, n. 1-2, p. 63-72, 2017.
- FELFILI, J.M.; FAGG, C.W.; PINTO, J.R.R. Modelo nativas do bioma: stepping stones na formação de corredores ecológicos pela recuperação de áreas degradadas no cerrado. In: M.B. Arruda (org.). **Gestão Integrada de Ecossistemas Aplicada à Corredores Ecológicos**. IBAMA, Brasília, p.187-209, 2005.
- FERNANDES, G. W.; COELHO, M. S.; MACHADO, R. B.; FERREIRA, M. E.; AGUIAR; L. M. S.; DIRZO, R.; SCARIOTE, A.; LOPES, C. R. Afforestation of savannas: an impending ecological disaster. **Natureza & Conservação**, v. 2, n. 14, p. 146-151, 2016.
- FERREIRA, A.M. **Efeito da deposição de nitrogênio sobre o metabolismo, o incremento de biomassa e a riqueza de espécies em uma comunidade de gramíneas do cerrado**. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Instituto de Biologia, Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais, 41p., 2017.
- FERREIRA, M.C.; WALTER, B.M.T.; VIEIRA, D.L.M. Topsoil translocation for Brazilian savanna restoration: propagation of herbs, shrubs, and trees. **Restoration Ecology**, v. 23, n. 6, p. 723-728, 2015.
- FILGUEIRAS, T.S.; FAGG, J.M.F.; SILVA JR., M.C. & NOGUEIRA, P.E. Floristic and structural comparison of cerrado *sensu stricto* vegetation in Central Brasil. In: **Forest Biodiversity in North, Central and South America, and the Caribbean. Research and Monitoring**. New York, UNESO/MAB-The Parthenon Press. 1998.
- GIBBS, H. K.; RAUSCH, L.; MUNGER, J.; SCHELLY, I.; MORTON, D. C.; NOOJIPADY, P.; SOARES-FILHO, B.; BARRETO, P.; MICOL, L.; WALKER, N. F. **Science**, v. 347, n. 6220, p. 377-378, 2015.

- GOMES V.M.; NEGREIROS D.; FERNANDES G.W.; PIRES A.C.; SILVA A.C.; LE STRADIC, S. Long-term monitoring of shrub species translocation in degraded Neotropical mountain grassland. **Restoration Ecology**, v. 26, n. 1, p. 91-96, 2018.
- GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. Produção de mudas de eucalipto por sementes. **Informe Agropecuário**, v. 29, n. 242, p. 14-22, 2008.
- GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M. Nutrição de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a doses de N, P, K, Ca e Mg. **Revista Árvore**, v. 36, n. 2, p. 219-228, 2012.
- GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELLI, E. G.; MORAES NETO, S. P.; MANARA, M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEFp. 309-350, 2005.
- GROSSNICKLE, S.C. Seedling size and reforestation success. How big is big enough? In: COLOMBO, S.J. (Compiler) **The thin green line: a symposium on the state-of-the-art in reforestation**. Ontario Forest Research Institute, Ontario Ministry of Natural Resources. Forest Research Information Paper v. 160, pp 138–144, 2005.
- GROSSNICKLE, S.C.; MACDONALD, J.E. Why seedlings grow: influence of plant attributes. **New Forests**, v. 49, n. 1, p. 1-34, 2018.
- GUENNI, O.; SEITER, S.; FIGUEROA, R. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. **TG: Tropical Grasslands**, v. 42, n. 2, p. 75, 2008.
- HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, n. 1, p. 54-64, 2000.
- HONDA, E.A.; DURIGAN, G. Woody encroachment and its consequences on hydrological processes in the savannah. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 371, n. 1703, p. 20150313, 2016.
- JOPPA, L.N.; ROBERTS, D.L.; MYERS, N.; PIMM, S.L. Biodiversity hotspots house most undiscovered plant species. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 32, p. 13171-13176, 2011.
- JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; DE OLIVEIRA, S. L. Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolia* Raddi). **Agrarian**, v. 2, n. 3, p. 73-86, 2009.
- KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.
- KOLB, R.M.; PILON, N.A.L.; DURIGAN, G. Factors influencing seed germination in Cerrado grasses. **Acta Botanica Brasílica**, v. 30, n. 1, p. 87-92, 2016.
- LANDIS T.D.; DUMROESE, R.K. Using polymer-coated controlled release fertilizers in the nursery and after outplanting. United States, Department of Agriculture, Forest Service. **Forest Nursery Notes**, pp. 5-11, 2009.

- LANDIS, T.D. Containers: types and functions. In: LANDIS, T.D.; TINUS, R.W.; MCDONALD, S.E.; BARNETT, J.P. **The container tree nursery manual**, v. 2. Agriculture Handbook. 674. Washington, DC: U.S., Department of Agriculture, Forest Service pp. 1-40, 1990.
- LE STRADIC, S.; SÉLECK, M.; LEBRUN, J.; BOISSON, S.; HANDJILA, G.; FAUCON, M.P.; ENK, T.; MAHY, G. Comparison of translocation methods to conserve metallophyte communities in the Southeastern DR Congo. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 14, p. 13681-13692, 2016.
- LE STRADIC, S.; BUISSON, E.; FERNANDES, G.W. Restoration of Neotropical grasslands degraded by quarrying using hay transfer. **Applied Vegetation Science**, 17: 482-492. 2014.
- LE STRADIC, S.; FERNANDES, G.W.; BUISSON, E. No recovery of campo rupestre grasslands after gravel extraction: implications for conservation and restoration. **Restoration Ecology**, v. 26, p. S151-S159, 2018.
- LILIENFEIN, J.; WILCKE, W.; ZIMMERMANN, R.; GERSTBERGER, P.; ARAÚJO, G. M.; ZECH, W. Nutrient storage in soil and biomass of native Brazilian Cerrado. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 164, n. 5, p. 487-495, 2001.
- LIU, J.; DIAMOND, J. China's environment in a globalizing world. **Nature**, v. 435, n. 7046, p. 1179, 2005.
- LUNA, T.; LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K. Containers. In: DUMROESE, R. K.; LUNA, T.; LANDIS, T. D. (Ed.). **Nursery manual for native plants: a guide for tribal nurseries**. Nursery management. Agriculture Handbook 730. Washington. D.C.: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, v. 1, p. 95-111, 2009.
- MCDONALD, T.; GANN, G.; JONSON, J.; DIXON, K. International standards for the practice of ecological restoration—including principles and key concepts. (Society for Ecological Restoration: Washington, DC, USA.). **Society for Ecological Restoration**. Washington, D.C., 2016.
- MELO, A.C.G., BOAS, O.V. & NAKATA, H. Teste de espécies arbóreas para plantio em área de Cerrado. In: O. VILAS BOAS, G. DURIGAN (orgs.). **Pesquisas em Conservação e Recuperação Ambiental no Oeste Paulista: resultados da cooperação Brasil/ Japão**. Páginas & Letras Editora e Gráfica, São Paulo, pp.305-314. 2004a.
- MELO, A.C.G., DURIGAN, G. & KAWABATA, M. Crescimento e Sobrevivência de Espécies Arbóreas Plantadas em Áreas de Cerrado. In: O. VILAS BOAS, G. DURIGAN, (orgs.). **Pesquisas em Conservação e Recuperação Ambiental no Oeste Paulista: resultados da cooperação Brasil/ Japão**. Páginas & Letras Editora e Gráfica, São Paulo, pp. 447-456. 2004b.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853, 2000.
- OLIET, J.; PLANELLES, R.; SEGURA, M. L.; ARTERO, F.; JACOBS, D. F. Mineral nutrition and growth of containerized *Pinus halepensis* seedlings under controlled-release fertilizer. **Scientia Horticulturae**, v. 103, n. 1, p. 113-129, 2004.

OLIET, J.; SEGURA, M.L.; DOMINGUEZ, F.M.; BLANCO, E.; SERRADA, R.; ARIAS, M.L.; ARTERO, F. Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de planta forestal de vivero: efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* Mill. **Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales**, v.8, n.1, 1999.

OLIVEIRA, M. C.; OGATA, R. S.; ANDRADE, G. A. de; SANTOS, D. DA S.; SOUZA, R. M.; GUIMARAES, T. G.; SILVA JÚNIOR, M. C. DA; PEREIRA, D. J. de S.; RIBEIRO, J. F. **Manual de viveiro e produção de mudas: espécies arbóreas nativas do Cerrado**. Brasília, DF: Universidade de Brasília: Rede de Sementes do Cerrado, 124p., 2016.

OLIVEIRA, P. T. S.; LEITE, M. B.; MATTOS, T.; NEARING, M. A.; SCOTT, R. L.; XAVIER, R.O.; MATOS, D.M.S; WENDLAND, E. Groundwater recharge decrease with increased vegetation density in the Brazilian cerrado. **Ecohydrology**, v. 10, n. 1, p. e1759, 2017.

OLIVEIRA-FILHO, A.T.; RATTER, J.A. Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. (Org.). **The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University Press, p. 91-120, 2006.

OVERBECK, G.; HERMANN, J. M.; ANDRADE, B.; BOLDRINI, I.; KIEHL, K.; KIRMER, A., KOCH, C.; KOLLMANN, J., MEYER, S.; MÜLLER, S.; NABINGER, C.; PILGER, G.; TRINDADE, J.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WALKER, E.; ZIMMERMANN, D.; PILLAR, V. Restoration Ecology in Brazil - Time to Step Out of the Forest. **Natureza & Conservação**, v. 11, n. 1, p. 92-95, 2013.

OVERBECK, Gerhard E. et al. Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. **Diversity and Distributions**, v. 21, n. 12, p. 1455-1460, 2015.

PELLIZZARO, K.F.; CORDEIRO, A.O.O.; ALVES, M.; MOTTA, C.P.; REZENDE, G.M.; SILVA, R.R.P.; RIBEIRO, J.F.; SAMPAIO, A.B.; VIEIRA, D.L.M.; SCHMIDT, I.B. "Cerrado" restoration by direct seeding: field establishment and initial growth of 75 trees, shrubs and grass species. **Brazilian Journal of Botany**, v. 40, n. 3, p. 681-693, 2017.

PILON, N. A. L., BUISSON, E., & DURIGAN, G. Restoring Brazilian savanna ground layer vegetation by topsoil and hay transfer. **Restoration Ecology**, v. 26, n. 1, p. 73-81, 2018a.

PILON, N. A., ASSIS, G. B., SOUZA, F. M. AND DURIGAN, G. Native remnants can be sources of plants and topsoil to restore dry and wet cerrado grasslands. **Restoration Ecology**. 2018b.

PINHO, E. K. C.; LOPES, A. N. K.; COSTA, A. C.; SILVA, A. B. V.; VILAR, F. C. M.; REIS, R. D. G. E. Substratos e tamanhos de recipiente na produção de mudas de baruzeiro (*Dipteryx alata* Vog.). **Revista Ciência Agrícola**, v. 16, n. 1, p. 11-19, 2018.

RATTER J. A.; RICHARDS, P.W.; ARGENT, G.; GIFFORD, D. R. Observações adicionais sobre o cerrado de solos mesotróficos no Brasil central. In: FERRI, M. G. (editor) **IV Simpósio sobre o cerrado**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, p. 306-316, 1977.

RATTER J. A.; RICHARDS, P.W.; ARGENT, G.; GIFFORD, D. R. Observations on the forests of some mesotrophic soils in central Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.1, p.47-58, 1978.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P.; Ribeiro, J.F. (Org.). **Cerrado: ecologia e flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados, p.151 -212, 2008.

RITCHIE, G.A.; LANDIS, T.D.; DUMROESE, R.K.; HAASE, D.L. Assessing plant quality. In: LANDIS TD, DUMROESE RK, HAASE DL. **Seedling processing, storage, and outplanting**. The container tree nursery manual. Agriculture handbook 674, USDA Forest Service, Washington DC, v. 7, pp 17–82, 2010.

RODRIGUES, F.; PEREIRA, C.L.; MROJINSKI, F.; SILVA, M.A.; MENDES, R.C. Comportamento inicial de mudas de *Anacardium humile* st. Hil sob diferentes substratos. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.7, n.1, p.1-9, 2016.

ROSSA, Ü. B.; ANGELO, A. C.; NOGUEIRA, A. C.; REISSMANN, C. B.; GROSSI, F.; RAMOS, M. R. Fertilizante de liberação lenta no crescimento de mudas de *Araucaria angustifolia* e *Ocotea odorifera*. **Floresta**, v. 41, n. 3, 2011.

SAMPAIO, A. B.; VIEIRA, D. L. M.; CORDEIRO, A. O. de O.; AQUINO, F. de G.; SOUSA, A. de P.; ALBUQUERQUE, L. B. de; SCHMIDT, I. B.; RIBEIRO, J. F.; PELLIZZARO, K. F.; SOUSA, F. S. de; MOREIRA, A. G.; SANTOS, A. B. P. dos; REZENDE, G. M.; SILVA, R. R. P.; ALVES, M.; MOTTA, C. P.; OLIVEIRA, M. C.; CORTES, C. de A.; OGATA, R. **Guia de Restauração Do Cerrado Volume 1 - Semeadura Direta**. Brasília/DF. 2015.

SANO, EDSON EYJI, ROBERTO ROSA, J. L. S. BRITO, AND L. GUIMARAES FERREIRA. **Mapeamento de Cobertura Cegetal do Bioma Cerrado: Estratégias e Resultados**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 2007.

SCHUMACHER, M.V.; VIERA, M. (Ed.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciencia-Editora UFMS, 2016.

SCREMIN-DIAS, E.; KALIFE, C.; MENEGUCCI, Z.R.H.; DE SOUZA, P.R. **Produção de mudas de espécies florestais nativas: manual**. Campo Grande, MS: Ed. UFMS, 59 p., 2006.

SER - Society for Ecological Restoration International Science and Policy Working Group. The SER primer in ecological restoration. **Society for Ecological Restoration International**, Tucson, v.2, pp. 1-15. 2004.

SILVA, E. A. D.; MARUYAMA; W. I., OLIVEIRA, A. C. D.; BARDIVIESSO, D. M. Efeito de diferentes substratos na produção de mudas de mangabeira (*Hancornia speciosa*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 31, n. 3, p. 925-929, 2009.

SILVA, E.A.; DE OLIVEIRA, A.C.; MENDONÇA, V.; MENESES SOARES, F. Substratos na produção de mudas de mangabeira em tubetes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 2, pp. 279-285, 2011.

- SILVA, J.S.O.; HARIDASAN, M. Acúmulo de biomassa aérea e concentração de nutrientes em *Melinis minutiflora* P. Beauv. e gramíneas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 2, p. 337-344, 2007.
- SILVA, L.D.C.R.; CORRÊA, R.S. Sobrevivência e crescimento de seis espécies arbóreas submetidas a quatro tratamentos em área minerada no cerrado. **Revista Árvore**, v. 32, n. 4, 2008.
- SILVA, R.R.; COELHO, F.T.A.; ANJOS, M.A.A.; VAZ FILHO, V. Controle do capim-gordura nas áreas de recuperação ambiental da Mineração Corumbaense Reunida (MCR), Corumbá, MS. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 237-242, 2013.
- SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A. Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, v. 344, n. 6182, p. 363-364, 2014.
- SOBRINHO, S.P.; LUZ, P.B. DA; SILVEIRA, T.L.S.; RAMOS, D.T.; NEVES, L.A.G.; BARELLI, M.A.A. Substratos na produção de mudas de três espécies arbóreas do cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, vol. 5, n. 2, pp. 238-243, 2010.
- STRASSBURG, B.B.N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A.E.; OLIVEIRA FILHO, F.J.V.; SCARAMUZZA, C.A. de M.; SCARANO, F.R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 4, p. 0099, 2017.
- TANNUS, J.L.S.; ASSIS, M.A. Composição de espécies vasculares de campo sujo e campo úmido em área de cerrado, Itirapina – SP, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v.27, n.3, p.489-506, 2004.
- VALERI, S. V.; CORRADINI, L. Fertilização em viveiros para produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In: GONÇALVES J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**, Piracicaba: IPEF pp. 167-190, 2005.
- VELDMAN J.W.; OVERBECK G.E.; NEGREIROS, D.; MAHY, G.; LE STRADIC, S.; FERNANDES, G.W.; DURIGAN, G.; BUISSON, E.; PUTZ, F.E.; BOND, W.J. Where tree planting and forest expansion are bad for biodiversity and ecosystem services. **BioScience**, v. 65, n. 10, p. 1011-1018, 2015b.
- VELDMAN, J. W., SILVEIRA, F. A., FLEISCHMAN, F. D., ASCARRUNZ, N. L., & DURIGAN, G. Grassy biomes: An inconvenient reality for large-scale forest restoration? A comment on the essay by Chazdon and Laestadius. **American Journal of Botany**, v. 104, n. 5, p. 649-651, 2017.
- VELDMAN, J.W.; BUISSON, E.; DURIGAN, G.; FERNANDES, G.W.; LE STRADIC, S.; MAHY, G.; NEGREIROS, D.; OVERBECK, G.E.; VELDMAN, R.G.; ZALOUMIS, N.P.; PUTZ, F.E.; BOND, W.J. Toward an old-growth concept for grasslands, savannas, and woodlands. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 13, n. 3, p. 154-162, 2015a.
- VENTUROLI, F., VENTUROLI, S., BORGES, J.D., CASTRO, D.S., DE MELO SOUZA, D., MONTEIRO, M.M., & CALIL, F.N. Incremento de espécies arbóreas em

plantio de recuperação de área degradada em solo de cerrado no Distrito Federal. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 1, p. 143-151, 2013.

VIANI, R. A.; RODRIGUES, R. R.; DAWSON, T. E.; LAMBERS, H.; OLIVEIRA, R. S. Soil pH accounts for differences in species distribution and leaf nutrient concentrations of Brazilian woodland savannah and seasonally dry forest species. **Perspectives in plant ecology, evolution and systematics**, v. 16, n. 2, p. 64-74, 2014.

VIDAL, C.Y.; NAVES, R.P.; VIANI, R.A.G.; RODRIGUES, R.R. The restoration species pool for restoring tropical landscapes: assessment of the largest Brazilian supply chain. **bioRxiv the preprint server for biology**. Disponível em: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/568873v1>>. Publicado em março de 2019.

WENDLING, I.; GATTO, A.; PAIVA, H. N.; GONÇALVES, W. **Planejamento e instalação de viveiros**, Viçosa: Aprenda Fácil, v. 1, 2001.

CAPÍTULO 1

Produção de mudas de gramíneas nativas do Cerrado em viveiro como alternativa para restauração

Resumo

O Cerrado brasileiro é composto por um gradiente fitofisionômico que contém desde campos até fisionomias florestais, que vêm sendo convertido e degradado por atividades antrópicas, aumentando a necessidade de restauração em muitas áreas. O plantio de mudas pode ser uma técnica empregada na restauração do Cerrado, e mudas de gramíneas podem ser úteis em campos e savanas degradadas, uma vez que compõem boa parte do estrato herbáceo das fisionomias abertas do cerrado. Assim, nós investigamos se o tipo e volume de substrato influenciam o desempenho das mudas de duas espécies de gramíneas nativas do Cerrado, usando técnicas de produção de mudas de espécies arbóreas. Para isso, sementes das gramíneas *Schizachyrium sanguineum* (Retz.) Alston e *Loudetiopsis chrysothrix* (Nees) Conert. foram semeadas em sementeiras contendo solo de Cerrado ou areia. Após a emergência das plântulas, essas foram transferidas para recipientes de 30, 55, 290 cm³, contendo solo de Cerrado, substrato florestal ou a mistura de ambos. Verificamos como as espécies de gramíneas nativas respondem às técnicas de semeadura e produção de mudas comumente usadas em viveiros para espécies arbóreas, avaliando a emergência de plântulas, sobrevivência e padrões de crescimento em relação aos recipientes e substratos testados. *L. chrysothrix* emergiu mais rapidamente e em maior percentual que *S. sanguineum*. A técnica de repicagem das plântulas de sementeiras para recipientes definitivos foi bem sucedida, com sobrevivência maior que 70%. Além disso, para ambas as espécies, mudas produzidas em solo de Cerrado e em recipientes de maior volume tiveram maiores taxas de crescimento relativo em altura e maior número de perfilhos. Ainda que mudas produzidas com substrato florestal tenham tido menor crescimento, esse não pode ser descartado como opção, uma vez que pode ter suas condições melhoradas com adição de insumos e considerando que há limitações para obtenção de solo de Cerrado sem causar impactos em áreas conservadas. Concluímos que mudas das gramíneas nativas podem ser produzidas com técnicas utilizadas na produção de mudas de espécies arbóreas, e assim serem disponibilizadas para uso na restauração do estrato graminoso do Cerrado.

Palavras-chave: *Schizachyrium sanguineum*; *Loudetiopsis chrysothrix*; semeadura indireta; emergência; substratos; recipientes; viveiro.

Introdução

O Cerrado brasileiro apresenta um gradiente fitofisionômico que contém desde campos sem cobertura arbórea até densas fisionomias florestais (Eiten, 1972; Coutinho, 1978; Ribeiro e Walter, 2008) e, atualmente é considerado prioritário para a conservação da biodiversidade, além de imprescindível para manutenção do ciclo hidrológico, como fonte de recarga de importantes aquíferos e cursos d'água (Myers et al. 2010; Veldman et al. 2015a; Honda & Durigan 2016). Apesar de sua importância, o Cerrado vem sendo convertido e degradado por atividades antrópicas, principalmente àquelas ligadas à agropecuária, gerando elevada demanda por restauração (Klink & Machado 2005; Soares-Filho et al. 2014; Strassburg et al. 2017).

Restaurar o Cerrado é um desafio, pois no Brasil as técnicas de restauração priorizadas são voltadas basicamente à restauração da vegetação arbórea de fisionomias florestais (Overbeck et al. 2013). As técnicas de restauração florestal, mesmo quando aplicadas no Cerrado, enfocam o plantio de árvores e não incluem a restauração do estrato herbáceo-subarbustivo que densamente compõe as suas formações savânicas e campestres (Sano et al. 2007). Desse modo, quando aplicada a fisionomias abertas do Cerrado, técnicas de restauração florestal causam prejuízos à biodiversidade e a provisão de serviços ecossistêmicos (Veldman et al. 2015b; Abreu et al. 2017).

Para a efetiva restauração ecológica das fisionomias com estrato herbáceo dominante, devemos considerar também a reintrodução de espécies nativas deste componente. A condução da regeneração natural, a semeadura direta, a transposição de *topsoil* e a transferência de plantas e de feno (palhada com diásporos) (Le Stradic et al. 2014; Ferreira et al. 2015; Le Stradic et al. 2016; Pellizzaro et al. 2017; Gomes et al. 2018; Pilon et al. 2018a e b) vem sendo testadas como técnicas para restauração do estrato herbáceo do Cerrado. No entanto, essas técnicas dependem de áreas naturais conservadas como áreas-fonte, o que restringe o emprego em larga escala, em função dos riscos de

impactos negativos na conservação dessas áreas (Le Stradic et al. 2018; Pilon et al. 2018b). Além disso, a semeadura direta no campo esbarra em baixas taxas de germinação das espécies herbáceas nativas em condição de campo (Carmona et al. 1999; Sampaio et al. 2015; Kolb et al. 2016; Pellizzaro et al. 2017; Pilon et al. 2018b). Assim, é pertinente desenvolver técnicas complementares para a restauração do estrato herbáceo, excluindo ou reduzindo os impactos sobre áreas de vegetação nativa remanescente.

O plantio de mudas de gramíneas nativas pode ser uma boa estratégia para a restauração do Cerrado, pois elas compõem cerca de 25% da riqueza (Filgueiras et al. 1998) e 84% da biomassa acima do solo do seu estrato herbáceo (Lilienfein et al. 2001). O transplante de plantas inteiras de gramíneas de áreas conservadas rapidamente recobre o solo das áreas em restauração (Pilon et al. 2018b), o que é importante para reduzir a invasão por gramíneas exóticas (Young et al. 2016; Silva et al. 2013), que frequentemente limitam o restabelecimento das ervas nativas. Como alternativa, essas plantas adultas poderiam ser produzidas em viveiros e implantadas no campo, de modo similar ao feito com espécies arbóreas. O plantio de gramíneas nativas foi testado em áreas de restauração (Huddleston & Young, 2004; Silva et al. 2013), porém, os estudos não descrevem as técnicas utilizadas para a produção das mudas.

São necessários, portanto, estudos que embasem técnica e cientificamente a produção de mudas de gramíneas nativas visando à restauração de campos e savanas do Cerrado. Para restauração florestal já existe uma cadeia estabelecida de produção de mudas de árvores nativas, com parâmetros de qualidade definidos. Uma muda de qualidade é definida principalmente por atributos morfológicos como altura, diâmetro do caule e balanço entre raiz e parte aérea, os quais influenciam diretamente a sobrevivência das mudas após o plantio (Grossnickle & MacDonald, 2018). Esses atributos são facilmente mensuráveis em viveiro e estão diretamente relacionados aos substratos de

produção e ao volume dos recipientes (Ritchie et al. 2010; Grossnickle & MacDonald, 2018).

O volume dos recipientes afeta o crescimento das raízes e da parte aérea das mudas, uma vez que está associado às quantidades de água e nutrientes disponíveis para o desenvolvimento das plantas (Vilas Bôas et al. 2004; Ritchie et al. 2010). O substrato também afeta a disponibilidade de água e de nutrientes às mudas, em função de sua composição química, física e biológica. Além disso, o substrato também pode influenciar a germinação e emergência das sementes (Oleskog & Sahlén, 2010; Pretorius, 2016). Dessa forma, nós tivemos como objetivo com este estudo produzir mudas de duas espécies de gramíneas nativas do Cerrado, utilizando como referência as técnicas usuais de produção de mudas de espécies arbóreas. Buscamos entender se as espécies de gramíneas nativas se adaptam às técnicas de semeadura e produção aplicadas para espécies arbóreas, e como alteram a sobrevivência e seus padrões de crescimento nos principais recipientes e substratos usados na produção de mudas florestais.

Material e métodos

Condições de viveiro

O experimento foi conduzido em viveiro, no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (22°18'45''S; 47°23'4''O), em Araras – SP, Brasil, de setembro de 2017 a junho de 2018, sob irrigação por microaspersão automatizada e sombrite com retenção de 50% da intensidade luminosa. Durante o período de estudo, a temperatura variou, em média, entre 18 a 24°C e a umidade relativa, entre 53 e 82% (Anexo 1).

Espécies e técnica de semeadura

Nós usamos duas espécies de gramíneas (Poaceae): *Schizachyrium sanguineum* (Retz.) Alston e *Loudetiopsis chrysothrix* (Nees) Conert., selecionadas por serem nativas do Cerrado brasileiro (Tannus & Assis, 2004). Ambas possuem metabolismo C4 e são perenes (Clayton et al. 2006).

Sementes de ambas as espécies foram adquiridas de uma associação de coletores de sementes do Centro-Oeste do Brasil. Para retirar a palhada e as impurezas do material adquirido, as sementes de *S. sanguineum* foram separadas manualmente e as de *L. chrysothrix* com auxílio de mesa de ventilação. Para *L. chrysothrix*, separamos as sementes vazias das cheias com a mesa de ventilação, uma vez que as massas diferiam entre si. Para *S. sanguineum* isso não foi possível devido à massa e aspecto visual serem muito semelhantes entre sementes cheias e vazias. Após a limpeza, determinamos a massa de 1000 sementes de cada espécie em três repetições e usamos a média para determinar a quantidade de sementes para semeadura no experimento.

Utilizamos a técnica de semeadura indireta, primeiramente semeando ambas as espécies em sementeiras e, após a emergência, transferindo as plantas para os recipientes

e substratos definitivos (Scremin-Dias et al. 2006; Oliveira et al. 2016). Como sementeiras, foram usadas bandejas de plástico com 43,5 x 29 x 6 cm de dimensão, com perfurações no fundo para a drenagem da água.

Os substratos testados nas sementeiras foram areia e solo de Cerrado. A areia foi selecionada por ser largamente utilizada em viveiros comerciais (Scremin-Dias et al. 2006; Oliveira et al. 2016). Já o solo de Cerrado, classificado como neossolo quartzarênico (Santos et al., 2018), foi coletado da camada de 0-20 cm em áreas conservadas de Cerrado da Estação Ecológica de Itirapina, no sudeste do Brasil. Esse foi usado com objetivo de proporcionar condições às quais as espécies estão adaptadas, pois ambas as espécies estudadas ocorrem naturalmente neste local (Tannus & Assis, 2004). Os substratos foram peneirados antes de serem utilizados.

Foram realizados pré-testes em sementeiras com o lote de sementes utilizado, e encontradas taxas de emergência em sementeira de 6 e 10% para *S. sanguineum* e *L. chrysothrix*, respectivamente. Dessa forma, para *S. sanguineum* instalamos oito sementeiras e para *L. chrysothrix* cinco sementeiras, com 1000 sementes cada. Assim, garantimos a produção de pelo menos 450 indivíduos de cada espécie. As sementes foram distribuídas à lanço nas sementeiras, de maneira homogênea, e cobertas por uma fina camada do próprio substrato utilizado (Figura 1). As sementeiras foram irrigadas diariamente, de modo a manter o substrato sempre úmido.



Figura 1. Sementeiras com areia (A) e solo de Cerrado (B) para germinação e emergência das gramíneas *Schizachyrium sanguineum* e *Loudetiopsis chrysothrix*.

Transferência das plantas para recipientes e substratos definitivos

L. chrysothrix foi transferida para o recipiente definitivo 30 dias após a sementeira, com cerca de 6,7 cm de altura, enquanto *S. sanguineum* foi transferida três meses após a sementeira, com altura média de 3,4 cm. Os diferentes momentos de transferência se devem à diferença no tempo de emergência das plântulas de cada espécie. Em função disso, as espécies não foram comparadas entre si após o transplante, e foram avaliadas por períodos diferentes.

Para a transferência, o substrato das sementeiras foi umedecido, facilitando a retirada das plantas ao puxá-las pelo colo, com o auxílio de um palito (Figura 2, Oliveira et al. 2016). Foram transferidas 450 plantas de cada espécie, 150 para cada um dos três recipientes testados (tubetes de 55 cm³ e de 290 cm³ e bandejas plásticas com 200 células de 30 cm³) e, dentro de cada recipiente, 50 unidades para cada um dos três substratos avaliados: substrato florestal (SF), solo de Cerrado (SC) coletado em áreas conservadas de campo sujo em Itirapina - SP e uma mistura de ambos na proporção 1:1 v/v. O substrato florestal contém casca de pinus, vermiculita, carvão mineral, macro e micro nutrientes. Cada tratamento foi composto por cinco repetições, contendo 10 plantas cada.



Figura 2. Processo de transferência de plantas de *Loudetiopsis chrysothrix* das sementeiras para recipientes de 30 cm³ contendo solo de Cerrado e substrato florestal.

Escolhemos os tubetes, de ambos os volumes, e o substrato florestal devido à sua larga utilização na produção de mudas florestais (Ritchie, 2010). As bandejas plásticas com células de menor volume foram selecionadas pela possibilidade de maior produção de mudas, em menor espaço (Ritchie, 2010). O solo de Cerrado foi usado para simular um tratamento com as condições edáficas do Cerrado em que as gramíneas estudadas ocorrem naturalmente. Todos os substratos foram submetidos à análise química (Raij et al. 2001) e, de modo geral, o substrato florestal tem maior disponibilidade de nutrientes que o solo do Cerrado (Anexo 2).

Coleta e análise dos dados

Após a semeadura em sementeiras, avaliamos o tempo médio de emergência (TME), os percentuais de emergência no TME e máximo atingido no período de avaliação. O TME foi determinado pela equação $TME = \frac{\sum(n.t)}{\sum n}$, em que n corresponde ao número de plantas emergidas e t o tempo após a semeadura (Labouriau, 1983). Para isso, contamos o número de plantas emergidas a cada cinco dias, até os 30 e 60 dias após a semeadura para *L. chrysothrix* e *S. sanguineum*, respectivamente. Para *S. sanguineum* realizamos mais duas contagens, aos 75 e 90 dias após a semeadura. O percentual de emergência foi calculado relacionando as 1000 sementes inicialmente semeadas com a quantidade de plantas emergidas no TME e, também, com o número máximo de plantas emergidas atingido após a semeadura (Brasil, 2009).

A sobrevivência após a transferência foi calculada com base no número de plantas vivas aos 30 dias, em relação ao número de plantas transferidas para os recipientes e substratos definitivos. A sobrevivência final foi calculada da mesma forma, porém considerando as plantas vivas aos 210 e 180 dias para *L. chrysothrix* e *S. sanguineum*, respectivamente.

As mudas produzidas foram avaliadas quanto à altura com uma fita métrica, esticando-a junto à planta, do colo até a ponta da maior folha. Realizamos a medição da altura logo após a transferência das plantas para os recipientes e substratos definitivos, e ao final do experimento, aos 210 e 180 dias para *L. chrysothrix* e *S. sanguineum*, respectivamente (Figura 3). Calculamos a taxa de crescimento relativo em altura (TCR, $\text{cm.cm}^{-1}.\text{mês}^{-1}$) conforme descrito em Benincasa (2003): $(\ln H_2 - \ln H_1) / t$, em que H_1 e H_2 são as alturas nas avaliações inicial e final, respectivamente, e t o intervalo, em meses, entre as avaliações. Escolhemos usar a TCR em altura como variável para medir o crescimento real das mudas, uma vez que essas apresentavam alturas diferentes no momento da repicagem.

Ao final do experimento com cada espécie, contamos o número de perfilhos das mudas manualmente (Figura 3). Além disso, metade das mudas de cada tratamento foram escolhidas aleatoriamente e tiveram suas raízes lavadas e separadas da parte aérea, e ambas foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C até atingir massa constante (Anexo 3). Após secas, as raízes e parte aéreas de cada muda foram pesadas, obtendo-se a massa de matéria seca e a relação entre raiz e parte aérea das mudas.

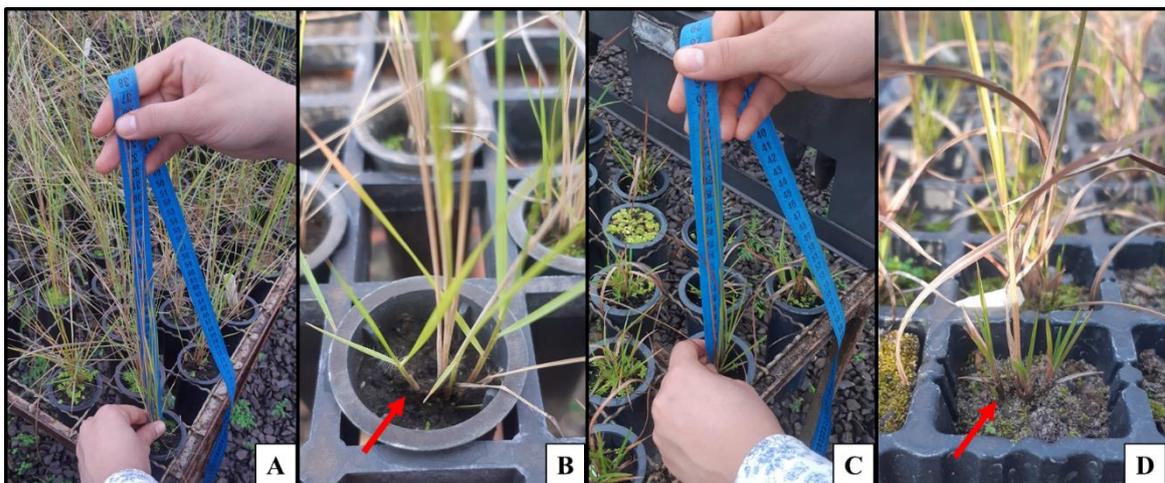


Figura 3. Medida de altura e contagem do número perfilhos (indicados por setas) em *Loudetiopsis chrysothrix* (A e B) e *Schizachyrium sanguineum* (C e D).

Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado. Após a semeadura, verificamos diferenças entre as espécies (*L. chrysothrix* e *S. sanguineum*) e entre os substratos das sementeiras (areia e solo de Cerrado) para TME e percentuais de emergência das sementes, com uma análise de variância (ANOVA) fatorial 2 x 2 (Anexo 4). Após a transferência para os recipientes e substratos definitivos, avaliamos os efeitos do substrato das sementeiras (areia ou solo de Cerrado), dos recipientes (30, 55, 290 cm³) e dos substratos no recipiente definitivo (solo de Cerrado, substrato florestal e mistura de ambos) sobre a TCR em altura, o número de perfilhos e a relação entre raiz e parte aérea das mudas. Quando constatada interação ou efeito significativo, as médias dos tratamentos foram comparados pelo teste *post hoc* de Tukey (Anexo 5). Todas as análises foram feitas no programa R, usando 5% de significância.

Resultados

Técnica de semeadura e parâmetros de emergência

Houve maior porcentagem e velocidade de emergência para *L. chrysothrix* do que *S. sanguineum* (Figura 4A). O percentual de emergência no tempo médio foi maior em sementeiras com solo de Cerrado para *L. chrysothrix*, enquanto que para *S. sanguineum* não houve diferença na emergência em função do substrato da sementeira (Figura 4B). Ambas as espécies apresentaram maiores percentuais máximo de emergência em sementeiras com solo de Cerrado (Figura 4C e 5).

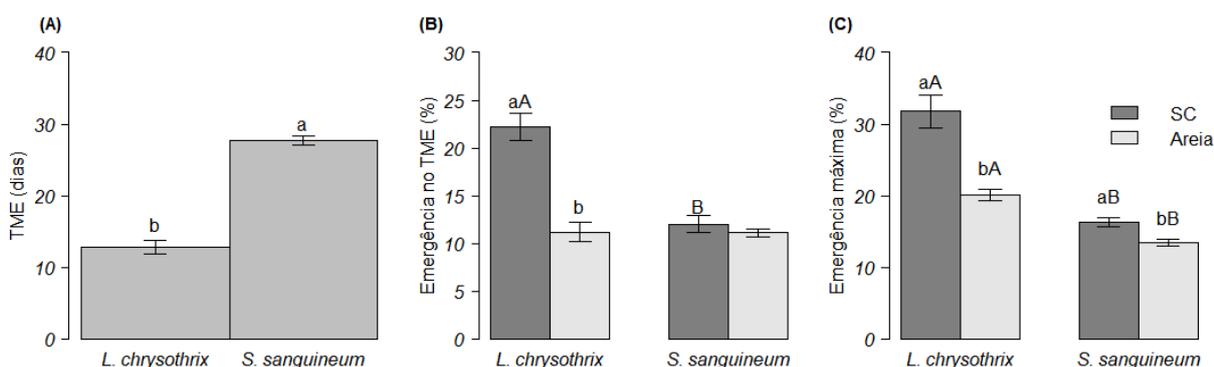


Figura 4. Médias (\pm erro padrão) do tempo médio de emergência (TME) (A), e dos percentuais de emergência no TME (B) e máximo (C) das gramíneas *Loudetiopsis chrysothrix* e *Schizachyrium sanguineum* nas sementeiras com areia ou solo de Cerrado (SC). Letras minúsculas comparam (teste de Tukey, 5% de significância) espécies e maiúsculas os substratos das sementeiras para cada espécie.

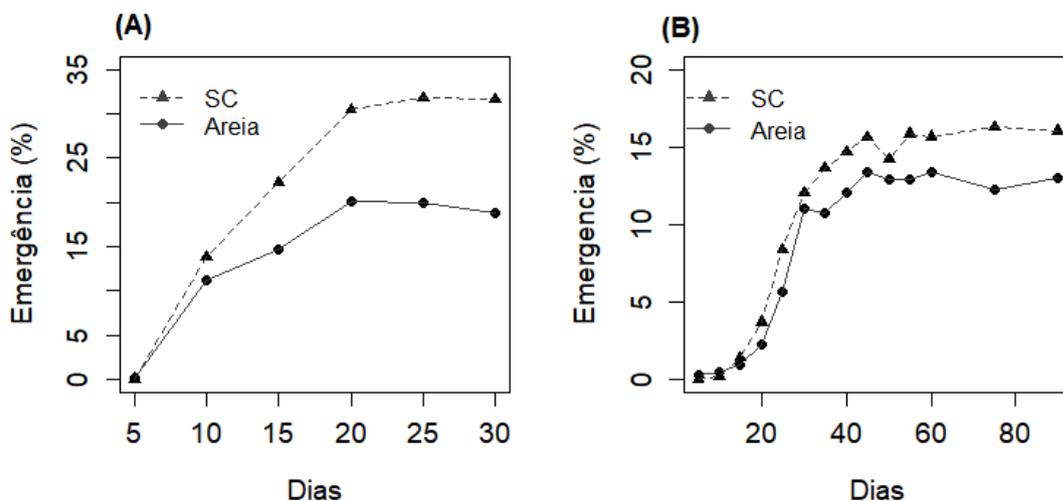


Figura 5. Percentual de emergência ao longo do tempo das gramíneas *Loudetiopsis chrysothrix* (A) e *Schizachyrium sanguineum* (B) em sementeiras com areia ou solo de Cerrado (SC).

Trinta dias após a transferência para os recipientes finais, ambas as espécies tiveram, em todos os tratamentos, sobrevivência maior que 70% (Figuras 6 e 7). Para as plantas de *L. chrysothrix* transferidas de sementeiras de areia para substrato florestal houve sobrevivência de 74 a 80% das mudas, as menores registradas após a repicagem para esta espécie (Figura 6A). Nos recipientes contendo solo de Cerrado, a sobrevivência variou de 80 a 98% após a repicagem. Por outro lado, as mudas produzidas em sementeiras com solo de Cerrado apresentaram sobrevivência após a transferência maior que 96% em todas as combinações de recipientes e substratos (Figura 6B).

Ao final do experimento, a sobrevivência das mudas de *L. chrysothrix* foi maior e superior a 80% em mudas provenientes de sementeiras com solo de Cerrado (Figura 6D). Entretanto, quando transferidas de sementeiras com areia, houve sobrevivência maior que 80% apenas para as mudas em solo de Cerrado, em recipientes de 30 e 55 cm³ (Figura 6C).

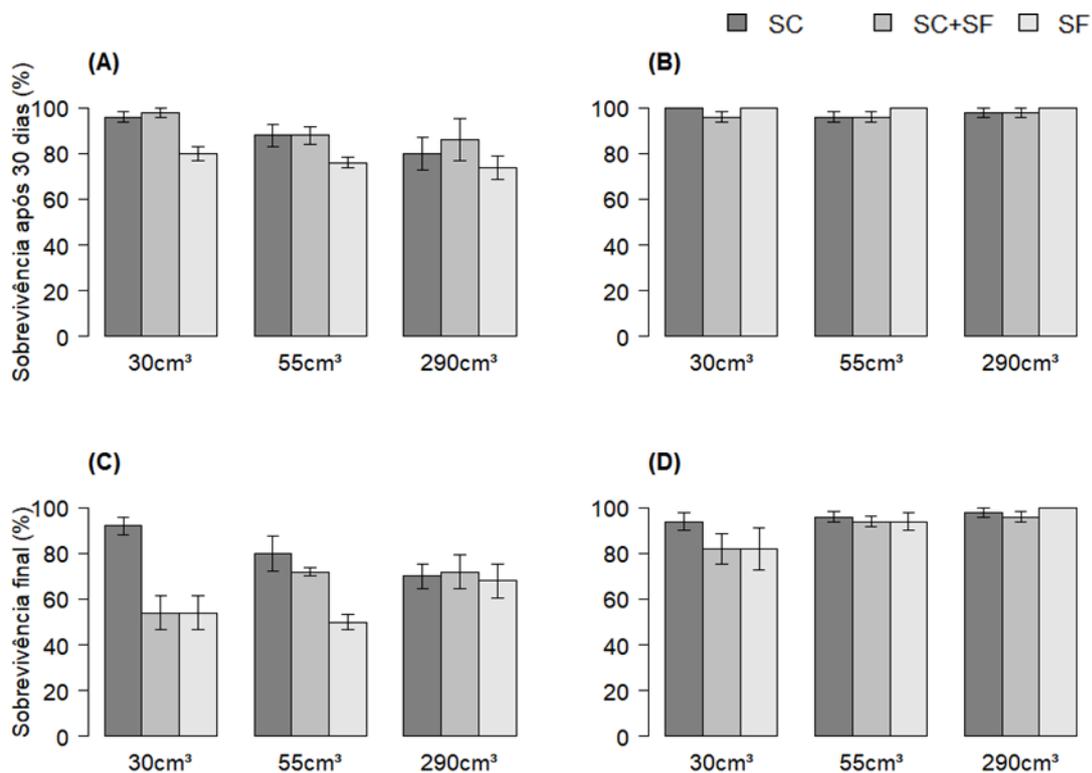


Figura 6. Sobrevivência (média \pm erro padrão) de *Loudetiopsis chrysothrix* após a transferência de sementeiras para os recipientes e substratos finais (30 dias; A e B) e ao final do experimento (210 dias; C e D). A e C: mudas de sementeiras com areia; B e D: mudas de sementeiras com solo de Cerrado. Os substratos dos recipientes finais são solo de Cerrado (SC), substrato florestal (SF) e mistura de ambos (SC+SF). Os volumes dos recipientes finais são 30, 55 e 290 cm³.

A sobrevivência após a transferência para *S. sanguineum* foi acima de 95% e pouco variou conforme o substrato das sementeiras e recipiente de cultivo (Figura 7A e B). O mesmo foi observado ao final do experimento, com exceção das mudas produzidas em sementeiras com areia e repicadas para recipientes de 30 cm³ contendo solo de Cerrado ou substrato florestal, e das produzidas em sementeiras com solo de Cerrado, repicadas para recipientes de 30 cm³ com a mistura dos substratos (Figura 7C e D).

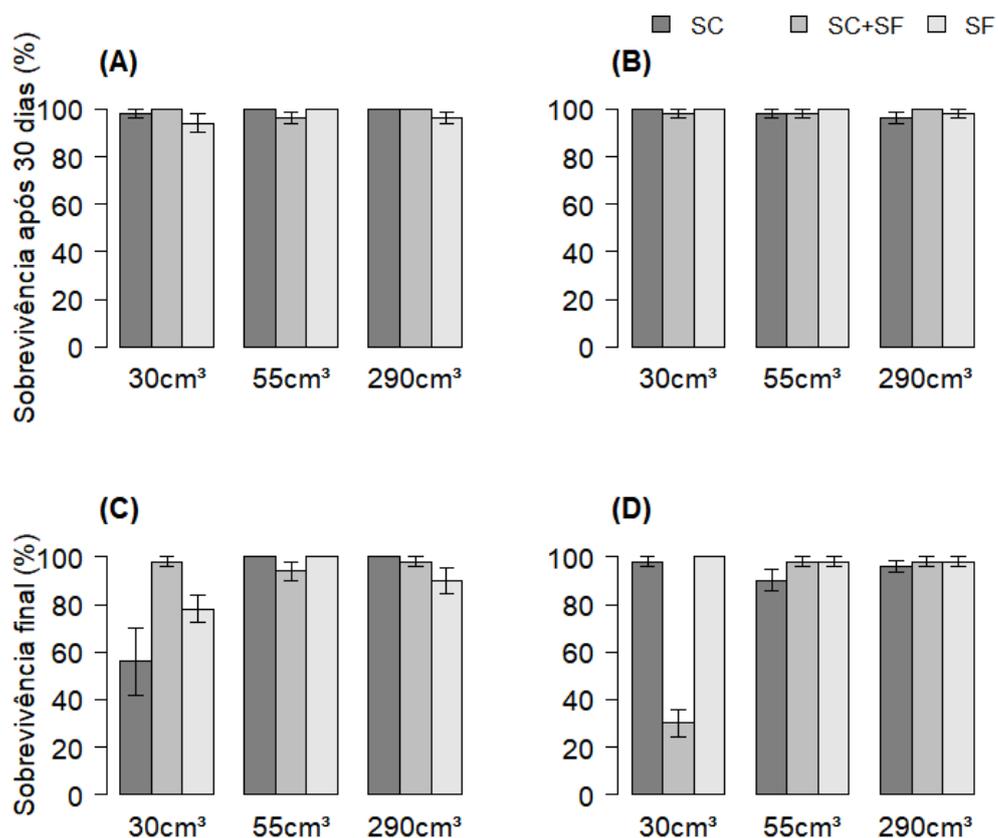


Figura 7. Sobrevivência (média \pm erro padrão) de *Schizachyrium sanguineum* após a transferência de sementeiras para os recipientes e substratos finais (30 dias; A e B) e ao final do experimento (180 dias; C e D). A e C: mudas de sementeiras com areia; B e D: mudas de sementeiras com solo de Cerrado. Os substratos dos recipientes finais são solo de Cerrado (SC), substrato florestal (SF) e mistura de ambos (SC+SF). Os volumes dos recipientes finais são 30, 55 e 290 cm³.

Crescimento das mudas em função dos substratos e recipientes de produção

A TCR em altura de *L. chrysothrix* foi influenciada pelos recipientes e substratos usados após a repicagem (Figura 8A) e pela interação entre o substrato da sementeira e o recipiente final (Figura 8B). Encontramos maiores TCR em altura em mudas cultivadas nos maiores recipientes (290 cm³), independentemente do substrato usado (Figura 8A). Porém, os substratos contendo solo de Cerrado proporcionaram maior incremento em altura das mudas nos recipientes testados. Mudas produzidas a partir de sementeiras com areia tem maior incremento em altura quando cultivadas em substrato contendo solo de Cerrado (Figura 8B). Para mudas de sementeiras com solo de Cerrado, houve maior crescimento em altura quando transferidas para o substrato contendo a mistura de solo de Cerrado e substrato florestal.

A TCR em altura das mudas de *S. sanguineum* foi influenciada pelos recipientes e substratos (Figura 8C) e pelos substratos das sementeiras e recipientes (Figura 8D). As mudas tiveram maior incremento em altura quando cultivadas em recipientes de 290 cm³ contendo solo de Cerrado ou na mistura deste com substrato florestal (Figura 8C). A mistura dos substratos proporcionou maiores TCR em altura das mudas nos recipientes testados (Figura 8C). Além disso, mudas produzidas a partir de sementeiras com solo de Cerrado e repicadas para recipientes de 290 cm³ tiveram maior incremento em altura que aquelas em menores recipientes (Figura 8D). Quando produzidas em sementeiras com areia, o incremento foi maior em recipientes de 55 e 290 cm³ (Figura 8D). Observamos ainda que, quando em recipientes de 55 cm³, o incremento em altura foi maior em mudas provenientes de sementeiras com areia do que com solo de Cerrado, e o contrário foi observado em recipientes de 290 cm³ (Figura 8D).

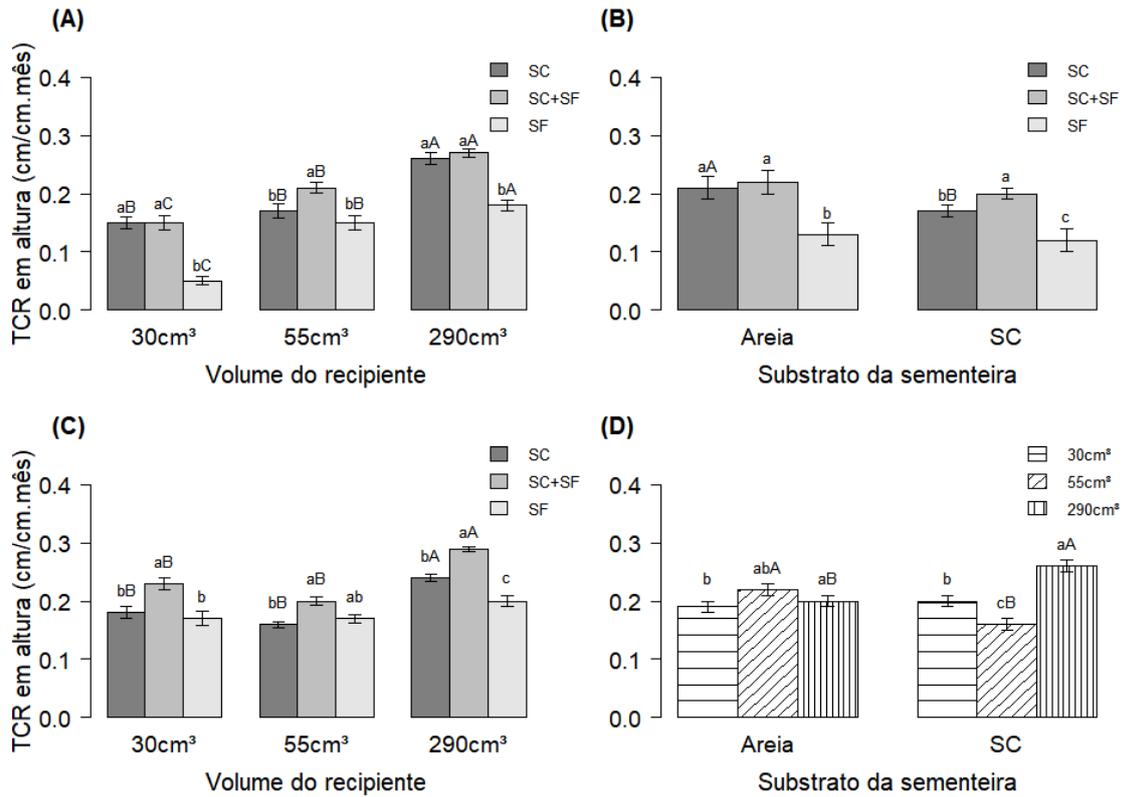


Figura 8. Influência do substrato da sementeira, e dos substrato e recipiente finais nas médias (\pm erro padrão) de taxa de crescimento relativo (TCR; $\text{cm.cm}^{-1}.\text{mês}^{-1}$) em altura das mudas de gramíneas. Interação entre substratos e volumes dos recipientes finais (A) e entre substratos das sementeiras e dos recipientes finais (B) para *Loudetiopsis chrysothrix*; e interação entre substratos e volumes dos recipientes finais (C) e entre substratos das sementeiras e volumes dos recipientes finais (D) para *Schizachyrium sanguineum*. Os substratos da sementeira são areia ou solo de Cerrado (SC). Os substratos dos recipientes finais são solo de Cerrado (SC), substrato florestal (SF) e mistura de ambos (SC+SF). Os volumes dos recipientes finais são 30, 55 e 290 cm^3 . Letras minúsculas comparam dentro dos grupos e as letras maiúsculas entre os grupos (teste de Tukey, 5% de significância).

O número de perfilhos foi influenciado pela interação entre substrato da sementeira e substratos e entre recipientes e substratos definitivos, em ambas as espécies (Figura 9). Mudanças de *L. chrysothrix* produzidas em sementeiras com areia tiveram maior número de perfilhos com solo de Cerrado como substrato final (Figura 9A), enquanto que as mudas produzidas em sementeiras com solo de Cerrado tiveram maior número de perfilhos quando em substrato contendo solo de Cerrado ou a mistura deste com o florestal. Houve maior perfilhamento das mudas em substratos contendo solo de Cerrado, para todos os tamanhos de recipiente (Figura 9B). Porém, encontramos o maior número de perfilhos em mudas cultivadas em recipientes de 290 cm³ contendo apenas solo do Cerrado (Figura 9B).

Mudas de *S. sanguineum* produzidas em sementeiras com areia tiveram maior número de perfilhos quando cultivadas no solo de Cerrado ou na mistura desse com substrato florestal (Figura 9C). Mudanças provenientes de sementeiras com solo de Cerrado e cultivadas no mesmo substrato tiveram maior perfilhamento (Figura 9C). Houve maior número de perfilhos em mudas de recipientes de 290 cm³ contendo solo de Cerrado em seu substrato (Figura 9D).

Para ambas as espécies, quanto maior o recipiente, maior o número de perfilhos, independentemente do substrato utilizado. Porém, considerando os substratos, houve maior perfilhamento naqueles com a presença de solo de Cerrado (Figura 9B e D).

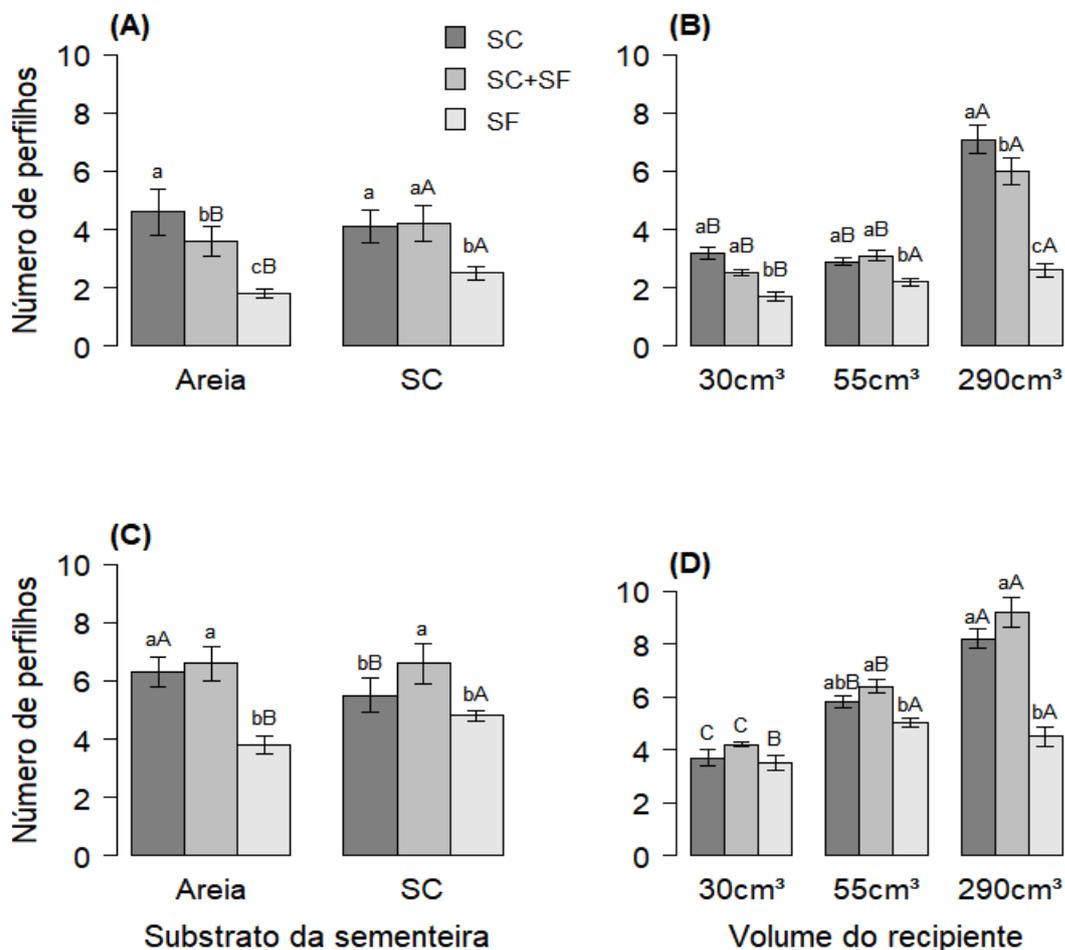


Figura 9. Influência do substrato da sementeira, e dos substrato e recipiente finais nas médias (\pm erro padrão) de número de perfilhos das mudas de gramíneas. Interação entre substratos das sementeiras e dos recipientes finais (A) e entre substratos e volumes dos recipientes finais (B) para *Loudetiopsis chrysothrix*; e interação entre substratos das sementeiras e dos recipientes finais (C) e entre substratos e volumes dos recipientes finais (D) para *Schizachyrium sanguineum*. Os substratos da sementeira são areia ou solo de Cerrado (SC). Os substratos dos recipientes finais são solo de Cerrado (SC), substrato florestal (SF) e mistura de ambos (SC+SF). Os volumes dos recipientes finais são 30, 55 e 290 cm³. Letras minúsculas comparam dentro dos grupos e as letras maiúsculas entre os grupos (teste de Tukey, 5% de significância).

A razão entre raiz e parte aérea das mudas de *L. chrysothrix* foi influenciada pelos substratos tanto das sementeiras quanto dos recipientes definitivos (Figura 10A). Mudanças produzidas em sementeiras com areia e transferidas para substratos contendo solo de Cerrado apresentaram maiores valores para a razão raiz:parte aérea do que as produzidas em sementeiras com solo de Cerrado (Figura 10A). Quando em substrato florestal, as mudas não diferiram quanto à razão raiz:parte aérea. Para essa espécie, observamos que os valores dessa relação não ultrapassam uma unidade, indicando uma maior proporção de parte aérea do que raiz nas mudas produzidas.

Os substratos e recipientes finais afetaram a razão raiz:parte aérea para *S. sanguineum* (Figura 10B). A razão raiz:parte aérea foi maior que uma unidade em mudas produzidas com a mistura de solo de Cerrado com substrato florestal e para substrato florestal nos recipientes de 55 e 290 cm³, indicando maior investimento em raiz do que em parte aérea nesses tratamentos. Em recipientes de 55 cm³ não houve diferença na relação de acordo com o tipo de substrato. Nos recipientes de 30 e 290 cm³, essa relação aumentou na seguinte ordem: uso do solo de Cerrado, em sua mistura com substrato florestal e apenas com substrato florestal. Destaca-se que as mudas em recipientes de 30 cm³ contendo solo de Cerrado e em recipientes de 290 cm³ com substrato florestal apresentaram a menor e a maior razão raiz:parte aérea, respectivamente.

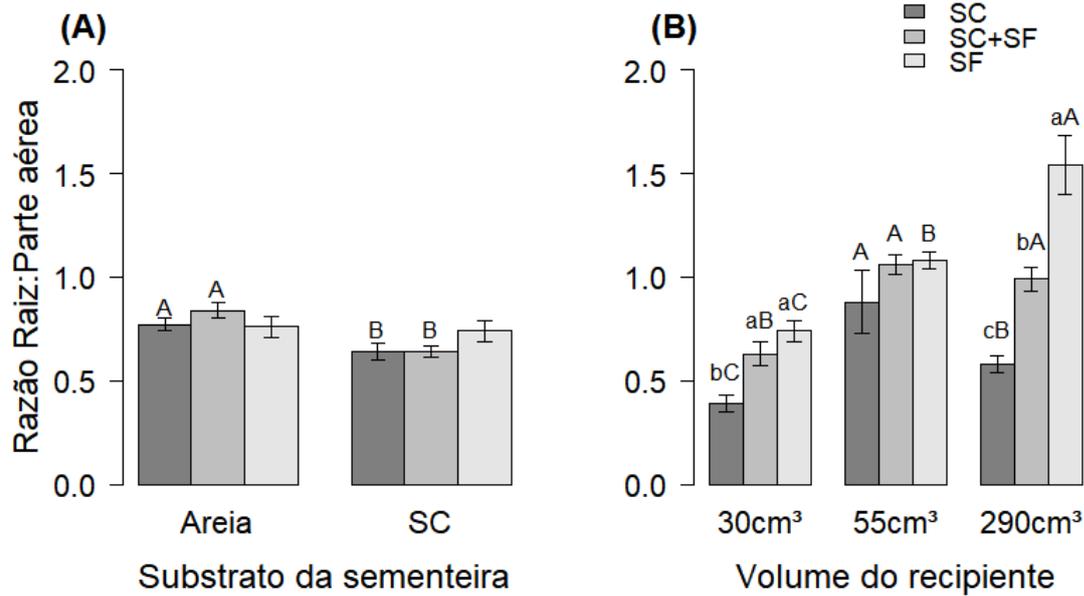


Figura 10. Influência do substrato da sementeira, e do substrato e recipiente finais sobre as médias (\pm erro padrão) da razão entre raiz:parte aérea das mudas de gramíneas. Interação entre substratos das sementeiras e dos recipientes finais (A) para *Loudetiopsis chrysothrix* e interação entre substratos e volume dos recipientes finais (B) para *Schizachyrium sanguineum*. Os substratos da sementeira são areia ou solo de Cerrado (SC). Os substratos dos recipientes finais são solo de Cerrado (SC), substrato florestal (SF) e mistura de ambos (SC+SF). Os volumes dos recipientes finais são 30, 55 e 290 cm³. Letras minúsculas comparam dentro dos grupos e as letras maiúsculas entre os grupos (teste de Tukey, 5% de significância).

Discussão

Técnica de semeadura e parâmetros de emergência

As espécies *L. chrysothrix* e *S. sanguineum* apresentaram notada diferença no processo de emergência em viveiro. A espécie *L. chrysothrix* levou cerca da metade do tempo necessário para a emergência em comparação com *S. sanguineum*, independentemente do substrato utilizado nas sementeiras. Diferenças no tempo de emergência tem sido atribuídas a diferenças morfológicas nas sementes, já que *L. chrysothrix* aparenta possuir sementes com tegumento menos rígido e mais permeável que *S. sanguineum*, o que pode facilitar o processo de embebição das sementes e, por consequência, a emergência. O tegumento mais rígido das cariopses de gramíneas, como de *S. sanguineum*, pode dificultar a entrada de água ou mesmo ser barreira física à extrusão da radícula das sementes (Felippe et al. 1983; Silva & Rocha Filho, 1991).

Além da possível diferença na barreira tegumentar, a diferença no TME pode estar relacionada ao fato de muitas gramíneas tropicais apresentarem embriões imaturos no momento da dispersão (Adkins et al. 2002). Maiores TME também podem ser uma estratégia de sobrevivência de gramíneas de savanas. Desse modo, as gramíneas teriam germinação escalonada ao longo da estação chuvosa (Veenendaal et al. 1996) e evitariam a germinação das sementes e emergência das plântulas simultaneamente em condições desfavoráveis para seu estabelecimento (Scott et al. 2010; Ramos et al. 2017; Escobar et al. 2018). Assim, o comportamento germinativo das gramíneas no viveiro parece refletir o que tem sido relatado para o ambiente natural.

Para espécies que possuem longo TME, como *S. sanguineum*, a produção de mudas em viveiro com posterior plantio pode ser estratégia mais interessante à restauração ecológica do que a semeadura direta no campo. Isso porque, com a semeadura direta, as sementes que não germinarem rapidamente ficarão expostas a patógenos de solo e à

predação (Leal & Oliveira, 1998, 2000; Christianini et al. 2007; Pellish et al. 2018), reduzindo o número de sementes viáveis no banco de sementes. Além disso, gramíneas exóticas com menor tempo de emergência podem ocupar as áreas durante o intervalo entre a semeadura e a emergência das espécies nativas, prejudicando o estabelecimento destas e a restauração do local pelo efeito de prioridade (Young et al. 2016).

Vários estudos apontam a baixa viabilidade de sementes de gramíneas nativas do Cerrado, acarretando baixos percentuais de emergência (Carmona et al. 1999; Le Stradic et al. 2015; Kolb et al. 2016). Em contrapartida, nós encontramos percentuais de emergência mais altos do que em estudos com as mesmas espécies em condições de viveiro (Kolb et al. 2016; Pellizzaro et al. 2017). Para *L. chrysothrix*, isso pode ser explicado pela remoção de sementes vazias previamente à semeadura em nosso estudo. Com isso, fica evidente a importância de adaptações nos processos de beneficiamento de sementes e nas técnicas de semeadura específicas visando aumentar o percentual de emergência e produzir plantas vigorosas.

Sugerimos que o fato de terem sido observados maiores percentuais de emergência em sementeiras com solo de Cerrado para *L. chrysothrix* seja pela existência de uma relação íntima entre seu processo de germinação e os componentes do solo em que ocorrem naturalmente. Por exemplo, os micro-organismos específicos presentes no solo de Cerrado podem ser importantes no processo de germinação e estabelecimento de gramíneas nativas em savanas (Veenendaal et al. 1992; Martins et al. 1999). Além disso, outros atributos do substrato, tais como o pH (Jampeetong et al. 2013; Pretorius, 2016) e a composição granulométrica (Nel, 2014) são conhecidos por influenciar o percentual de emergência.

A espécie *S. sanguineum* apresentou percentuais de emergência no TME semelhantes em ambos os substratos das sementeiras, fato que pode facilitar a produção dessa espécie

em viveiros de mudas florestais que utilizam areia como substrato de sementeiras (Scremin-Dias et al. 2006; Oliveira et al. 2016). No entanto, o percentual de emergência máximo, aos 75 dias após a semeadura, foi cerca de três pontos percentuais maior em sementeiras com solo de Cerrado como substrato. Dessa forma, é necessário compreender o que é mais relevante no processo de produção de mudas dessa espécie: um período menor na produção das plantas em sementeiras com areia mas atingindo uma emergência mais baixa, ou um tempo maior em sementeiras com solo de Cerrado, sendo necessário esforço e custos adicionais.

Crescimento das mudas em função dos substratos e recipientes de produção

Após a transferência das plantas de sementeiras para os recipientes finais, constatamos sobrevivência maior que 70% para ambas as espécies em todos os tratamentos, evidenciando sua tolerância ao processo. Essa técnica é ideal para espécies com desconhecido ou baixo percentual de emergência ou para aquelas que naturalmente apresentam grande variação deste parâmetro nas sementes, como as gramíneas aqui estudadas, pois evitaria o desperdício de materiais e mão de obra (Scremin-Dias et al. 2006). Além disso, essa técnica permite o aumento do número de espécies produzidas nos viveiros e garante a homogeneidade das mudas, facilitando o manejo no viveiro (Scremin-Dias et al. 2006; Oliveira et al. 2016).

O crescimento das mudas foi influenciado pelos substratos utilizados nas sementeiras e nos recipientes definitivos. A sobrevivência ao final do experimento foi maior que 80% para mudas de *L. chrysothrix* produzidas em sementeiras com solo de Cerrado para todos os tratamentos. Já mudas de *S. sanguineum* tiveram sobrevivência maior que 95%, com pouca variação, nos diferentes substratos e recipientes, à exceção daquelas produzidas em recipientes de 30 cm³, que apresentaram sobrevivência menor que 80%. Possivelmente,

o pequeno volume do recipiente limite o crescimento das mudas por conter pouco substrato e, conseqüentemente, menos nutrientes, e/ou porque o pequeno volume proporciona baixa capacidade de armazenamento de água (Ritchie et al. 2010; Bardivieso et al. 2011).

Constatamos que, para ambas as espécies, o solo de Cerrado, misturado ou não com substrato florestal, permitiu maiores TCR em altura e número de perfilhos das mudas, sejam essas provenientes de sementeiras contendo solo de Cerrado ou areia. Além disso, a presença do solo do Cerrado no substrato definitivo permitiu maior crescimento em altura e número de perfilhos, apesar deste apresentar menor disponibilidade de nutrientes que o substrato florestal. Fatores como presença de agentes biológicos (Emam, 2016; Rúa et al, 2016) e adaptações às condições nutricionais (Haridasan, 2000; Silva & Haridasan, 2007; Viani et al. 2011) do solo de Cerrado podem ter influenciado positivamente no desenvolvimento das mudas. Estudos que identifiquem as vantagens do solo de Cerrado ou os fatores limitantes do substrato florestal são necessários para melhor entendimento do crescimento de gramíneas nativas em viveiro, e para que adaptação em substratos de uso comum e amplamente disponível seja possível.

Embora tenhamos observado efeitos positivos da germinação e do cultivo das gramíneas em solo do Cerrado, há evidentes limitações para a recomendação deste substrato à prática de produção de mudas em larga escala. A coleta de solo de Cerrado livre de sementes de gramíneas invasoras pode degradar as áreas remanescentes de Cerrado bem conservado e protegido. Além disso, o solo de Cerrado é pesado, o que é uma característica indesejável para substratos em viveiros, pois dificulta o transporte, manejo e a expedição das mudas para o campo (Scremin-Dias et al. 2006; Barbosa et al. 2014).

Quanto maior o volume do recipiente de produção, mais as mudas de espécies arbóreas crescem (Ritchie et al. 2010). Para as espécies de gramíneas estudadas, observamos o mesmo padrão. O recipiente de maior volume (290 cm³) foi o mais favorável ao crescimento em altura e número de perfilhos, principalmente quando combinado com substratos com solo de Cerrado. Esse maior crescimento está relacionado à menor limitação espacial ao desenvolvimento radicular e maior disponibilidade de água e nutrientes, em função da maior quantidade de substrato no recipiente (Ritchie et al. 2010; Bardivieso et al. 2011; Cruz et al. 2016). Ao mesmo tempo em que recipientes de maior volume são melhores para o crescimento das plantas, eles afetam o custo de produção das mudas, pois exigem maior volume de substrato e insumos, maior espaço no viveiro e maior quantidade de mão de obra para o manejo e transporte das mudas (Queiroz & Melém Junior, 2001).

O volume do recipiente utilizado no viveiro é considerado um dos fatores mais importantes para o sucesso das mudas após o plantio no campo. Quanto maior o recipiente, maior será o desenvolvimento radicular, e, conseqüentemente maior a superfície de contato da muda com o solo (Ritchie et al. 2010). Por outro lado, mudas maiores têm mais sucesso quando plantadas em locais com maior disponibilidade de água e com competição severa e aquelas de menor tamanho podem ter mais sucesso no plantio em áreas propensas à déficit hídrico (Grossnickle 2005). Tais constatações, juntamente com os resultados deste estudo podem nos guiar no sentido de estabelecer parâmetros de produção de mudas das gramíneas nativas conforme a área de Cerrado a ser restaurada, podendo haver diferenças entre as mudas levadas a campo de acordo com a fisionomia em questão.

A razão raiz:parte aérea indica o balanço do crescimento da planta (Ritchie et al., 2010). Sendo assim, a alocação de biomassa é guiada de forma a aumentar partes das

plantas em que os recursos para seu bom desenvolvimento estão limitados (Davidson, 1969; Garnier, 1991; Hunt, 1975; Shipley & Meziani, 2002). Em nosso estudo, mudas de *L. chrysothrix* produzidas em sementeiras com areia e transferidas para substratos com solo de Cerrado alocaram proporcionalmente mais biomassa nas raízes em relação à parte aérea do que quando produzidas em sementeiras com solo de Cerrado. Uma vez que sugerimos a existência de associação positiva dessa espécie com o solo de Cerrado, podemos inferir que isso pode ter influenciado positivamente na absorção de nutrientes, sendo mais eficiente em mudas produzidas em sementeiras com solo de Cerrado, e havendo conseqüentemente menor alocação de biomassa para raízes.

Observamos que *S. sanguineum* investiu mais em raízes quando produzida em recipientes de 55 e 290 cm³ contendo substrato florestal misturado ou não com solo de Cerrado. Isso contraria a hipótese de que mudas produzidas em substratos com maior disponibilidade de nutrientes investem menos em raízes e mais na parte aérea. Uma hipótese para esse comportamento contraditório é que pode ter ocorrido lixiviação de nutrientes do substrato, devido à irrigação diária, tornando esse substrato pobre em nutrientes (Fochesato et al. 2008; Souza et al. 2008; Da Ros et al. 2017). Embora a lixiviação possa também ter ocorrido no solo do Cerrado, a mais baixa razão raiz:parte aérea em mudas produzidas com esse substrato podem ser resultado de alguma vantagem adicional que as plantas têm quando cultivadas em seu solo de origem (Rúa et al., 2016), o que pode influenciar positivamente na nutrição da planta e no crescimento do sistema radicular.

Com base nos nossos resultados, mudas de espécies de gramíneas nativas do Cerrado podem ser produzidas em viveiros, sendo possível definir alguns parâmetros de produção e avaliação do desenvolvimento destas. Mas, um fator ainda deve ser considerado, que é o estabelecimento das mudas em campo. A altura e a razão raiz:parte

aérea são largamente usadas para inferir sobre a qualidade de mudas de espécies arbóreas destinadas à restauração florestal (Ritchie et al. 2010; Oliveira et al. 2016; Grossnickle & MacDonald, 2018). Em plantios de restauração florestal, mudas arbóreas com padrões de altura elevados são consideradas vantajosas na competição com outras espécies vegetais. Por outro lado, isso pode ser negativo, pois o maior desenvolvimento em altura aumenta exposição ao estresse hídrico (Grossnickle & MacDonald, 2018). A relação raiz:parte aérea também é preditiva do sucesso pós-plantio de espécies arbóreas, porque mudas com sistema radicular bem desenvolvido possuem maior capacidade de desenvolver novas raízes após o plantio (Davis & Jacobs, 2005; Grossnickle & MacDonald, 2018). Entretanto, além destes parâmetros, achamos pertinente inserir o número de perfilhos das gramíneas como um atributo de qualidade das mudas, visto que ambas as espécies estudadas são cespitosas (Clayton et al. 2006), e o número de perfilhos afeta a produção de biomassa da parte aérea. O número de perfilhos varia conforme a espécie e fatores ambientais, e interfere diretamente na capacidade de ocupação do solo pela gramínea (He et al., 2004; Kluse & Diaz, 2005; Hussein et al. 2007; Xiao et al. 2010). Além disso, o número de perfilhos pode ser preditivo para tolerância das gramíneas a condições estressantes (Fernández & Reynolds, 2000; Zimmermann et al. 2010), comumente encontradas em áreas destinadas à restauração ecológica.

Por fim, embora julgemos a produção de mudas *L. chrysothrix* e *S. sanguineum* viável em condições encontradas em viveiros florestais, achamos necessários estudos que correlacionem as técnicas de produção das mudas em viveiro e os parâmetros morfológicos avaliados com a capacidade de estabelecimento delas em campo, gerando padrões de qualidade para a produção das mudas de gramíneas nativas estudadas. Além disso, recomendamos estudos sobre o custo de produção de mudas de gramíneas nativas,

de forma a complementar o presente estudo e permitir o plantio de mudas dessas espécies como alternativa para restauração de fisionomias campestres e savânicas do Cerrado.

Conclusões – implicações para prática

- Mudas das gramíneas nativas *Loudetiopsis chrysothrix* (Nees) Conert e *Schizachyrium sanguineum* (Retz.) Alston podem ser produzidas com sucesso em viveiro replicando as técnicas utilizadas na produção de mudas de espécies arbóreas.
- As espécies de gramíneas nativas estudadas apresentam diferenças notáveis entre si no processo de emergência das plântulas. Porém, ambas aceitam a semeadura indireta com posterior repicagem para recipientes definitivos.
- Recipientes de maior volume promovem maior crescimento em altura e maior perfilhamento das gramíneas nativas do Cerrado estudadas.
- O solo de Cerrado é melhor como substrato para a emergência e o crescimento das gramíneas nativas que o substrato florestal usual. Entretanto, há restrições para a recomendação do solo do Cerrado como substrato, pois sua coleta deve ser feita em áreas conservadas de Cerrado.

Referências Bibliográficas

- ABREU, R. C.; HOFFMANN, W. A.; VASCONCELOS, H. L.; PILON, N. A., ROSSATTO, D. R.; DURIGAN, G. The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. **Science Advances**, v.3, n.8, p. e1701284, 2017.
- ADKINS S.; BELLAIR S.; LOCH D. Seed dormancy mechanisms in warm season grass species. **Euphytica**, v. 126, n. 1, p. 13-20, 2002.
- BARBOSA, LUIZ MAURO; PARAJARA, FULVIO CAVALHERI; BARBOSA, KARINA CAVALHEIRO; BARBOSA, TIAGO CAVALHEIRO. **Manual de Orientação para Implantação de Viveiro de Mudás**. São Paulo-CEA/Instituto de Botânica – SMA, 2. ed. rev. e atual., 2014.
- BARDIVIESSO, D.M.; MARUYAMA, W.I.; DOS REIS, L.L.; MODESTO, J.H.; REZENDE, W.E. Diferentes substratos e recipientes na produção de mudas de guabioba (*Campomanesia pubescens* O.Berg). **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v.18, n.1, p. 52-59, 2011.
- BENINCASA, M.M.P. Análise de crescimento de plantas. Jaboticabal: FUNEP, 41p. 2003.
- BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura. 2009.
- CARMONA, R.; MARTINS, C.R.; FÁVERO, A.F. Características de sementes de gramíneas nativas do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 6, p. 1067-1074, 1999.
- CHRISTIANINI, A.V.; MAYHÉ-NUNES, A.J.; OLIVEIRA, P.S. The role of ants in the removal of non-myrmecochorous diaspores and seed germination in a Neotropical savanna. **Journal of Tropical Ecology**, v. 23, n. 3, p. 343-351, 2007.
- CLAYTON, W.D., VORONTSOVA, M.S., HARMAN, K.T. and WILLIAMSON, H. (2006). World Grass Species: Descriptions, Identification, and Information Retrieval. Disponível em: <<http://www.kew.org/data/grasses-db.html>> Acesso: 2017.
- COUTINHO, L.M. O conceito de Cerrado. (The concept of Cerrado.). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 1, n. 1, p. 17-23, 1978.
- CRUZ, F.R.S.; DE ANDRADE, L.A.; FEITOSA, R.C. Produção de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) em diferentes substratos e tamanho de recipientes. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 69-80, 2016.
- DA ROS, C. O., SILVESTRIN, T. B., SOMAVILLA, L., PERRANDO, E. R., & DA SILVA, R. F. DA ROS, Clovis Orlando et al. Perdas de Nutrientes por Lixiviação na Produção de Mudás de Cedro Australiano. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. e20160081, 2017.
- DAVIDSON, R. L. Effect of root/leaf temperature differentials on root/shoot ratios in some pasture grasses and clover. **Annals of Botany**, v. 33, n. 3, p. 561-569, 1969.
- DAVIS, S.D.; JACOBS, D.F. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. **New Forests**, v. 30, n. 2-3, p. 295-311, 2005.

- DURIGAN, G.; BAITELLO, J.B.; FRANCO, G.A.D.C.; SIQUEIRA, M.F. **Plantas do cerrado paulista**. Imagens de uma paisagem ameaçada. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica, 475p. 2004.
- EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, n. 2, p. 201-341, 1972.
- ELLER, C.B.; OLIVEIRA, R.S. Effects of nitrogen availability on the competitive interactions between an invasive and a native grass from Brazilian cerrado. **Plant and Soil**, v. 410, n. 1-2, p. 63-72, 2017.
- EMAM, T. Local soil, but not commercial AMF inoculum, increases native and non-native grass growth at a mine restoration site. **Restoration ecology**, v. 24, n. 1, p. 35-44, 2016.
- ESCOBAR, D.F.; SILVEIRA, F.A.; MORELLATO, L.P.C. Timing of seed dispersal and seed dormancy in Brazilian savanna: two solutions to face seasonality. **Annals of botany**, v. 121, n. 6, p. 1197-1209, 2018.
- FELIPPE, G. M.; SILVA, J. C. S.; CARDOSO, V. J. M. Germination studies in *Andropogon gayanus* Kunth. **Revista Brasileira de Botanica**, v. 6, p. 41-48, 1983.
- FERNÁNDEZ, R.J.; REYNOLDS, J.F. Potential growth and drought tolerance of eight desert grasses: lack of a trade-off? **Oecologia**, v. 123, n. 1, p. 90-98, 2000.
- FERREIRA, M.C.; WALTER, B.M.T.; VIEIRA, D.L.M. Topsoil translocation for Brazilian savanna restoration: propagation of herbs, shrubs, and trees. **Restoration ecology**, v. 23, n. 6, p. 723-728, 2015.
- FILGUEIRAS, T.S.; FAGG, J.M.F.; SILVA JR., M.C. & NOGUEIRA, P.E. Floristic and structural comparison of cerrado *sensu stricto* vegetation in Central Brasil. In: **Forest Biodiversity in North, Central and South America, and the Caribbean. Research and Monitoring**. New York, UNESO/MAB-The Parthenon Press. 1998.
- FOCHESATO ML, SOUZA PVD, SCHAFFER G, MACIEL HS. Alterações das características químicas de três substratos comerciais na produção de mudas cítricas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 4, p. 1040-1046, 2008.
- GARNIER, E. Resource capture, biomass allocation and growth in herbaceous plants. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 6, n. 4, p. 126-131, 1991.
- GOMES V.M.; NEGREIROS D.; FERNANDES G.W.; PIRES A.C.; SILVA A.C.; LE STRADIC, S. Long-term monitoring of shrub species translocation in degraded Neotropical mountain grassland. **Restoration Ecology**, v. 26, n. 1, p. 91-96, 2018.
- GROSSNICKLE, S.C. Seedling size and reforestation success. How big is big enough? In: COLOMBO, S.J. (Compiler) **The thin green line: a symposium on the state-of-the-art in reforestation**. Ontario Forest Research Institute, Ontario Ministry of Natural Resources. Forest Research Information Paper v. 160, pp 138–144, 2005.
- GROSSNICKLE, S.C.; MACDONALD, J.E. Why seedlings grow: influence of plant attributes. **New Forests**, v. 49, n. 1, p. 1-34, 2018.

- HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, n. 1, p. 54-64, 2000.
- HE, W.; ZHANG, H.; DONG, M. Plasticity in fitness and fitness-related traits at ramet and genet levels in a tillering grass *Panicum miliaceum* under patchy soil nutrients. **Plant Ecology**, v. 172, n. 1, p. 1-10, 2004.
- HONDA, E.A.; DURIGAN, G. Woody encroachment and its consequences on hydrological processes in the savannah. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 371, n. 1703, p. 20150313, 2016.
- HUDDLESTON, Russell T.; YOUNG, Truman P. Spacing and competition between planted grass plugs and preexisting perennial grasses in a restoration site in Oregon. **Restoration Ecology**, v. 12, n. 4, p. 546-551, 2004.
- HUNT, R. Further observations on root-shoot equilibria in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). **Annals of Botany**, v. 39, n. 4, p. 745-755, 1975.
- HUSSEIN, J.; YU, B.; GHADIRI, H.; ROSE, C. Prediction of surface flow hydrology and sediment retention upslope of a vetiver buffer strip. **Journal of Hydrology**, v. 338, n. 3-4, p. 261-272, 2007.
- JAMPEETONG, A., KONNERUP, D., PIWPUAN, N. & BRIX, H. Interactive effects of nitrogen form and pH on growth, morphology, N uptake and mineral contents of *Coix lacryma-jobi* L. **Aquatic Botany**, v. 111, 144-149, 2013.
- KLUSE, J.S.; DIAZ, B.H.A.. Importance of soil moisture and its interaction with competition and clipping for two montane meadow grasses. **Plant Ecology**, v. 176, n. 1, p. 87-99, 2005.
- KOLB, R.M.; PILON, N.A.L.; DURIGAN, G. Factors influencing seed germination in Cerrado grasses. **Acta Botanica Brasílica**, v. 30, n. 1, p. 87-92, 2016.
- LABOURIAU, L. G. A germinação das sementes. Washington: Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, 174p. 1983.
- LE STRADIC, S.; BUISSON, E.; FERNANDES, G.W. Restoration of Neotropical grasslands degraded by quarrying using hay transfer. **Applied Vegetation Science**, 17: 482-492. 2014.
- LE STRADIC, S.; SÉLECK, M.; LEBRUN, J.; BOISSON, S.; HANDJILA, G.; FAUCON, M.P.; ENK, T.; MAHY, G. Comparison of translocation methods to conserve metallophyte communities in the Southeastern DR Congo. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 14, p. 13681-13692, 2016.
- LE STRADIC, S.; SILVEIRA, F.A.; BUISSON, E.; CAZELLES, K.; CARVALHO, V.; FERNANDES, G.W. Diversity of germination strategies and seed dormancy in herbaceous species of campo rupestre grasslands. **Austral Ecology**, v. 40, n. 5, p. 537-546, 2015.
- LE STRADIC, S.; FERNANDES, G.W.; BUISSON, E. No recovery of campo rupestre grasslands after gravel extraction: implications for conservation and restoration. **Restoration ecology**, v. 26, p. S151-S159, 2018.

- LEAL, I. R.; OLIVEIRA, P. S. Foraging ecology of attine ants in a Neotropical savanna: seasonal use of fungal substrate in the cerrado vegetation of Brazil. **Insectes Sociaux**, v. 47, n. 4, p. 376-382, 2000.
- LEAL, I.R.; OLIVEIRA, P.S. Interactions between Fungus-Growing Ants (Attini), Fruits and Seeds in Cerrado Vegetation in Southeast Brazil 1. **Biotropica**, v. 30, n. 2, p. 170-178, 1998.
- LILIENTFEIN, J.; WILCKE, W.; ZIMMERMANN, R.; GERSTBERGER, P.; ARAÚJO, G. M.; ZECH, W. Nutrient storage in soil and biomass of native Brazilian Cerrado. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 164, n. 5, p. 487-495, 2001.
- MARTINS, C.R.; DE MIRANDA, J.C.C.; DE MIRANDA, L.N. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de *Aristida setifolia* Kunth em áreas degradadas do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 665-674, 1999.
- NEL, L. **The role of seed coating in the establishment and growth of *Medicago sativa* l. cultivars**. Tese de Doutorado (Agric Pasture Science), University of Pretoria. 2014.
- OLESKOG, G.; SAHLÉN, K.. Effects of seedbed substrate on moisture conditions and germination of *Pinus sylvestris* seeds in a clearcut. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 15, n. 2, p. 225-236, 2000.
- OLIVEIRA, M. C.; OGATA, R. S.; ANDRADE, G. A. de; SANTOS, D. da S.; SOUZA, R. M.; GUIMARAES, T. G.; SILVA JÚNIOR, M. C. da; PEREIRA, D. J. de S.; RIBEIRO, J. F. **Manual de viveiro e produção de mudas: espécies arbóreas nativas do Cerrado**. Brasília, DF: Universidade de Brasília: Rede de Sementes do Cerrado, 124p., 2016.
- OVERBECK, G.; HERMANN, J. M.; ANDRADE, B.; BOLDRINI, I.; KIEHL, K.; KIRMER, A., KOCH, C.; KOLLMANN, J., MEYER, S.; MÜLLER, S.; NABINGER, C.; PILGER, G.; TRINDADE, J.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WALKER, E.; ZIMMERMANN, D.; PILLAR, V. Restoration Ecology in Brazil - Time to Step Out of the Forest. **Natureza & Conservação**, v. 11, n. 1, p. 92-95, 2013.
- PELLISH, C. A.; SHERRARD, M. E.; LEYTEM, P. A.; JACKSON; L. L. Small vertebrate granivores reduce seedling emergence in native tallgrass prairie restoration. **Restoration Ecology**, v. 26, n. 2, p. 323-330, 2018.
- PELLIZZARO, K.F.; CORDEIRO, A.O.O.; ALVES, M.; MOTTA, C.P.; REZENDE, G.M.; SILVA, R.R.P.; RIBEIRO, J.F.; SAMPAIO, A.B.; VIEIRA, D.L.M.; SCHMIDT, I.B. "Cerrado" restoration by direct seeding: field establishment and initial growth of 75 trees, shrubs and grass species. **Brazilian Journal of Botany**, v. 40, n. 3, p. 681-693, 2017.
- PILON, N. A. L., BUISSON, E., & DURIGAN, G. Restoring Brazilian savanna ground layer vegetation by topsoil and hay transfer. **Restoration Ecology**, v. 26, n. 1, p. 73-81, 2018a.

PILON, N. A., ASSIS, G. B., SOUZA, F. M. AND DURIGAN, G. Native remnants can be sources of plants and topsoil to restore dry and wet cerrado grasslands. **Restoration Ecology**. 2018b.

PRETORIUS, P. J. **Effectiveness of coated seed in the establishment of herbaceous species on different mined substrates as influenced by pH and salinity**. Tese de doutorado, University of Pretoria, 2016.

QUEIROZ, J.A.; MELÉM JÚNIOR, N.J. Efeito do tamanho do recipiente sobre o desenvolvimento de mudas de açai (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 21, n. 1, p. 460-462, 2001.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 285 p., 2001.

RAMOS, D.M.; DINIZ, P.; OOI, M.K.; BORGHETTI, F.; VALLS, J.F. Avoiding the dry season: dispersal time and syndrome mediate seed dormancy in grasses in Neotropical savanna and wet grasslands. **Journal of vegetation Science**, v. 28, n. 4, p. 798-807, 2017.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P.; Ribeiro, J.F. (Org.). **Cerrado: ecologia e flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados, p.151 -212. 2008.

RITCHIE, G.A.; LANDIS, T.D.; DUMROESE, R.K.; HAASE, D.L. Assessing plant quality. In: LANDIS TD, DUMROESE RK, HAASE DL. **Seedling processing, storage, and outplanting**. The container tree nursery manual. Agriculture handbook 674, USDA Forest Service, Washington DC, v. 7, pp 17–82, 2010.

RÚA, M. A.; ANTONINKA, A.; ANTUNES, P. M.; CHAUDHARY, V. B.; GEHRING, C.; LAMIT, L. J.; PICULELL, B.J.; BEVER, J.D.; ZABINSKI, C.; MEADOW, J.F.; LAJEUNESSE, M.J.; MILLIGAN, B.G.; KARST, J.; HOEKSEMA, J.D. Home-field advantage? Evidence of local adaptation among plants, soil, and arbuscular mycorrhizal fungi through meta-analysis. **BMC Evolutionary Biology**, v. 16, n. 1, p. 122, 2016.

SAMPAIO, A. B.; VIEIRA, D. L. M.; CORDEIRO, A. O. de O.; AQUINO, F. de G.; SOUSA, A. de P.; ALBUQUERQUE, L. B. de; SCHMIDT, I. B.; RIBEIRO, J. F.; PELLIZZARO, K. F.; SOUSA, F. S. de; MOREIRA, A. G.; SANTOS, A. B. P. dos; REZENDE, G. M.; SILVA, R. R. P.; ALVES, M.; MOTTA, C. P.; OLIVEIRA, M. C.; CORTES, C. de A.; OGATA, R. **Guia de Restauração Do Cerrado Volume 1 - Semeadura Direta**. Brasília/DF. 2015.

SANO, EDSON EYJI, ROBERTO ROSA, J. L. S. BRITO, AND L. GUIMARAES FERREIRA. **Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado: Estratégias e Resultados**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 2007.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

- SCOTT, K.; SETTERFIELD, S.; DOUGLAS, M.; ANDERSEN, A. Soil seed banks confer resilience to savanna grass-layer plants during seasonal disturbance. **Acta Oecologica**, v. 36, n. 2, p. 202-210, 2010.
- SCREMIN-DIAS, E.; KALIFE, C.; MENEGUCCI, Z.R.H.; DE SOUZA, P.R. **Produção de mudas de espécies florestais nativas: manual**. Campo Grande, MS: Ed. UFMS, 59 p., 2006.
- SHIPLEY, B.; MEZIANE, D. The balanced-growth hypothesis and the allometry of leaf and root biomass allocation. **Functional Ecology**, v. 16, n. 3, p. 326-331, 2002.
- SILVA, J. C. S. e ROCHA FILHO, G. A. Fisiologia da germinação de espécies dos Cerrados com potencial forrageiro. In: EMBRAPA/CPAC (ed.). **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1985-1987**. EMBRAPA, Brasília, pp. 33-36, 1991.
- SILVA, J.S.O.; HARIDASAN, M. Acúmulo de biomassa aérea e concentração de nutrientes em *Melinis minutiflora* P. Beauv. e gramíneas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 2, p. 337-344, 2007.
- SILVA, R.R.; COELHO, F.T.A.; ANJOS, M.A.A.; VAZ FILHO, V. Controle do capim-gordura nas áreas de recuperação ambiental da Mineração Corumbaense Reunida (MCR), Corumbá, MS. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 237-242, 2013.
- SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A. Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, v. 344, n. 6182, p. 363-364, 2014.
- SOUZA, J.O.JR.; CARMELLO, Q.A.C.; FARIA, J.C. Características químicas do lixiviado na fase de enraizamento de estacas de cacau em substratos adubados com fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1573-1581, 2008.
- STRASSBURG, B.B.N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A.E.; OLIVEIRA FILHO, F.J.V.; SCARAMUZZA, C.A. de M.; SCARANO, F.R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 4, p. 0099, 2017.
- TANNUS, J.L.S.; ASSIS, M.A. Composição de espécies vasculares de campo sujo e campo úmido em área de cerrado, Itirapina – SP, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v.27, n.3, p.489-506, 2004.
- O. VILAS BOAS; MAX, J.C.M.; NAKATA, H. Crescimento e sobrevivência das mudas de essências nativas produzidas em diferentes recipientes. In: O. VILAS BOAS, G. DURIGAN, (orgs.). **Pesquisas em Conservação e Recuperação Ambiental no Oeste Paulista: resultados da cooperação Brasil/ Japão**. Páginas & Letras Editora e Gráfica, São Paulo, p. 293-304, 2004.
- VEENENDAAL, E. M.; ERNST, W. H. O.; MODISE, G. S. Effect of seasonal rainfall pattern on seedling emergence and establishment of grasses in a savanna in south-eastern Botswana. **Journal of Arid Environments**, v. 32, n. 3, p. 305-317, 1996.

- VEENENDAAL, E.M.; MONNAAPULA, S.C.; GILIKA, T.; MAGOLE, I.L. Vesicular-arbuscular mycorrhizal infection of grass seedlings in a degraded semi-arid savanna in Botswana. **New phytologist**, v. 121, n. 3, p. 477-485, 1992.
- VELDMAN J.W.; OVERBECK G.E.; NEGREIROS, D.; MAHY, G.; LE STRADIC, S.; FERNANDES, G.W.; DURGIAN, G.; BUISSON, E.; PUTZ, F.E.; BOND, W.J. Where tree planting and forest expansion are bad for biodiversity and ecosystem services. **BioScience**, v. 65, n. 10, p. 1011-1018, 2015b.
- VELDMAN, J.W.; BUISSON, E.; DURIGAN, G.; FERNANDES, G.W.; LE STRADIC, S.; MAHY, G.; NEGREIROS, D.; OVERBECK, G.E.; VELDMAN, R.G.; ZALOUMIS, N.P.; PUTZ, F.E.; BOND, W.J. Toward an old-growth concept for grasslands, savannas, and woodlands. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 13, n. 3, p. 154-162, 2015a.
- VIANI, R. A.; RODRIGUES, R. R.; DAWSON, T. E.; OLIVEIRA, R. S. Savanna soil fertility limits growth but not survival of tropical forest tree seedlings. **Plant and soil**, v. 349, n. 1-2, p. 341-353, 2011.
- XIAO, B.; WANG, Q.; WU, J.; HUANG, C.; YU, D. Protective function of narrow grass hedges on soil and water loss on sloping croplands in Northern China. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 139, n. 4, p. 653-664, 2010.
- YOUNG, T. P.; STUBLE, K.L.; BALACHOWSKI, J.A.; WERNER, C.M. Using priority effects to manipulate competitive relationships in restoration. **Restoration Ecology**, v. 25, p. S114-S123, 2016.
- ZIMMERMANN, J.; HIGGINS, S. I.; GRIMMA, V.; HOFFMANN, J.; LINSTADTER, A. Grass mortality in semi-arid savanna: the role of fire, competition and self-shading. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 12, n. 1, p. 1-8, 2010.

Capítulo 2

Fertilização no substrato de produção de mudas da gramínea nativa do Cerrado *Schizachyrium* *sanguineum* (Retz.)

Resumo

A produção de mudas de plantas nativas é importante para a disponibilização de material para a restauração ecológica. Atualmente, a cadeia de produção para mudas de árvores está bem estabelecida e, em geral, a fertilização do substrato é essencial para obtenção mais rápida de mudas saudáveis e com alto potencial de crescimento após o plantio. Para atender à restauração de fisionomias não florestais, como campos e savanas do Cerrado, há a necessidade de desenvolver ou adaptar técnicas de produção de mudas para espécies não arbóreas. A produção de mudas de gramíneas nativas do Cerrado a partir de sementes pode ser uma alternativa. Porém, saber se as mudas respondem à adubação é um passo importante para a validação de técnicas de produção. Tivemos como objetivo neste estudo testar se o aumento na disponibilidade de nutrientes no substrato de produção de mudas leva ao aumento do crescimento da gramínea nativa *S. sanguineum*. Plantas emergidas em sementeiras com areia foram transplantadas para tubetes de 290 cm³ contendo substrato florestal com 0, 1, 3, 5 ou 7 kg por m³ de fertilizante de liberação lenta (FLC) com formulação N-P-K 15-09-12. As doses de FLC testadas são as usuais em viveiros florestais. Um tratamento adicional com solo de Cerrado não fertilizado também foi incluído. Avaliamos a sobrevivência, o crescimento em altura, o número de perfilhos, a relação entre a massa seca de raiz e da parte aérea e o conteúdo de macronutrientes foliares das mudas aos três meses após o transplântio. Os dados foram submetidos à análise de regressão polinomial para comparação das doses de FLC entre si e à análise de variância (ANOVA), para comparar as doses de FLC com o cultivo em solo de Cerrado não fertilizado. Houve elevada sobrevivência das mudas em todos os tratamentos. O solo de Cerrado proporciona maior crescimento das mudas que o substrato florestal não adubado. Porém, as mudas responderam positivamente à adição de FLC e as doses estimadas entre 4,7 e 6 kg.m⁻³ proporcionaram maior crescimento e concentração de nutrientes. Os resultados contrariam a generalização de que espécies nativas de savanas com solos pobres em nutrientes, como o Cerrado, não respondem à fertilização. Concluímos que a adubação com 5 kg de FLC por m³ de substrato florestal em mudas de *S. sanguineum* proporciona elevado crescimento em altura, número de perfilhos e maior produção de parte aérea em relação ao sistema radicular.

Palavras-chave: *Schizachyrium sanguineum*; viveiro; substrato florestal; fertilizantes de liberação controlada.

Introdução

Produzir mudas de espécies nativas é essencial para multiplicação das espécies para diversos fins, seja para exploração econômica de seus produtos como também para uso na restauração ecológica. No Brasil, viveiros comerciais que produzem mudas de espécies nativas concentram basicamente sua produção em arbustos e árvores (VIDAL et al., 2019), não havendo representatividade de espécies herbáceas de campos e savanas do Cerrado, por exemplo. Isso se torna um problema, uma vez que com a Lei de Proteção à Vegetação Nativa (BRASIL, 2012), existe a necessidade de restauração em 3,7 Mha de Cerrado (SOARES-FILHO et al., 2014) e o plantio de mudas é a técnica de restauração mais largamente utilizada neste domínio (BERTONI, 1992; MELO et al., 2004a; MELO et al., 2004b; FELFILI et al., 2005; SILVA e CÔRREA, 2008; VENTUROLI et al., 2013).

Para que o plantio de mudas visando à restauração não descaracterize as fisionomias abertas do Cerrado com o plantio adensado de árvores (VELDMAN et al., 2015), são necessários estudos que gerem conhecimento técnico-científico para produção de mudas de espécies não-arbóreas. A produção de mudas de árvores para restauração de florestas possui uma cadeia de produção bem definida (SCREMIN-DIAS et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2016) e o caminho mais barato e ágil seria adaptar as técnicas dominadas na produção de árvores para a produção de mudas de outras formas de vida vegetal, como para as gramíneas nativas, as quais compõem 84% da biomassa acima do solo do estrato herbáceo do Cerrado (LILIENTFEIN et al. 2001).

Na produção de mudas florestais, é comum o uso de fertilizantes, pois estes aceleram o crescimento, geram plantas bem nutridas e com atributos morfofisiológicos adequados para o plantio (JACOBS e LANDIS, 2009; ROSSA et al., 2014; GASPARIN et al., 2015). Entre os fertilizantes, existem os de liberação controlada, bastante utilizados em viveiros de mudas florestais.

Os fertilizantes de liberação controlada disponibilizam e mantêm constantes os níveis de macro e micronutrientes durante um período que pode variar de três a 18 meses, e isso depende da espessura da resina de cobertura do fertilizante (VALERI e CORRADINI, 2005; LANDIS e DUMROESE, 2009; JOSÉ et al., 2009). Essas características são favoráveis à produção de mudas, uma vez que há a disponibilização de nutrientes durante todo o processo produtivo, suprindo as demandas das plantas e ainda evitando lixiviação de nutrientes em casos de irrigação excessiva do substrato (OLIET et al. 1999; JOSÉ et al., 2009). Porém, o uso deste tipo de fertilizante gera custos mais altos para os viveiros, sendo necessária a adequação de doses para produção de mudas de forma específica, diminuindo perdas e maximizando investimentos (OLIET et al., 2004; CLARK e ZHENG, 2015).

É sabido que muitas espécies vegetais do Cerrado são adaptadas a solos pobres em nutrientes, com altas concentrações de alumínio e acidez (HARIDASAN, 2000; VIANI et al., 2014). No entanto, isso não determina que algumas espécies sejam incapazes de responder ao aumento na disponibilidade de nutrientes ou que tenham melhor desempenho em campo quando adubadas. Pouco se sabe sobre a resposta de ervas do Cerrado à adubação, porém sabe-se que a camada herbácea de pastagens naturais em Cerrado aumenta em biomassa e estoques de nutrientes quando melhorada a fertilidade do solo com calagem e adubação (HARIDASAN, 2000; SILVA e HARIDASAN, 2007). Outros estudos, avaliando fatores ecológicos, como mudanças climáticas e competição com espécies exóticas invasoras, também indicam resposta positiva à maior disponibilidade de nutrientes (ELLER e OLIVEIRA, 2016; FERREIRA, 2017).

Sabe-se, ainda, que gramíneas forrageiras respondem à adubação com macronutrientes, sendo esses fundamentais na produção de biomassa verde para pastagem animal (REZENDE et al., 2011; SILVEIRA et al., 2015; FARIA et al., 2015; DUPAS et

al., 2016; GALINDO et al., 2018). Portanto, o mesmo pode ser esperado em gramíneas nativas, uma vez que a disponibilização desses nutrientes atua nos processos de formação e desenvolvimento de folhas e raízes, fundamentais para o crescimento vegetal.

O nitrogênio (N) é o principal responsável pela produção de biomassa, porque é constituinte das proteínas e interfere diretamente no processo fotossintético (DUPAS et al., 2016). Além disso, pode ser usado como ferramenta estratégica para maximizar a produção em forrageiras, desde que associado a bons suprimentos de fósforo (P) e potássio (K), principalmente (SILVA e HARIDASAN, 2007; FARIA et al., 2015). O P afeta o desenvolvimento radicular e o perfilhamento das gramíneas (LIRA et al., 1994; CANTARUTTI et al., 2002; REZENDE et al., 2011). Já o K, responsável pelo controle osmótico das plantas, quando em quantidades adequadas, proporciona maior eficiência da fotossíntese e do uso da água, resultando em plantas com maior altura e, conseqüentemente, maior biomassa (RODRIGUES et al., 2008).

Com isso, fica evidente que a fertilização pode ser vantajosa na produção de mudas de gramíneas nativas do Cerrado. Essa prática possibilita a obtenção de mudas maiores e melhor nutridas em um menor tempo, com elevada produção de biomassa, do que quando produzidas sem adição de fertilizantes, o que pode tornar as mudas de gramíneas nativas melhores competidoras contra gramíneas exóticas invasoras (YOUNG et al., 2016) quando plantadas em áreas de restauração. Assim, neste estudo investigamos se o crescimento e os teores de macronutrientes acumulados na parte aérea das mudas da gramínea nativa do Cerrado *Schizachyrium sanguineum* (Retz.) Alston são beneficiados pelo aumento das doses de NPK via fertilização do substrato.

Material e métodos

Espécie e substratos para produção das mudas

A gramínea *S. sanguineum* foi selecionada por ocorrer em campos e savanas do Cerrado (TANNUS e ASSIS, 2004), por ser perene (CLAYTON et al., 2006), e por ter demonstrado potencial de produção em viveiro conforme verificado no primeiro capítulo desta dissertação. Além disso, o plantio de mudas dessa espécie já foi atestado como eficaz para restauração de áreas de Cerrado usadas para mineração (SILVA et al., 2013).

A sementeira foi realizada em bandejas plásticas de 43,5 x 29 x 6 cm, preenchidas com areia, e com perfurações no fundo para drenagem do excesso de água. Após a emergência, as plantas, com cerca de 3,4 cm de altura e um perfilho, foram transferidas para tubetes de polipropileno de 290 cm³ contendo os substratos definitivos (Figura 1). Para facilitar a transferência, o substrato das sementeiras foi umedecido e as plantas retiradas pelo colo, com o auxílio de um palito (OLIVEIRA et al., 2016).



Figura 1. Processo de transferência das plantas de *S. sanguineum* formadas em sementeiras para os recipientes finais de produção das mudas.

Os substratos das mudas são a fonte de variação deste estudo. Os tratamentos consistiram em substrato comercial composto de casca de pinus, vermiculita, carvão mineral, macro e micro nutrientes (Anexo 6) com adição de 1, 3, 5 e 7 kg de fertilizante de liberação controlada (FLC) Osmocote® por m³ de substrato, com formulação 15-09-12 (15% N: 8,4% NH₄-N e 6,6% NO₃-N; 9% P₂O₅;12% K₂O). As doses testadas são usuais em viveiros florestais (JOSÉ et al., 2009; BERGHETTI et al., 2016). Dois tratamentos adicionais foram considerados: um tratamento testemunha com substrato florestal sem adubação e um com solo de Cerrado não fertilizado. O solo de Cerrado foi coletado da camada de 0-20 cm na Estação Ecológica de Itirapina (Figura 2) e usado com o intuito de replicar uma condição de solo semelhante à encontrada nos locais de ocorrência natural da espécie estudada. O solo coletado é um neossolo quartzarênico (SANTOS et al., 2018), e foi submetido à análise química para determinação de nutrientes disponíveis e parâmetros de fertilidade (Anexo 6). Cada tratamento teve cinco repetições, e cada repetição foi composta por 10 plantas, perfazendo 300 mudas.



Figura 2. Coleta de solo da camada de 0-20 cm de Campo Cerrado na Estação Ecológica de Itirapina-SP.

A semeadura e o experimento de produção das mudas foram conduzidos em viveiro localizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos

(22°18'45''S; 47°23'4''O), em Araras – SP, Brasil. O viveiro é coberto com sombrite com retenção de 50% da intensidade luminosa. As mudas foram irrigadas diariamente por microaspersão. O experimento foi conduzido de julho de 2018 a janeiro de 2019. As médias mensais de temperatura e a umidade relativa do viveiro ao longo do período variaram entre 18,2 a 25°C e 57 e 85%, respectivamente (Anexo 7).

Coleta de dados: parâmetros morfológicos e nutrição das mudas

As mudas foram avaliadas quanto à sobrevivência, ao crescimento (altura, número de perfilhos e relação de massa seca entre raiz e parte aérea) e à nutrição da parte aérea. A sobrevivência foi calculada relacionando o número de mudas vivas ao final do experimento, três meses após a transferência para os recipientes finais, com a quantidade inicial de 50 mudas por tratamento.

Medimos a altura com fita métrica, esticando-a junto à planta, do colo até a ponta da maior folha. As medições foram realizadas após a transferência das mudas para os tubetes e mensalmente até o final do experimento. Com a altura inicial e final de cada indivíduo, calculamos a taxa de crescimento relativo (TCR) em altura das mudas, conforme descrito em Benincasa (2003): $(\ln H_2 - \ln H_1) / t$, em que H_1 e H_2 são as alturas nas avaliações inicial e final, respectivamente, e t o intervalo, em meses, entre as avaliações. Optamos em usar a TCR em altura como variável para medir o crescimento real das mudas, uma vez que no momento da repicagem apresentavam alturas diferentes. O número de perfilhos das mudas também foi avaliado mensalmente até o final do experimento, contando-os manualmente.

Ao final do experimento, usamos metade das mudas de cada tratamento, escolhidas aleatoriamente, tiveram suas raízes lavadas, separadas da parte aérea, e secas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C até atingir massa constante. Após secas, as

raízes e a parte aérea de cada muda foram pesadas, obtendo-se a massa de matéria seca e a razão entre raiz e parte aérea (R:PA) das mudas para cada tratamento. A concentração de macronutrientes primários (N, P, K) da parte aérea das mudas foi obtida por meio da análise química (SILVA, 2009), realizada pelo Laboratório de Química e Fertilidade da UFSCar.

Análises estatísticas

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado e os dados de TCR em altura, número de perfilhos, razão R:PA e concentração de macronutrientes (N, P e K) da parte aérea foram relacionados com as doses de FLC no substrato por análises de regressão polinomial ($\alpha = 0,05$). Para comparar as doses de FLC com o solo de Cerrado foi feita análise de variância (ANOVA) a 5% de significância e quando constatadas diferenças, os tratamentos foram comparados pelo teste *post hoc* de Tukey a 5% de significância. Além disso, dados de altura e do número de perfilhos das mudas em cada tratamento ao longo do tempo de avaliação foram submetidos a análise de regressão polinomial ($\alpha=0,05$).

Resultados

As mudas de *S. sanguineum* apresentaram 100% de sobrevivência em todos os tratamentos, exceto quando transferidas para solo de Cerrado, quando apresentaram sobrevivência de 98%. O crescimento das mudas respondeu positivamente ao aumento das doses de FLC (Figura 3 e 4). A TCR em altura e o número de perfilhos aumentaram com o aumento das doses de FLC até aproximadamente a dose de 5 kg.m⁻³ (Figuras 3A e B). A máxima TCR em altura atingiu 0,94 cm.cm⁻¹.mês⁻¹ e ocorreria com uma dose de 4,7 kg.m⁻³. O número máximo de perfilhos foi cerca 9,5, atingido com uma dose de FLC de 6 kg.m⁻³. A relação entre raiz e parte aérea diminuiu com o aumento das doses do fertilizante, havendo maior investimento em parte aérea que em raízes em mudas com maior disponibilidade de nutrientes (Figura 3C).

Mudas produzidas com solo do Cerrado apresentaram TCR em altura e número de perfilhos cerca de duas vezes maiores que as produzidas em substrato comercial não adubado (Tabela 1, Figura 4). Entretanto, quando produzidas em substrato comercial adubado, as mudas apresentaram maior crescimento do que quando em solo de Cerrado. A razão R:PA foi maior em mudas produzidas com substrato comercial não adubado, seguida por aquelas produzidas com solo de Cerrado. As mudas com substratos adubados apresentaram os maiores valores para a razão R:PA entre os tratamentos (Tabela 1).

A concentração de nutrientes na parte aérea das mudas foi influenciada pelas doses de FLC aplicadas nos substratos (Figura 5). A concentração de N foliar aumentou linearmente com o aumento das doses de adubo (Figura 5A). Já as concentrações de P e K apresentaram relação quadrática com as doses de FLC (Figura 5B e C) e máximas concentrações entre as doses de 3 e 5 kg.m⁻³ de FLC.

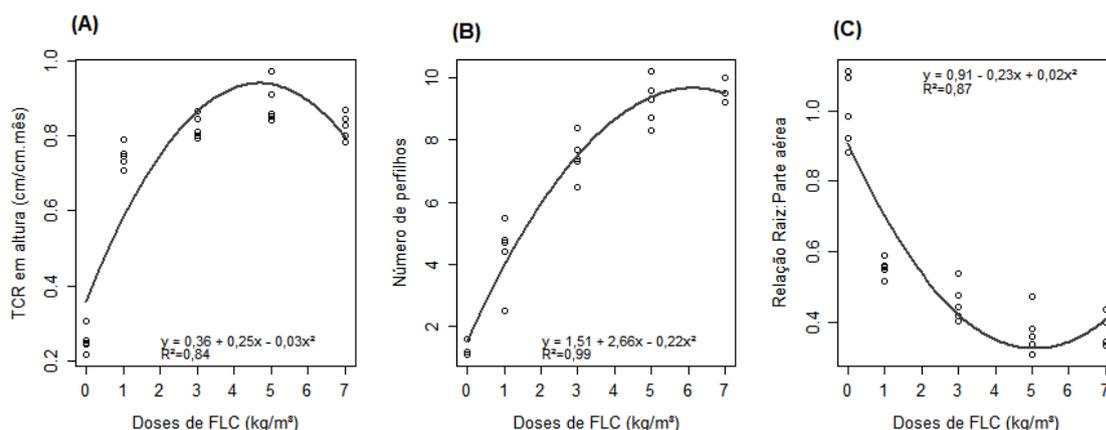


Figura 3. Taxa de crescimento relativo em altura (TCR, A), número de perfilhos e razão raiz:parte aérea de mudas da gramínea *Schizachyrium sanguineum* cultivadas em doses crescentes de fertilizante de liberação controlada (FLC) NPK 15-09-12. O modelo de regressão quadrática foi significativo para todos os parâmetros ($\alpha = 0,05$; Anexo 8).



Figura 4. Mudas de *Schizachyrium sanguineum* produzidas em diferentes substratos, três meses após a transferência para os tubetes. SC = solo de Cerrado; SF = substrato florestal; T1 = SF - 1 kg.m^{-3} de FLC; T3 = SF - 3 kg.m^{-3} de FLC; T5 = SF - 5 kg.m^{-3} de FLC; T7 = SF - 7 kg.m^{-3} de FLC.

Tabela 1. Médias (\pm erro padrão) de taxa de crescimento relativo em altura (TCR), número de perfilhos e relação de massa de matéria seca da raiz e parte aérea (R:PA) de mudas da gramínea *Schizachyrium sanguineum* cultivada em solo de Cerrado (SC) ou substrato florestal (SF) com diferentes doses de fertilizante de liberação controlada (FLC) NPK 15-09-12. Letras diferentes indicam diferenças pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Substrato	TCR em altura ($\text{cm.cm}^{-1}.\text{mês}^{-1}$)	Número de perfilhos	R:PA
SC	$0,45 \pm 0,02$ c	$2,6 \pm 0,19$ d	$0,82 \pm 0,04$ b
SF - 0 kg.m^{-3} de FLC	$0,25 \pm 0,01$ d	$1,24 \pm 0,07$ e	$0,99 \pm 0,04$ a
SF - 1 kg.m^{-3} de FLC	$0,75 \pm 0,01$ b	$4,38 \pm 0,37$ c	$0,55 \pm 0,02$ c
SF - 3 kg.m^{-3} de FLC	$0,82 \pm 0,01$ a	$7,46 \pm 0,33$ b	$0,46 \pm 0,02$ cd
SF - 5 kg.m^{-3} de FLC	$0,89 \pm 0,01$ a	$9,22 \pm 0,34$ a	$0,37 \pm 0,02$ d
SF - 7 kg.m^{-3} de FLC	$0,82 \pm 0,01$ a	$9,58 \pm 0,33$ a	$0,38 \pm 0,01$ d

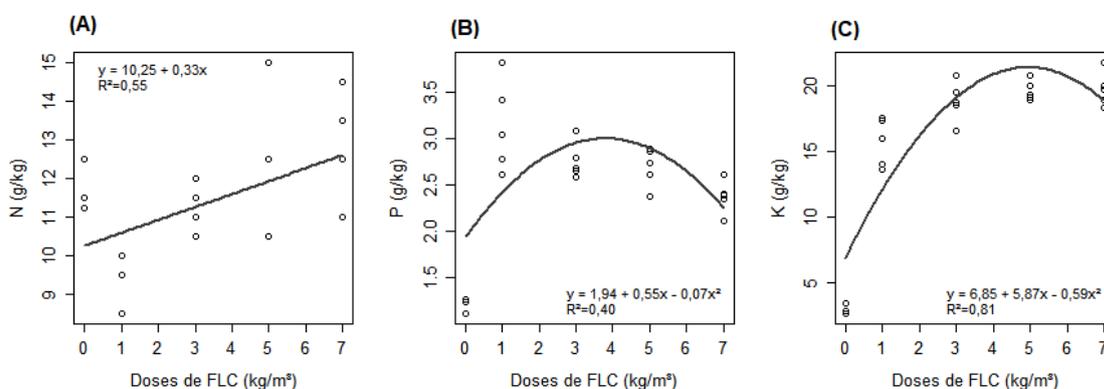


Figura 5. Concentração de nitrogênio (A), fósforo (B) e potássio (C) da parte aérea de mudas da gramínea *Schizachyrium sanguineum* em relação às doses crescentes de fertilizante de liberação controlada (FLC), NPK 15-09-12. Em A, o modelo de regressão linear foi significativo, em B e C o modelo quadrático foi significativo ($\alpha = 0,05$; Anexo 8).

No cultivo em solo de Cerrado, houve diferença significativa no acúmulo de N, P e K da parte aérea das mudas. Para N, destaca-se a diferença entre mudas produzidas com a dose de 7 kg.m^{-3} e aquela produzida com 1 kg.m^{-3} ou em solo de Cerrado (Tabela 2). A

concentração média de N da parte aérea das mudas entre os tratamentos variou de 9,5 a 12,8 g.kg⁻¹ (Tabela 2). As menores concentrações de P da parte aérea das mudas foram encontradas naquelas produzidas em substrato comercial sem adubação com FLC ou solo nativo. O mesmo foi observado para o acúmulo de K.

Tabela 2. Média (\pm erro padrão) de concentração de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na parte aérea de mudas da gramínea *Schizachyrium sanguineum* produzidas com solo de Cerrado (SC) ou substrato florestal (SF) com diferentes doses de fertilizante de liberação controlada (FLC) NPK 15-09-12. Letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Tratamento	N (g.kg⁻¹)	P (g.kg⁻¹)	K (g.kg⁻¹)
SC	10,3 \pm 0,49 b	0,1 \pm 0,02 d	1,3 \pm 1,47 c
SF - 0 kg.m ⁻³ de FLC	11,7 \pm 0,38 ab	1,2 \pm 0,10 c	2,9 \pm 1,48 c
SF - 1 kg.m ⁻³ de FLC	9,5 \pm 0,27 b	3,1 \pm 0,62 a	15,6 \pm 2,66 b
SF - 3 kg.m ⁻³ de FLC	11,4 \pm 0,29 ab	2,7 \pm 0,25 ab	18,8 \pm 3,45 a
SF - 5 kg.m ⁻³ de FLC	11,8 \pm 0,89 ab	2,7 \pm 0,15 ab	19,6 \pm 1,59 a
SF - 7 kg.m ⁻³ de FLC	12,8 \pm 0,58 a	2,4 \pm 0,16 b	19,7 \pm 3,01 a

A relação entre a altura das mudas e o tempo em viveiro foi significativa e quadrática para todos os tratamentos (Figura 6). Mudas produzidas com adição de FLC atingiram alturas superiores a 20 cm com três meses em viveiro, enquanto as sem adubação não passaram de 15 cm. Aos três meses, mudas produzidas em solo de Cerrado atingiram maior altura que quando em substrato comercial não adubado (Figura 6A e B). O ponto de máxima altura não foi atingido no período estudado em nenhum tratamento, evidenciando uma tendência de aumento ao longo do tempo.

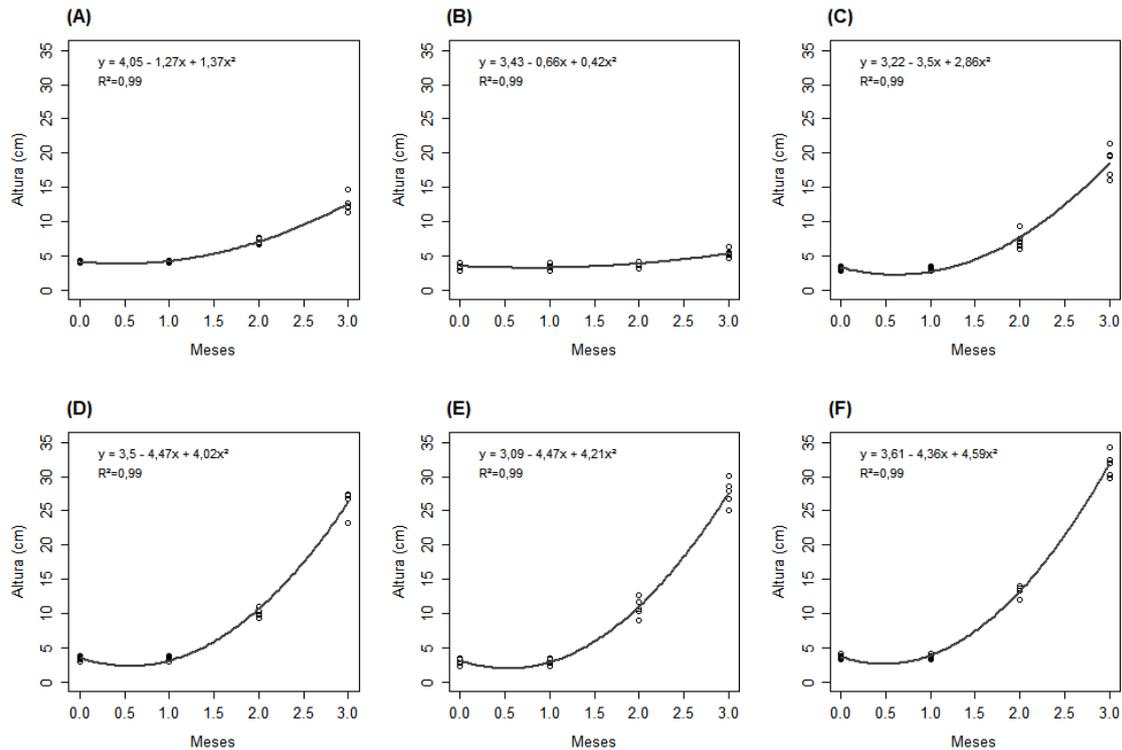


Figura 6. Altura das mudas de *S. sanguineum* em relação ao tempo de avaliação em viveiro, quando cultivada em solo de Cerrado (A) ou substrato florestal com 0, 1, 3, 5 ou 7 kg (respectivamente, B, C, D, E, F) de fertilizante de liberação controlada NPK 15-09-12 por m^3 de substrato. O modelo de regressão quadrática foi significativo para todas as relações ($\alpha = 0,05$; Anexo 9).

O número de perfilhos aumentou significativamente com o tempo de avaliação em todos os tratamentos (Figura 7). Mudanças com mais de cinco perfilhos foram observadas a partir do segundo mês nos tratamentos com 3, 5 ou $7 \text{ kg} \cdot m^{-3}$ de FLC (Figura 7D, E e F). Observamos relação linear em mudas que receberam doses de $1 \text{ kg} \cdot m^{-3}$ de FLC, o que mostra que essas tendem a aumentar o número de perfilhos ao longo do tempo. Talvez houvesse a necessidade de mais avaliações para se atingir uma relação quadrática neste caso, observada como padrão nos demais tratamentos.

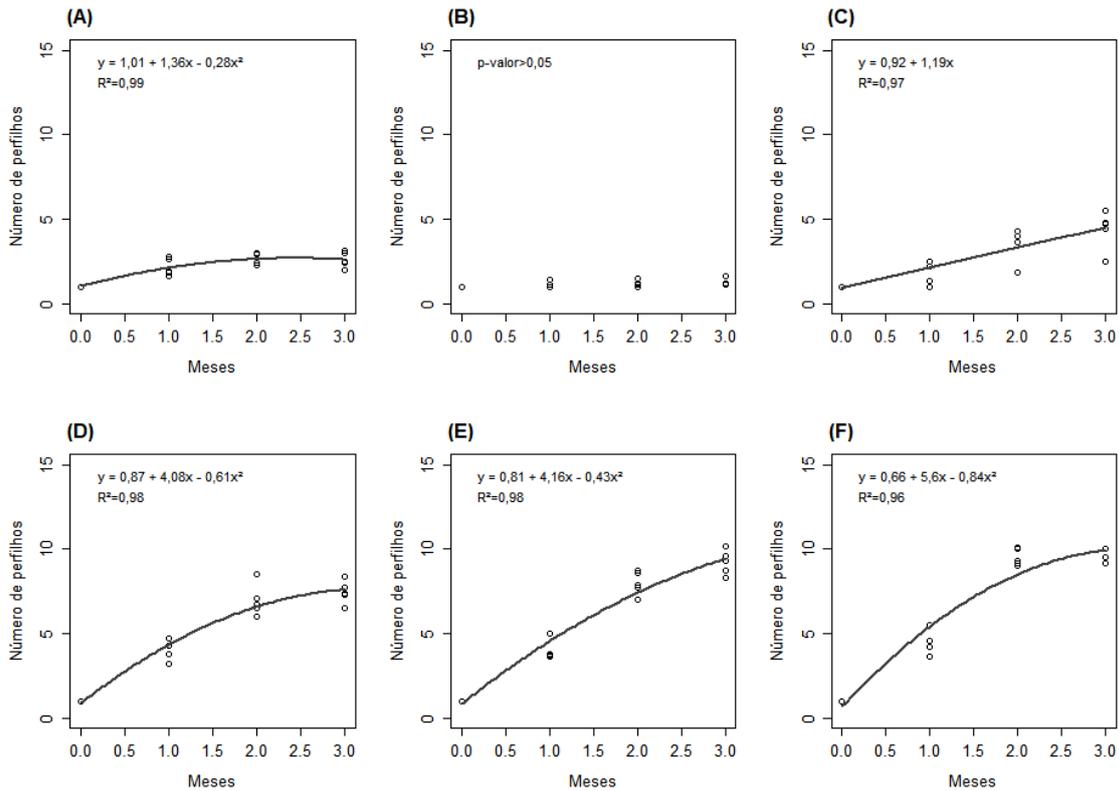


Figura 7. Número de perfilhos das mudas de *S. sanguineum* em relação ao tempo de avaliação em viveiro, quando cultivadas em solo de Cerrado (A) ou substrato florestal com 0, 1, 3, 5 ou 7 kg (respectivamente, B, C, D, E, F) de fertilizante de liberação controlada NPK 15-09-12 por m³ de substrato. Em B o modelo de regressão não foi significativo, em C o modelo de regressão linear foi significativo e em A, D, E e F o modelo de regressão quadrática foi significativo ($\alpha = 0,05$; Anexo 10).

Discussão

As mudas de *S. sanguineum* responderam ao aumento das doses de fertilizante no substrato florestal. Isso mostra que a prática de adubação utilizada na cadeia produtiva de mudas de espécies arbóreas (JOSÉ et al. 2009; BERGHETTI et al. 2016) pode ser utilizada para produzir mudas dessa espécie. A resposta positiva em altura e perfilhamento de gramíneas à adubação é comum para espécies exóticas cultivadas como pastagens (REZENDE et al. 2011; SILVEIRA et al., 2015; FARIA et al. 2015; DUPAS et al. 2016; GALINDO et al. 2018), mas também já foi atestada em gramíneas nativas do Cerrado (SILVA E HARIDASAN, 2007; ELLER e OLIVEIRA, 2016; FERREIRA, 2017). Isso contraria a generalização de que plantas do Cerrado, por serem adaptadas a solos pobres em nutrientes e com altas concentrações de alumínio e acidez (HARIDASAN, 2000; VIANI et al. 2011), não respondem ao aumento da disponibilidade de nutrientes (VILLELA e HARIDASAN, 1994; VIANI et al. 2011; BUSTAMANTE et al. 2012).

Dos parâmetros avaliados, a TCR em altura e o número de perfilhos responderam positivamente ao aumento das doses de FLC, e a relação R:PA tendeu a diminuir com o aumento das doses. A razão R:PA mostrou comportamento esperado, visto que as mudas investiram mais em raízes quando cultivadas em menores disponibilidades de nutrientes (SHIPLEY e MEZIANI, 2002; MAŠKOVÁ e HERBEN, 2018).

O baixo desenvolvimento em altura e número de perfilhos das mudas em substrato florestal não adubado e em solo de Cerrado pode estar associado à limitação de algum dos elementos essenciais (TAIZ e ZEIGER, 2009). Com a análise química dos substratos, observa-se que o substrato florestal não adubado possui mais nutrientes disponíveis que o solo de Cerrado (Tabela 1), mas ao compararmos mudas de ambos, aquelas produzidas com solo de Cerrado cresceram mais. Possivelmente, a presença de agentes biológicos,

tal como fungos micorrízicos arbusculares no solo de Cerrado, tenha influenciado positivamente o crescimento das mudas, pois esses agentes aumentam a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas (SMITH e SMITH, 2011; EMAM, 2016) ou mesmo é um reflexo de suas adaptações morfofisiológicas para crescimento em seu solo nativo (VIANI et al., 2011; RÚA et al., 2016). Além disso, os nutrientes disponíveis no substrato comercial sem adubação podem ter sido lixiviados com a irrigação diária utilizada no viveiro, evidenciando a vantagem da utilização de FLC, o qual libera os nutrientes gradualmente e os mantém a níveis constantes para que as plantas os absorvam ao longo do período de cultivo (OLIET et al., 1999). Quando o substrato florestal recebeu adubação adicional com FLC, constatou-se mudas mais desenvolvidas do que no cultivo em solo de Cerrado. Isso é positivo para a produção de mudas dessa espécie em larga escala, pois será possível utilizar um substrato mais comum e amplamente disponível, sem necessidade de coleta de solo em áreas conservadas de Cerrado.

A adequação do substrato florestal com a adição de FLC é adequada para a obtenção de mudas de *S. sanguineum* com parâmetros morfológicos maiores. Porém isso foi observado até as doses de 4,7 a 6 kg de FLC por m³ de substrato florestal. A partir dessas doses houve estabilização ou redução no crescimento das mudas. Dessa forma, com este estudo foi possível definir as classes de adubação com FLC (NPK 15-09-12) que causam deficiência (< 4,7), a classe tóxica (> 6) e a adequada para a espécie estudada (CLARK e ZHENG, 2015).

A concentração de N, P e K na parte aérea das mudas também mostrou relação significativa com o aumento das doses de FLC no substrato, ainda que pouco preditivas para N e P ($R^2 = 0,55$ e $0,40$, respectivamente) e com boa predição para K ($R^2 = 0,81$). A concentração de N variou entre 9,5 a 12,8 g.kg⁻¹ para todos os tratamentos. Apesar das diferenças significativas (Tabela 3), esta variação pode ser considerada baixa, tendo em

vista as quantidades de N aportadas pelas doses de FLC. Assim, pode-se inferir que este nutriente não esteja limitando o crescimento nos tratamentos testados. Por outro lado, P e K apresentaram relação quadrática com as doses de FLC com picos de concentração dentro da classe observada para o máximo crescimento em altura e perfilhamento das mudas. A resposta das mudas à adubação pode ter se potencializado quando os nutrientes, principalmente os limitantes (P e K), foram utilizados em associação.

Com as doses de FLC entre 4,7 e 6 kg.m⁻³, os nutrientes foram absorvidos de forma a manifestar suas funções em máxima eficiência. O N, como componente de grande importância para as proteínas, pôde atuar maximizando a produção de matéria seca e aumentando o vigor de rebrota das mudas, como também reportado em gramíneas forrageiras (DUPAS et al., 2016; GALINDO et al., 2017; GALINDO et al. 2018). O P, desempenhou de forma efetiva seu papel esperado no desenvolvimento do sistema radicular e no perfilhamento de gramíneas (LIRA et al., 1994; CANTARUTTI et al., 2002; REZENDE et al., 2011), e o maior acúmulo de K pode ter proporcionado maior eficiência da fotossíntese e do uso da água, resultando em plantas com maior altura (RODRIGUES et al., 2008).

Para produção de mudas de espécies arbóreas, o acúmulo de nutrientes é importante por estar relacionado a atributos que contribuem para seu estabelecimento em campo (DEL CAMPO et al., 2010). Diversos estudos relacionam positivamente mudas com ótimas reservas de nutrientes com o crescimento da parte aérea após o plantio, isso porque ocorre a remobilização dos nutrientes de tecidos mais velhos para tecidos em desenvolvimento, principalmente quando em solos pobres em nutrientes (GROSSNICKLE e MACDONALD, 2018). Essa colocação pode ser importante para a produção de mudas de espécies nativas do Cerrado para restauração ecológica, pois muitas áreas de Cerrado a serem restauradas têm solos pobres em nutrientes. Por outro

lado, a resposta positiva de *S. sanguineum* à adubação demonstra que essa espécie poderia ser utilizada para a restauração do estrato herbáceo em áreas degradadas de Cerrado que possuem solos com fertilidade construída, como as áreas agrícolas do centro-oeste brasileiro.

Além dos atributos morfológicos e do estado nutricional das mudas, o tempo para que as mudas atingissem altos parâmetros de crescimento também foi influenciado pela fertilização. Mudanças produzidas com maiores doses de FLC no substrato atingiram maior altura e número de perfilhos mais rapidamente que aquelas produzidas sem adubação. Isso demonstra que o uso de FLC acelera a produção das mudas da gramínea estudada. O mesmo já foi constatado na produção de mudas de espécies arbóreas (GASPARIN et al., 2015). No entanto, para mudas de gramíneas, é necessário ainda investigar quais são os parâmetros que definem uma muda de qualidade para um bom desempenho em campo, e se esses parâmetros estariam em níveis adequados em mudas produzidas em menor tempo. Se o objetivo é produzir mudas para se restaurar campos e savanas do Cerrado, os parâmetros de qualidade devem considerar o potencial competitivo das mudas com gramíneas exóticas invasoras.

A relação quadrática significativa nos leva a um máximo número de perfilhos em mudas com solo de Cerrado ou adubadas com 3, 5 e 7 kg de FLC por m³ de substrato florestal, e este número tende a diminuir ao longo do tempo. Por outro lado, a altura, em todos os tratamentos tendeu a aumentar no período avaliado. Essa diminuição no número de perfilhos pode ser consequência do aumento em altura das mudas, as quais, podem auto sombreadar-se ou sombreadar umas às outras nas bancadas de viveiros, provocando a supressão do crescimento, iniciação e sobrevivência dos perfilhos (ZIMMERMANN et al., 2010). Dessa forma, atenção ao espaçamento entre as mudas em viveiro é necessária quando o objetivo é produzir mudas com mais perfilhos. Ressalta-se, no entanto, a

importância de estudos futuros avaliarem quais os atributos das mudas devem ser priorizados quando estas são empregadas para fins específicos.

Com este estudo, foi possível estabelecer parâmetros para produção de mudas da espécie *S. sanguineum* e ainda elucidar como elas respondem a doses crescentes de FLC. Considerando a fertilização para obtenção de máximo crescimento das mudas aos três meses, recomendamos a dose de 5 kg de FLC por m³ de substrato florestal para o cultivo da espécie. Apesar da necessidade de estudos que confirmem o desempenho dessas mudas quando plantadas em fisionomias abertas degradadas, as informações resultantes deste estudo podem orientar a produção de mudas e o uso de fertilização para outras gramíneas nativas do Cerrado. Estudos como este contribuem para aumentar a diversidade de mudas disponíveis nos viveiros e, conseqüentemente, para a restauração do estrato herbáceo do Cerrado brasileiro e de outros campos e savanas que demandam restauração.

Conclusões

Mudas da gramínea *Schizachyrium sanguineum* (Retz.) tiveram crescimento positivamente relacionado à adição de FLC no substrato de produção. O solo de Cerrado proporciona maior crescimento das mudas que o substrato florestal não adubado. Porém, mudas produzidas com adição de FLC se sobrepõem àquelas cultivadas em solo de Cerrado, principalmente entre as doses de 4,7 e 6 kg.m³. Neste mesmo intervalo, a concentração de nutrientes na parte aérea das mudas foi maior que nas demais doses. Pode-se recomendar a dose de 5 kg de FLC (Osmocote 15-09-12) por m³ de substrato florestal para produção de mudas de *S. sanguineum* com maiores TCR em altura, número de perfilhos, e conseqüentemente com maior produção de parte aérea em relação ao sistema radicular, em um período de três meses.

Referências bibliográficas

- BENINCASA, M.M.P. Análise de crescimento de plantas. Jaboticabal: FUNEP, 41p. 2003.
- BERGHETTI, Á. L. P., ARAUJO, M. M., DA SILVA TONETTO, T., AIMI, S. C., NAVROSKI, M. C., TURCHETTO, F., & CLAUDINO, T. Growth of *Cordia trichotoma* seedlings in different sizes of recipients and doses of fertilizer. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 28, p. 2450-2455, 2016.
- BERTONI, J.E.A. Reflorestamento com essências nativas e a regeneração natural do cerrado. **Revista do Instituto Florestal, São Paulo**, v. 4, n. 3, p. 706-709, 1992.
- BRASIL. **Lei nº 12.727, de 17-X-2012**. Diário Oficial da União, Brasília, p.1, 2012.
- BUSTAMANTE, M.M.C.; DE BRITO, D.Q.; KOZOVITS, A.R.; LUEDEMANN, G.; MELLO, T.R.B.; PINTO, A.S.; MUNHOZ, C.B.R.; TAKAHASHI, F.S.C. Effects of nutrient additions on plant biomass and diversity of the herbaceous-subshrub layer of a Brazilian savanna (Cerrado). **Plant Ecology**, v. 213, n. 5, p. 795-808, 2012.
- CANTARUTTI, R.B.; TARRÉ, R.M.; MACEDO, R.; CADISCH, G.; RESENDE, C.P.; PEREIRA, J.M.; BRAGA, J.M.; GOMEDE, J.A.; FERREIRA, E.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. The effect of grazing intensity and the presence of a forage legume on nitrogen dynamics in *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystem**, v.64, n.11, p.257-271, 2002.
- CLARK, M.J.; ZHENG, Y. Use of species-specific controlled-release fertilizer rates to manage growth and quality of container nursery crops. **HortTechnology**, v. 25, n. 3, p. 370-379, 2015.
- CLAYTON, W.D., VORONTSOVA, M.S., HARMAN, K.T. and WILLIAMSON, H. (2006). World Grass Species: Descriptions, Identification, and Information Retrieval. Disponível em: <<http://www.kew.org/data/grasses-db.html>> Acesso: 2017.
- DEL CAMPO, A.D.; NAVARRO, R.M.; CEACERO, C.J. Seedling quality and field performance of commercial stocklots of containerized holm oak (*Quercus ilex*) in Mediterranean Spain: an approach for establishing a quality standard. **New Forests**, v. 39, n. 1, p. 19, 2010.
- DUPAS, E.; BUZETTI, S.; RABÊLO, F.H.S.; SARTE, A.L.; CHENG, N.C.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; GALINDO, F.S.; DINALLI, R.P. GAZOLA, R.N. Nitrogen recovery, use efficiency, dry matter yield, and chemical composition of palisade grass fertilized with nitrogen sources in the Cerrado biome. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 9, p. 1330, 2016.
- DURIGAN, G.; BAITELLO, J.B.; FRANCO, G.A.D.C.; SIQUEIRA, M.F. **Plantas do cerrado paulista**. Imagens de uma paisagem ameaçada. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica, 475p. 2004.
- ELLER, C.B.; OLIVEIRA, R.S. Effects of nitrogen availability on the competitive interactions between an invasive and a native grass from Brazilian cerrado. **Plant and Soil**, v. 410, n. 1-2, p. 63-72, 2016.

EMAM, T. Local soil, but not commercial AMF inoculum, increases native and non-native grass growth at a mine restoration site. **Restoration Ecology**, v. 24, n. 1, p. 35-44, 2016.

FARIA, Á. J. G. DE; DE FREITAS, G. A.; GEORGETTI, A. C. P.; JÚNIOR, J. M. F.; DA SILVA, M. C. A.; DA SILVA, R. R. Adubação nitrogenada e potássica na produtividade do capim Mombaça sobre adubação fosfatada. **Journal of bioenergy and food science**, v. 2, n. 3, 2015.

FELFILI, J.M.; FAGG, C.W.; PINTO, J.R.R. Modelo nativas do bioma: stepping stones na formação de corredores ecológicos pela recuperação de áreas degradadas no cerrado. In: M.B. Arruda (org.). **Gestão Integrada de Ecossistemas Aplicada à Corredores Ecológicos**. IBAMA, Brasília, p.187-209, 2005.

FERREIRA, A.M. **Efeito da deposição de nitrogênio sobre o metabolismo, o incremento de biomassa e a riqueza de espécies em uma comunidade de gramíneas do cerrado**. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Instituto de Biologia, Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais, 41p., 2017.

GALINDO, F. S.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; DUPAS, E.; LUDKIEWICZ, M. G. Z. Acúmulo de matéria seca e nutrientes no capim-mombaça em função do manejo da adubação nitrogenada. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 5, n. 3, p. 1-9, 2018.

GALINDO, F.S.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; DUPAS, E.; LUDKIEWICZ, M.G.Z. Application of different nitrogen doses to increase nitrogen efficiency in mombasa guinegrass (*Panicum maximum*'cv. mombasa) at dry and rainy seasons. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 12, p. 1657, 2017.

GROSSNICKLE, S.C.; MACDONALD, J.E. Why seedlings grow: influence of plant attributes. **New Forests**, v. 49, n. 1, p. 1-34, 2018.

HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, n. 1, p. 54-64, 2000.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; DE OLIVEIRA, S. L. Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolia* Raddi). **Agrarian**, v. 2, n. 3, p. 73-86, 2009.

LANDIS T.D.; DUMROESE, R.K. Using polymer-coated controlled release fertilizers in the nursery and after outplanting. **Forest Nursery Notes**. United States, Department of Agriculture, Forest Service pp. 5-11. 2009.

LILIENFEIN, J.; WILCKE, W.; ZIMMERMANN, R.; GERSTBERGER, P.; ARAÚJO, G. M.; ZECH, W. Nutrient storage in soil and biomass of native Brazilian Cerrado. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 164, n. 5, p. 487-495, 2001.

LIRA, M.A.; FARIAS, I.; FERNANDES, A.P.M. Estabilidade de resposta do capim Braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) sob níveis crescentes de nitrogênio e fósforo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.8, p.1151-1157, 1994.

MAŠKOVÁ, T.; HERBEN, T.. Root: shoot ratio in developing seedlings: How seedlings change their allocation in response to seed mass and ambient nutrient supply. **Ecology and Evolution**, v. 8, n. 14, p. 7143-7150, 2018.

MELO, A.C.G., BOAS, O.V. & NAKATA, H. Teste de espécies arbóreas para plantio em área de Cerrado. In: O. VILAS BOAS, G. DURIGAN (orgs.). **Pesquisas em Conservação e Recuperação Ambiental no Oeste Paulista**: resultados da cooperação Brasil/ Japão. Páginas & Letras Editora e Gráfica, São Paulo, pp.305-314. 2004a.

MELO, A.C.G., DURIGAN, G. & KAWABATA, M. Crescimento e Sobrevivência de Espécies Arbóreas Plantadas em Áreas de Cerrado. In: O. VILAS BOAS, G. DURIGAN, (orgs.). **Pesquisas em Conservação e Recuperação Ambiental no Oeste Paulista**: resultados da cooperação Brasil/ Japão. Páginas & Letras Editora e Gráfica, São Paulo, pp. 447-456. 2004b.

OLIET, J.; PLANELLES, R.; SEGURA, M. L.; ARTERO, F.; JACOBS, D. F. Mineral nutrition and growth of containerized *Pinus halepensis* seedlings under controlled-release fertilizer. **Scientia Horticulturae**, v. 103, n. 1, p. 113-129, 2004.

OLIET, J.; SEGURA, M.L.; DOMINGUEZ, F.M.; BLANCO, E.; SERRADA, R.; ARIAS, M.L.; ARTERO, F. Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de planta forestal de vivero: efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* Mill. **Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales**, v.8, n.1, 1999.

JACOBS, D. F.; LANDIS, T. D. Fertilization. In: DUMROESE, R. K.; LUNA, T.; LANDIS, T. D. (Ed.). **Nursery manual for native plants**: a guide for tribal nurseries. Agriculture Handbook 730. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. p. 201-215, v. 1, 2009.

OLIVEIRA, M. C.; OGATA, R. S.; ANDRADE, G. A. de; SANTOS, D. da S.; SOUZA, R. M.; GUIMARAES, T. G.; SILVA JÚNIOR, M. C. da; PEREIRA, D. J. de S.; RIBEIRO, J. F. **Manual de viveiro e produção de mudas: espécies arbóreas nativas do Cerrado**. Brasília, DF: Universidade de Brasília: Rede de Sementes do Cerrado, 124p., 2016.

REZENDE, A.V.; LIMA, J.F.; RABELO, C.H.S.; RABELO, F.H.S.; NOGUEIRA, D.A.; CARVALHO, M.; FARIA JUNIOR, D.C.N.A.; BARBOSA, L.A. Características morfofisiológicas da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em resposta à adubação fosfatada. **Agrarian**, v. 4, n. 14, p. 335-343, 2011.

RODRIGUES, R.C.; MOURÃO, G.B.; BRENNECKE, K.; LUZ, P.H.C.; HERLING, V.R. Produção de massa seca, relação folha/colmo e alguns índices de crescimento do *Brachiaria Brizantha* cv. Xáraes cultivado com a combinação de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.3, p.394-400, 2008.

ROSSA, Ü.B.; ANGELO, A.C.; BOGNOLA, I.A.; WESTPHALEN, D.J.; MILANI, J. E. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 85-96, 2014.

GASPARIN, E.; ARAUJO, M. M.; SALDANHA, C. W.; TOLFO, C. V. Controlled release fertilizer and container volumes in the production of *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan seedlings. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 37, n. 4, p. 473-481, 2015.

RÚA, M. A.; ANTONINKA, A.; ANTUNES, P. M.; CHAUDHARY, V. B.; GEHRING, C.; LAMIT, L. J.; PICULELL, B.J.; BEVER, J.D.; ZABINSKI, C.;

- MEADOW, J.F.; LAJEUNESSE, M.J.; MILLIGAN, B.G.; KARST, J.; HOEKSEMA, J.D. Home-field advantage? Evidence of local adaptation among plants, soil, and arbuscular mycorrhizal fungi through meta-analysis. **BMC Evolutionary Biology**, v. 16, n. 1, p. 122, 2016.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa, 5. ed. rev. e ampl., 2018.
- SCREMIN-DIAS, E.; KALIFE, C.; MENEGUCCI, Z.R.H.; DE SOUZA, P.R. **Produção de mudas de espécies florestais nativas: manual**. Campo Grande, MS: Ed. UFMS, 59 p., 2006.
- SHIPLEY, B.; MEZIANE, D. The balanced-growth hypothesis and the allometry of leaf and root biomass allocation. **Functional Ecology**, v. 16, n. 3, p. 326-331, 2002.
- SILVA, F. C. S. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.
- SILVA, J.S.O.; HARIDASAN, M. Acúmulo de biomassa aérea e concentração de nutrientes em *Melinis minutiflora* P. Beauv. e gramíneas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 2, p. 337-344, 2007.
- SILVA, L.D.C.R.; CORRÊA, R.S. Sobrevivência e crescimento de seis espécies arbóreas submetidas a quatro tratamentos em área minerada no cerrado. **Revista Árvore**, v. 32, n. 4, 2008.
- SILVA, R.R.; COELHO, F.T.A.; ANJOS, M.A.A.; VAZ FILHO, V. Controle do capim-gordura nas áreas de recuperação ambiental da Mineração Corumbaense Reunida (MCR), Corumbá, MS. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 237-242, 2013.
- SILVEIRA, M.L.; VENDRAMINI, J.M.B.; SELLERS, B.; MONTEIRO, F.A.; ARTUR, A.G.; DUPAS, E. Bahiagrass response and N loss from selected N fertilizer sources. **Grass and Forage Science**, v. 70, n. 1, p. 154-160, 2015.
- SMITH, S.E.; SMITH, F. Andrew. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. **Annual Review of Plant Biology**, v. 62, p. 227-250, 2011.
- SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A. Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, v. 344, n. 6182, p. 363-364, 2014.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed. Ed. 4, 848p. 2009.
- TANNUS, J.L.S.; ASSIS, M.A. Composição de espécies vasculares de campo sujo e campo úmido em área de cerrado, Itirapina – SP, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v.27, n.3, p.489-506, 2004.
- VELDMAN J.W.; OVERBECK G.E.; NEGREIROS, D.; MAHY, G.; LE STRADIC, S.; FERNANDES, G.W.; DURGIAN, G.; BUISSON, E.; PUTZ, F.E.; BOND, W.J. Where tree planting and forest expansion are bad for biodiversity and ecosystem services. **BioScience**, v. 65, n. 10, p. 1011-1018, 2015.

VENTUROLI, F., VENTUROLI, S., BORGES, J.D., CASTRO, D.S., DE MELO SOUZA, D., MONTEIRO, M.M., & CALIL, F.N. Incremento de espécies arbóreas em plantio de recuperação de área degradada em solo de cerrado no Distrito Federal. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 1, p. 143-151, 2013.

VIANI, R. A.; RODRIGUES, R. R.; DAWSON, T. E.; LAMBERS, H.; OLIVEIRA, R. S. Soil pH accounts for differences in species distribution and leaf nutrient concentrations of Brazilian woodland savannah and seasonally dry forest species. **Perspectives in plant ecology, evolution and systematics**, v. 16, n. 2, p. 64-74, 2014.

VIANI, R. A.; RODRIGUES, R. R.; DAWSON, T. E.; OLIVEIRA, R. S. Savanna soil fertility limits growth but not survival of tropical forest tree seedlings. **Plant and soil**, v. 349, n. 1-2, p. 341-353, 2011.

VIDAL, C.Y.; NAVES, R.P.; VIANI, R.A.G.; RODRIGUES, R.R. The restoration species pool for restoring tropical landscapes: assessment of the largest Brazilian supply chain. **bioRxiv the preprint server for biology**. Disponível em: <<https://www.biorxiv.org/content/10.1101/568873v1>>. Publicado em março de 2019.

VILLELA, D. M. V.; HARIDASAN, M. Response of the ground layer community of a cerrado vegetation in central Brazil to liming and irrigation. **Plant and Soil**, v. 163, n. 1, p. 25-31, 1994.

YOUNG, T. P.; STUBLE, K.L.; BALACHOWSKI, J.A.; WERNER, C.M. Using priority effects to manipulate competitive relationships in restoration. **Restoration Ecology**, v. 25, p. S114-S123, 2016.

ZIMMERMANN, J.; HIGGINS, S. I.; GRIMMA, V.; HOFFMANN, J.; LINSTADTER, A. Grass mortality in semi-arid savanna: the role of fire, competition and self-shading. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 12, n. 1, p. 1-8, 2010.

VALERI, S. V.; CORRADINI, L. Fertilização em viveiros para produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In: Gonçalves JLM, Benedetti V (Ed.). **Nutrição e fertilização Florestal**. Piracicaba, p. 167-190, 2005.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou a possibilidade de se produzir mudas de duas espécies gramíneas nativas do Cerrado, utilizando-se técnicas de produção de mudas de árvores. Foi verificado que a técnica de sementeira indireta pode ser aplicada para as espécies *S. sanguineum* e *L. chrysothrix*, as quais mostraram-se bem sucedidas na técnica de repicagem de sementeiras para os recipientes finais. Além disso, essa técnica é vantajosa principalmente quando se aduba o substrato final com fertilizante de liberação controlada (FLC), visto que a planta transferida, com sistema radicular desenvolvido, já inicia a absorção dos nutrientes ali liberados, reduzindo perdas por lixiviação.

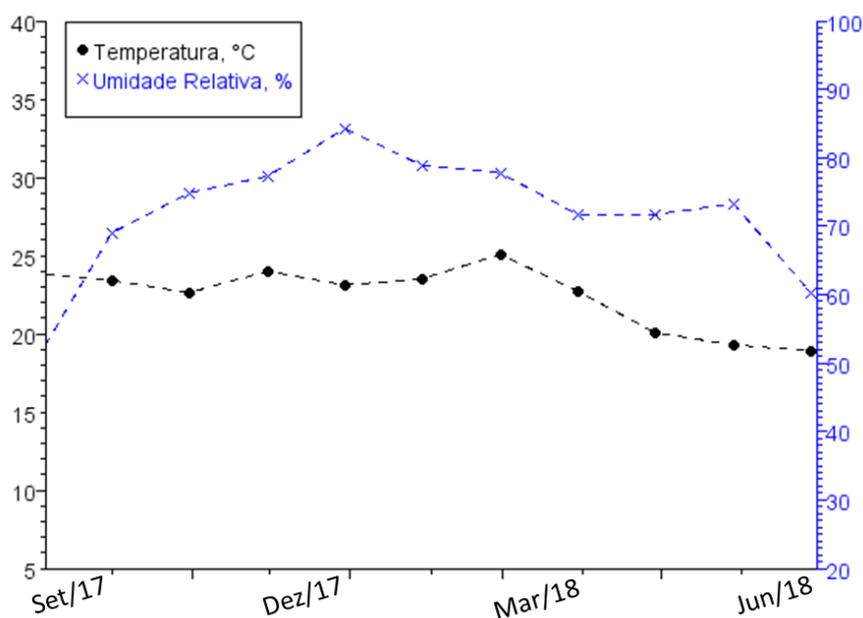
Constatamos que os recipientes de maior volume (tubetes de 290 cm³) permitem maior crescimento em altura e maior perfilhamento das gramíneas nativas *S. sanguineum* e *L. chrysothrix*, principalmente quando em substratos contendo solo de Cerrado. O solo de Cerrado mostrou-se vantajoso em relação ao substrato florestal tanto para o crescimento das mudas como para a emergência das espécies em sementeiras, principalmente para *L. chrysothrix*. Entretanto, há restrições para sua utilização em viveiros comerciais visando produção em larga escala, pois trata-se de um substrato pesado e, portanto, de manuseio mais difícil, e também por sua coleta potencialmente causar impactos em áreas conservadas de Cerrado.

Com o segundo capítulo, foi demonstrado que o substrato florestal quando fertilizado torna-se boa alternativa para produção de mudas de *S. sanguineum*, pois as mudas apresentaram crescimento superior em substrato florestal adubado com FLC (NPK 15-09-12) que quando em solo de Cerrado. Ainda, foi possível determinar uma classe de adubação com FLC que proporciona o máximo desenvolvimento das mudas de *S. sanguineum* nas condições estudadas, sendo essa de 4,7 a 6 kg de FLC por m³ de substrato florestal. Por essas razões, a adubação é uma prática recomendada para produção de

mudas de *S. sanguineum* em substrato florestal, quando se quer obter mudas maiores e mais rapidamente do que quando em substrato não adubado.

Embora este tenha sido realizado com apenas duas espécies de gramíneas, pode-se considerá-lo pioneiro em traçar novos rumos para a cadeia produtiva de mudas de espécies nativas em viveiros. Os resultados mostraram, para as duas espécies, que é possível produzir mudas de espécies herbáceas nativas a partir de sementes em viveiro, aumentando a diversidade de espécies disponíveis para restauração de ecossistemas, incluindo espécies não-arbóreas. Por fim, os resultados abrem uma nova perspectiva, ainda carente de investigações, para a restauração do Cerrado brasileiro e de outras formações campestres e savânicas, que seria o plantio de mudas de gramíneas visando o recobrimento do solo. O primeiro passo, relacionado à viabilidade de produção de mudas de algumas espécies foi dado com este estudo e os resultados são promissores para produção de mudas em larga escala. Em próximas etapas, sugerem-se testes com outras espécies e com o plantio das mudas produzidas em áreas de Cerrado a serem restauradas, especialmente buscando a supremacia das gramíneas nativas sobre as exóticas invasoras.

ANEXOS



Anexo 1. Temperatura e umidade relativa registradas ao longo do experimento no viveiro em que as mudas de gramíneas nativas do Cerrado foram produzidas, em Araras-SP.

Anexo 2. Caracterização química dos substratos utilizados na produção de mudas de gramíneas. SC = solo de Cerrado; SF = substrato florestal; SC+SF = mistura de ambos (1:1 v/v).

Substrato	P Resina	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
	mg/dm ³	g/dm ³	CaCl ₂	mmol/dm ³							%
SC	14	16	4,0	0,6	13	4	36	6,1	17,6	53,6	33
SC + SF	14	63	5,2	3,0	50	27	25	2,6	80,0	105,0	76,2
SF	9	176	5,1	7,5	124	64	38	3,5	195,5	233,5	83,7

M.O. = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases.

Anexo 3. Número de mudas de *Loudetiopsis chrysothrix* e *Schizachyrium sanguineum* em diferentes sementeiras, recipientes e substratos (SC = solo do cerrado; SF = substrato florestal) submetidas à análise de massa de matéria seca.

Recipiente	Substrato	<i>S. sanguineum</i>		<i>L. chrysothrix</i>	
		Sementeira			
		Areia	Solo do Cerrado	Areia	Solo do Cerrado
30 cm ³	SC	4	5	5	5
30 cm ³	SC+SF	5	4	4	5
30 cm ³	SF	5	5	5	5
55 cm ³	SC	5	5	5	5
55 cm ³	SC+SF	5	5	5	5
55 cm ³	SF	5	5	5	5
290 cm ³	SC	5	5	5	5
290 cm ³	SC+SF	5	5	5	5
290 cm ³	SF	5	5	5	5

Anexo 4. Interação entre as espécies (*Loudetiopsis chrysothrix* e *Schizachyrium sanguineum*) e substratos das sementeiras (areia ou solo nativo) para as variáveis tempo médio de emergência (TME) e percentuais de emergência máximo (E_{MÁX}) e no TME (E_{TME}), de acordo com o valor de p da análise de variância (ANOVA) à 5% de significância.

Interação	TME	E _{TME}	E _{MÁX}
Espécie	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Substrato da sementeira (SS)	0,39	< 0,0001	< 0,0001
Espécie * SS	0,32	< 0,0001	< 0,0001

Anexo 5. Interação entre os substratos das sementeiras, recipientes e substratos definitivos para a taxa de crescimento relativo (TCR) em altura, o número de perfilhos e a relação raiz e parte aérea (R:PA), de acordo com o valor p da análise de variância (ANOVA) à 5% de significância.

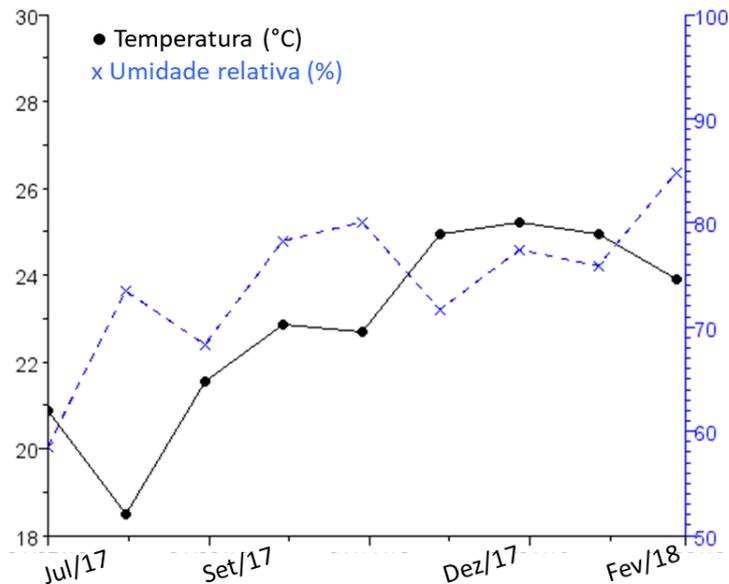
Fator de variação	<i>Loudetiopsis chrysothrix</i>			<i>Schizachyrium sanguineum</i>		
	TCR em altura	Nº de perfilhos ¹	R:PA	TCR em altura	Nº de perfilhos ¹	R:PA
Substrato da sementeira (SS)	0,0003	0,02	0,0003	0,52	0,53	0,1
Recipiente (R)	< 0,0001	< 0,0001	0,001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Substrato definitivo (SD)	< 0,0001	< 0,0001	0,49	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
SS*R	0,19	0,79	0,35	0,0002*	0,6	0,93
SS*SD	0,03*	0,004*	0,04*	0,32	< 0,0001*	0,17
R*SD	0,0001*	< 0,0001*	0,13	0,02*	< 0,0001*	0,0004*
SS*R*SD	0,08	0,48	0,84	0,06	0,09	0,27

¹ Dados transformados em raiz quadrada. *Interações significativas analisadas.

Anexo 6. Caracterização química dos substratos utilizados para a produção de mudas de *Schizachyrium sanguineum*. SC = solo do Cerrado; SF = substrato florestal.

Substrato	P Resina	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
	mg/dm ³	g/dm ³	CaCl ₂	mmol/dm ³						%	
SC	14	16	4,0	0,6	13	4	36	6,1	17,6	53,6	33
SF	9	176	5,1	7,5	124	64	38	3,5	195,5	233,5	83,7

M.O. = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases.



Anexo 7. Média mensal de temperatura (°C) e umidade relativa (%) no viveiro durante o período de produção das mudas de *Schizachyrium sanguineum* (julho de 2017 a fevereiro de 2018).

Anexo 8. Resumo das análises de regressão polinomial para a taxa de crescimento relativo (TCR) em altura, número de perfilhos, relação entre raiz e parte aérea, e concentração de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na parte aérea das mudas de *Schizachyrium sanguineum* em relação às doses de fertilizante de liberação controlada (FLC) NPK 15-09-12 por m³ de substrato.

Relação	p-valor (ANOVA)	Equação	R ²
TCR em altura x doses de FLC	< 0,0001	$0,36 + 0,25x - 0,03x^2$	0,84
Nº de perfilhos x doses de FLC	< 0,0001	$1,51 + 2,66x - 0,22x^2$	0,99
R:PA x doses de FLC	< 0,0001	$0,90 - 0,23x + 0,02x^2$	0,87
N x doses de FLC	0,0040	$10,25 + 0,33x$	0,55
P x doses de FLC	< 0,0001	$1,94 + 0,55x - 0,07x^2$	0,40
K x doses de FLC	< 0,0001	$6,85 + 5,87x - 0,59x^2$	0,81

Anexo 9. Resumo das análises de regressão polinomial para altura das mudas em relação ao tempo de produção em viveiro para os tratamentos com solo de Cerrado (SC) e com substrato florestal (SF) sem ou com adição de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC) NPK 15-09-12 por m³ de substrato.

Relação	p-valor (ANOVA)	Equação	R²
SC	< 0,0001	$4,06 - 1,27x + 1,37x^2$	0,99
SF - 0 kg.m ⁻³ de FLC	< 0,0001	$3,43 - 0,66x + 0,42x^2$	0,97
SF - 1 kg.m ⁻³ de FLC	< 0,0001	$3,22 - 3,51x + 2,87x^2$	0,99
SF - 3 kg.m ⁻³ de FLC	< 0,0001	$3,50 - 4,48x + 4,02x^2$	0,99
SF - 5 kg.m ⁻³ de FLC	< 0,0001	$3,09 - 4,47x + 4,22x^2$	0,99
SF - 7 kg.m ⁻³ de FLC	< 0,0001	$3,60 - 4,36x + 4,59x^2$	0,99

Anexo 10. Resumo das análises de regressão polinomial para o número de perfilhos das mudas em relação ao tempo de produção em viveiro para os tratamentos com solo de Cerrado (SC) e com substrato florestal (SF) sem ou com adição de doses de fertilizante de liberação controlada (FLC) NPK 15-09-12 por m³ de substrato.

Relação	p-valor (ANOVA)	Equação	R²
SC	0,0052	$1,01 + 1,36x - 0,28x^2$	0,99
SF - 0 kg.m ⁻³ de FLC	0,1944	-	-
SF - 1 kg.m ⁻³ de FLC	< 0,0001	$0,92 + 1,19x$	0,97
SF - 3 kg.m ⁻³ de FLC	0,0006	$0,87 + 4,08x - 0,61x^2$	0,98
SF - 5 kg.m ⁻³ de FLC	0,0050	$0,80 + 4,15x - 0,43x^2$	0,98
SF - 7 kg.m ⁻³ de FLC	< 0,0001	$0,66 + 5,60x - 0,84x^2$	0,96