



Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Programa de Pós-Graduação em Botânica



BRUNA RIBEIRO RANGEL

EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO EM *SCHIZACHYRIUM SANGUINEUM* (CAPIM-ROXO), UMA GRAMÍNEA NATIVA DO CERRADO

BRASÍLIA
2026

BRUNA RIBEIRO RANGEL

EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO EM *SCHIZACHYRIUM SANGUINEUM* (CAPIM-ROXO), UMA GRAMÍNEA NATIVA DO CERRADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica do Departamento de Botânica do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília para obtenção do título de Mestre em Botânica

Orientador: Dr. Augusto César Franco

Brasília

2026

Autorizo a reprodução total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Assinatura: _____ Data: ____/____/____

Biblioteca Central da UnB (BCE)

Rangel, Bruna Ribeiro

Efeitos do déficit hídrico em *Schizachyrium sanguineum* (capim-roxo), uma gramínea nativa do Cerrado / Bruna Ribeiro Rangel - Brasília, 2026.

91 p.

Dissertação (Mestrado em Botânica) - Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília

Orientador: Dr. Augusto César Franco

1. Cerrado; Déficit hídrico; Ecofisiologia; Resiliência; *Schizachyrium sanguineum*. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Bruna Ribeiro Rangel

Título: Efeitos do déficit hídrico em *Schizachyrium sanguineum* (capim-roxo), uma gramínea nativa do Cerrado.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica do Departamento de Botânica do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília para obtenção do título de Mestre em Botânica

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Professor Dr. **AUGUSTO CÉSAR FRANCO**

(Orientador/Presidente da banca)

DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA/IB

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB

Professor Dr. **MARCELO LATTARULO CAMPOS**

(Membro titular/externo)

DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA E ECOLOGIA/IB

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO - UFMT

Professora Dra. **HELOÍSA SINATORA MIRANDA**

(Membro titular)

DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA/IB

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB

Professor Dra. **CÁSSIA BEATRIZ RODRIGUES MUNHOZ**

(Membro suplente)

DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA/IB

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB

Dedico

ao meu padrinho Haroldo Ferraz da Nóbrega (in memoriam) e minha madrinha Evanice Rangel da Nóbrega (in memoriam), grandes incentivadores dos estudos, exemplos na descoberta dos livros e do prazer da leitura e pesquisa, e à minha mãe Sheila Ribeiro, que nunca deixou de acreditar em mim nem por um segundo.

Passo a missão aos futuros cientistas que irão consultar este trabalho, que eles possam sempre se lembrar que ninguém nasce sabendo.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder entusiasmo.”

Winston Churchill

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo apoio constante. Em especial, a meus pais Sheila Ribeiro e Evacil Rangel, a meus irmãos Diego Rangel, Eduarda Kawaguti, que estão comigo constantemente.

Ao meu orientador Dr. Augusto César Franco, pela paciência.

Aos professores, Dra. Aline Lopes, Dra. Cássia Munhoz, Dra. Cristiane Ferreira, Dra. Heloísa Miranda, Dr. Eduardo Barbosa, Dr. Ivar César de Vasconcelos, Dr. Lúcio Figueiredo, Dr. Marcelo Claro, Dra. Sueli Gomes por acompanharem de perto todo esse processo e me auxiliarem sempre que precisava.

Ao meu professor amigo do coração, Dr. Marcelo Lattarulo Campos, que me introduziu no mundo da botânica, me ensinou a plantar a minha primeira semente de tomate, me acompanhou e esteve comigo em momentos muito difíceis desse processo, mas que também me ensinou a continuar a orquestra.

Aos meus colegas de profissão, MSc. Adalgisa Chaib, MSc. Bárbara Guedes, MSc. Bárbara Pacheco, MSc. Babeky N'debi, MSc. Elson Calazans, MSc. Guilherme Coca, MSc. Mariana Aragão, MSc. Raiane Beú, MSc. Simone Miranda, MSc. Tayara Colins, MSc. Thiago Moreira, pelas palavras amigas em momentos difíceis.

Aos meus amigos e às minhas amigas, por me fazerem enxergar que eu era capaz disso e um pouco mais.

Aos meus psicólogos, Altair, Bruna, Carolina, Ruane e aos meus psiquiatras Diogo, Kadja, Rafael, Caroline... vocês sabem tudo o que fizeram por mim. Obrigada por tanto!

Aos técnicos do Departamento de Botânica da UnB, pelo auxílio nas dependências dos laboratórios.

Às agências de fomento, CNPq, FAP-DF e CAPES que financiaram a pesquisa, com recursos e com a bolsa de estudos.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	13
LISTA DE EQUAÇÕES	14
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. A seca e suas implicações: Estratégias de Resiliência	15
1.2. A Família Poaceae e a Tolerância à Sazonalidade Hídrica	16
1.3. Cerrado Brasileiro e Sazonalidade Hídrica	23
1.4. Espécie Estudada: <i>Schizachyrium sanguineum</i>	25
2. HIPÓTESE	27
3. OBJETIVOS	27
3.1. Objetivo Geral	27
3.2. Objetivos Específicos	27
4. MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1. Local de Coleta e Quebra de Dormência das Sementes	28
4.2. Germinação e Emergência de Plântulas	29
4.3. Transplante de Plântulas	30
4.4. Imposição do Estresse Hídrico	30
4.5. Análises Laboratoriais	33
4.6. Análise Estatística	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1. Germinação e Emergência de Plântulas	40
5.2. Crescimento em Altura	42
5.3. Produção de Folhas Verdes	44
5.4. Perfilhamento	47
5.5. Interação: Crescimento Vegetativo e Déficit Hídrico	49
5.6. Arquitetura do Sistema Radicular	51
5.7. Carboidratos Não-Estruturais	59
5.8. Acúmulo e Distribuição de Biomassa	62
5.9. Modelo Ecofisiológico de Tolerância à Seca em <i>Schizachyrium sanguineum</i>	65
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
7. REFRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
APÊNDICE 1	86
APÊNDICE 2	87
APÊNDICE 3	89

RESUMO

O Cerrado brasileiro apresenta forte sazonalidade hídrica, impondo severas restrições ao crescimento vegetal e selecionando espécies com elevada plasticidade ecofisiológica. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do déficit hídrico prolongado sobre o crescimento, a alocação de biomassa e o metabolismo de carboidratos em *Schizachyrium sanguineum* (capim-roxo), uma gramínea perene nativa do Cerrado, visando compreender seus mecanismos de tolerância à seca. O experimento foi conduzido em condições semi-controladas em casa de vegetação. Foi adotado um delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos: controle (irrigação contínua) por 12 meses e déficit hídrico, no qual as plantas foram expostas a seis meses de irrigação, seguidos de 4 meses (120 dias) de suspensão da irrigação, e um período de reidratação de dois meses. Foram avaliados parâmetros morfológicos (altura, número de folhas e perfilhos), biomassa seca da parte aérea e das raízes, arquitetura radicular e teores de açúcares solúveis totais e amido ao longo de 12 meses. O déficit hídrico reduziu significativamente o crescimento vegetativo, com diminuição da elongação caular, da produção de folhas e perfilhos, além de intensificação da senescência foliar. Em contraste, observou-se aumento relativo da biomassa radicular, acompanhado por alterações da área da superfície radicular indicando priorização do sistema subterrâneo. Metabolicamente, plantas sob estresse apresentaram redução dos açúcares solúveis totais nas raízes, concomitante ao acúmulo de amido, sugerindo conversão de reservas de curto prazo em estoque de longo prazo. Após a reidratação, *S. sanguineum* demonstrou elevada capacidade de recuperação, com retomada do crescimento e reorganização funcional do sistema radicular. Os resultados indicam que a espécie adota uma estratégia integrada de tolerância à seca, baseada na supressão do crescimento aéreo, redistribuição de biomassa, ajuste metabólico e proteção dos meristemas. Essas características conferem alta resiliência à espécie e reforçam seu potencial para uso em programas de restauração ecológica e como modelo funcional para estudos de adaptação de gramíneas a ambientes sujeitos à intensificação do estresse hídrico.

Palavras-chave: Cerrado; Déficit hídrico; Ecofisiologia; Resiliência; *Schizachyrium sanguineum*.

ABSTRACT

The Brazilian Cerrado exhibits strong water seasonality, imposing severe constraints on plant growth and selecting species with high ecophysiological plasticity. This study aimed to evaluate the effects of prolonged water deficit on growth, biomass allocation, and carbohydrate metabolism in *Schizachyrium sanguineum* (purple grass), a perennial grass species native to the Cerrado, in order to understand its drought tolerance mechanisms. The experiment was conducted under semi-controlled greenhouse conditions using a completely randomized design with two treatments: control (continuous irrigation for 12 months), and water deficit treatment. In the latter, plants were subjected to six months of irrigation, followed by four months (120 days) of irrigation suspension, and a two-month rehydration period. Morphological parameters (height, number of leaves, and tillers), shoot and root dry biomass, root architecture, and total soluble sugars and starch contents were evaluated over 12 months. Water deficit significantly reduced vegetative growth, with decreases in stem elongation, leaf production, and tillering, as well as increased leaf senescence. In contrast, relative root biomass increased, accompanied by changes in root surface area, indicating prioritization of the root system. Metabolically, stressed plants showed reduction of total soluble sugars in roots, concomitant with starch accumulation, suggesting conversion of short-term reserves into long-term storage. After rehydration, *S. sanguineum* demonstrated high recovery capacity, with resumed growth and functional reorganization of the root system. The results indicate that the species adopts an integrated drought tolerance strategy based on suppression of shoot growth, biomass redistribution, metabolic adjustment, and meristem protection. These characteristics confer high resilience to the species and reinforce its potential for use in ecological restoration programs and as a functional model for studies on grass adaptation to environments subject to increasing water stress.

Keywords: Cerrado; Water deficit; Ecophysiology; Resilience; *Schizachyrium sanguineum*.

Lista de Figuras

- Figura 1.** Mudanças sazonais (perenidade) no crescimento de gramíneas adaptadas (linha contínua) e não adaptadas (linha tracejada) aos estresses ambientais: (A) Investimento em biomassa de acordo com os estágios de desenvolvimento; (B) Estágios de desenvolvimento. Os meses do ano são mostrados como uma única letra, começando com abril (Adaptado de Sarath *et al.* 2014).....19
- Figura 2.** *Schizachyrium sanguineum*: (A) Hábito de crescimento; (B) Inflorescência e espículas; (C) Semente; (D) Lígula, bainha e lâmina. Adaptado de Peterson *et al.* (2018).....26
- Figura 3.** Localização do local de coletas das sementes de *S. sanguineum*.....28
- Figura 4.** Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) experimental de dois tratamentos, sem e com estresse hídrico (seca pela suspensão da irrigação) conduzido durante doze meses, (janeiro a dezembro de 2019), em indivíduos de *S. sanguineum*. 32
- Figura 5.** Representação esquemática da área máxima projetada no solo pelo sistema radicular de *Schizachyrium sanguineum*. A circunferência de raio r corresponde ao comprimento máximo da raiz ($C_{\text{máx}}$), assumindo expansão radial simétrica a partir da base da planta.....35
- Figura 6.** Crescimento em altura de *S. sanguineum* ao longo de 12 meses, submetidos a um tratamento de déficit hídrico por um período de 4 meses. Letras maiúsculas comparam meses dentro do mesmo tratamento. Mesma letra = não diferem; letras diferentes = diferem (Tukey, $p \leq 0,05$). Letras minúsculas comparam Controle vs. Seca dentro do mesmo mês (não entre meses). Mesma letra = não diferem; letras diferentes = diferem (Tukey, $p \leq 0,05$). As letras do Controle e da Seca são independentes. As barras indicam o erro padrão da média.....43
- Figura 7.** Número de folhas verdes de *S. sanguineum* ao longo de 12 meses, submetidos a um tratamento de déficit hídrico por um período de 4 meses. Letras maiúsculas comparam meses dentro do mesmo tratamento. Mesma letra = não diferem; letras diferentes = diferem (Tukey, $p \leq 0,05$). Letras minúsculas comparam Controle vs. Seca dentro do mesmo mês (não entre meses). Mesma letra = não diferem; letras diferentes = diferem (Tukey, $p \leq 0,05$). As letras do Controle e da Seca são independentes. As barras indicam o erro padrão da média.....45
- Figura 8.** Número de perfilhos de *S. sanguineum* ao longo de 12 meses, submetidos a um tratamento de déficit hídrico por um período de 4 meses. Letras maiúsculas comparam meses dentro do mesmo tratamento. Mesma letra = não diferem; letras diferentes = diferem (Tukey, $p \leq 0,05$). Letras minúsculas comparam Controle vs. Seca dentro do mesmo mês (não entre meses). Mesma letra = não diferem; letras diferentes = diferem (Tukey, $p \leq 0,05$). As letras do Controle e da Seca são independentes. As barras indicam o erro padrão da média.....48
- Figura 9.** Comprimento máximo da raiz (cm) ao longo do tempo em indivíduos de *S. sanguineum* submetidos ao déficit hídrico. As barras indicam o erro padrão da média. Não houve diferenças significativas entre os grupos.....52

Figura 10. Diâmetro da raiz (mm) em indivíduos de <i>S. sanguineum</i> submetidos ao déficit hídrico. As barras indicam o erro padrão da média. Não houve diferenças significativas entre os grupos.....	53
Figura 11. Área de superfície radicular (cm ²) em indivíduos de <i>S. sanguineum</i> submetidos ao déficit hídrico. Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas (teste t, p < 0,05). As barras indicam o erro padrão da média.....	54
Figura 12. Extensão total do sistema radicular (cm) em indivíduos de <i>S. sanguineum</i> submetidos ao déficit hídrico. Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas (teste t, p < 0,05; p < 0,0005). As barras indicam o erro padrão da média.....	55
Figura 13. Volume máximo de solo ocupado (m ³) em indivíduos de <i>S. sanguineum</i> submetidos ao déficit hídrico. As barras indicam o erro padrão da média. (Não houve diferenças significativas entre os grupos.).....	56
Figura 14. Área máxima projetada no solo (m ²) em indivíduos de <i>S. sanguineum</i> submetidos ao déficit hídrico. As barras indicam o erro padrão da média. (Não houve diferenças significativas entre os grupos.).....	57
Figura 15. Indivíduos de <i>Schizachyrium sanguineum</i> cultivados em casa de vegetação com 12 meses de idade submetidos ao regime hídrico constante (controle; à esquerda) e submetidos ao regime de estresse hídrico (à direita).....	58
Figura 16. Distribuição dos valores em função de tempo de Açúcares Solúveis Totais (AST) e Amido da parte aérea (folhas) e das raízes observados em indivíduos de <i>S. sanguineum</i> submetidos a tratamento de déficit hídrico. Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas (Teste t, *: p<0,05; **: p<0,005; ***: p<0,0005). As barras indicam o erro padrão da média.....	61
Figura 17. Desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular de <i>Schizachyrium sanguineum</i> aos 2, 4 e 6 meses de idade, sob condições de irrigação adequada. Observa-se o crescimento progressivo da parte aérea (perfilhos e folhas) e a expansão do sistema radicular ao longo do tempo.....	62
Figura 18. Biomassa Seca da Parte Aérea (BSPA) e das Raízes (BSR) ao longo do tempo, em indivíduos de <i>S. sanguineum</i> submetidos ao déficit hídrico. Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas (Teste t, *: p<0,05; **: p<0,005; ***: p<0,0005). As barras indicam o erro padrão da média.....	63
Figura 19. Razão entre o acúmulo de Biomassa Seca Raiz (BSR) e Biomassa Seca Parte Aérea (BSPA) e observados em indivíduos de <i>S. sanguineum</i> submetidos aos tratamentos Controle e de Déficit Hídrico (Seca). Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas (Teste t, *: p<0,05; **: p<0,005; ***: p<0,0005). As barras indicam o erro padrão da média.....	64
Figura 20. Modelo ecofisiológico de tolerância à seca em <i>Schizachyrium sanguineum</i> que sintetiza as respostas morfofisiológicas ao déficit hídrico. Fonte: Elaboração própria, com base em Taiz <i>et al.</i> (2017).....	67

Lista de Tabelas

Tabela 1. Hábitos de crescimento de gramíneas forrageiras. Adaptado de Gupta; Biswas; Sudhakar. (2016).....	17
Tabela 2. Exemplos de mecanismos de tolerância ao déficit hídrico (seca) identificados em gramíneas (Adaptado de Toulotte <i>et al.</i> 2022)	18
Tabela 3. Redução da produtividade vegetal (que se refere ao total de biomassa produzida em determinado tempo e espaço) de diferentes espécies em diferentes estágios de crescimento em função do estresse hídrico (seca).....	22
Tabela 4. Germinação média e tempo médio de emergência de sementes de <i>S. sanguineum</i> obtidos neste e em outros estudos.....	41
Tabela 5. Resultados da ANOVA Tipo III para os efeitos do déficit hídrico (D), do tempo (T) e de sua interação (D×T) sobre as variáveis de crescimento de <i>Schizachyrium sanguineum</i> . D*T (interação); g.l. (graus de liberdade).....	50

Lista de Equações

Equação 1. Capacidade de Campo do solo (CC), em porcentagem (%) de volume de solo utilizado.....	29
Equação 2. Porcentagem de germinação (G%), em que N = número de sementes germinadas; e A = número total de sementes colocadas para germinar (Labouriau & Valadares, 1976)	29
Equação 3. Tempo Médio de Emergência (TME) em que n_i = número de sementes germinadas num intervalo de tempo; e t_i = intervalo de tempo de germinação (Labouriau, 1983)	29
Equação 4. Extensão total das raízes	34
Equação 5: Área máxima projetada de superfície do solo	34
Equação 6: Volume máximo de solo ocupado (modelo hemisférico).	35
Equação 7. Área de superfície radicular	36
Equação 8. Relação entre a biomassa da parte aérea e do sistema radicular.....	37

1. INTRODUÇÃO

1.1. A Seca e suas Implicações: Estratégias de Resiliência

Dentre todos os fatores que limitam a produtividade das plantas no planeta, poucos são tão impactantes como o estresse por limitação de água. A seca impacta a capacidade de crescimento das plantas e sua produtividade, reduzindo, por consequência, a produção de alimentos e de matéria vegetal em geral. Em casos extremos, a seca pode levar a guerras, conflitos político-econômicos, eventos de migração forçada, devastação de culturas agrícolas ou de criações animais (Spinoni *et al.*, 2019).

A seca está intimamente ligada às variações climáticas, e essas variam em função das pressões naturais, como a temperatura, a umidade, a pressão atmosférica, e antrópicas (Nascimento & Novais, 2020). As pressões naturais também variam, espacial e temporalmente, em função dos fatores geográficos: latitude, altitude, maritimidade, continentalidade e vegetação. A circulação e a dinâmica atmosféricas também influenciam o clima e conferem ao ar uma constante movimentação (massas de ar). Nascimento e Novais (2020) afirmam que a seca é entendida como um fenômeno natural influenciado por atividades humanas, que tipifica o clima e impacta a vegetação de forma geral. A intensificação das ações antrópicas tem provocado eventos climáticos severos, como enchentes e secas rigorosas de frequência e imprevisibilidade crescentes, que aceleram a devastação da biodiversidade (Moraes *et al.*, 2016; IPCC, 2023; Harvey *et al.*, 2023; Montras-Janer *et al.*, 2024).

Do ponto de vista socioeconômico, os impactos da seca se tornaram grandes desafios para a população e para a segurança alimentar por reduzir a produtividade vegetal. Nesse contexto, otimizar o desempenho de culturas agrícolas sob estresse hídrico é uma prioridade estratégica de políticas públicas e de elevado interesse econômico. Um caminho promissor é explorar a vasta diversidade genética expressa por plantas silvestres nativas de ambientes expostos a períodos de seca, denominadas por Ford-Lloyd *et al.* (2011) de *Crop Wild Relatives* (CWR). Ao longo de sua evolução, essas espécies passaram por pressões seletivas que favoreceram adaptações à limitação hídrica, garantindo sua sobrevivência e persistência neste tipo de ambiente. Os autores ressaltam, ainda, a importância crítica desses parentes silvestres para o melhoramento genético vegetal, alertando para seu estado de

conservação precário. Uma vez que grande parte dessas espécies estão ameaçadas de extinção, a preservação e a conservação das espécies nativas e seus ambientes naturais torna-se imperativa para a vida humana no planeta.

Portanto, compreender os mecanismos de resiliência ao estresse abiótico em espécies vegetais se torna essencial para garantir, de um ponto de vista ecológico, a preservação da biodiversidade e, de um ponto de vista socioeconômico, a segurança alimentar em um futuro próximo.

1.2. A Família Poaceae e a Tolerância à Sazonalidade Hídrica

Dentre todas as famílias botânicas, poucas são tão importantes econômica e ecologicamente como Poaceae. Comumente referidas como gramíneas, estima-se que aproximadamente 23% da superfície emersa do planeta é coberta por integrantes desta família, a qual possui ainda vários representantes de extrema importância para a estrutura alimentar global, tais como arroz (*Oryza sativa* L.), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) e trigo (*Triticum aestivum* L.), (Toulotte *et al.*, 2022).

No Cerrado as Poaceae constituem a família mais diversa do estrato herbáceo, podendo alcançar cerca de um quarto do total de espécies nessas formações do Brasil Central (Filgueiras *et al.*, 1998). Em levantamento realizado em uma Área de Relevante Interesse Ecológico no Riacho Fundo, no Distrito Federal, que inclui fisionomias como Campo Limpo, Campo Sujo, Campo de Murundus e Campo Cerrado, foram identificadas 107 espécies de gramíneas, sendo 82 nativas e 25 exóticas (Rodrigues-da-Silva & Filgueiras, 2003), o que evidencia a invasão de gramíneas exóticas como um fator de pressão sobre a biodiversidade nativa.

O sucesso ecológico dessa família é reflexo de diferentes adaptações morfofisiológicas que garantem a sobrevivência e a persistência dessas plantas mesmo em ambientes extremos como regiões salinizadas, em altitudes superiores a 5.000 metros, em solos nutricionalmente pobres e em regiões desérticas expostas a longos períodos de seca (Gupta; Biswas; Sudhakar, 2016).

A arquitetura das gramíneas é baseada em uma unidade modular repetitiva chamada fitômero, que consiste em um nó, um entrenó, uma folha e uma gema. O crescimento ocorre pelo alongamento do colmo (haste). Novas hastes, denominadas perfilhos, originam-se a partir de gemas localizadas na base da planta ou nos nós inferiores. Durante o estágio vegetativo, esses colmos permanecem curtos e próximos

ao solo, uma adaptação que protege os meristemas contra danos por pastejo (Irving, 2015).

As gramíneas, de forma geral, possuem uma ampla capacidade de colonização e ocupação do solo. Essas plantas apresentam sistemas radiculares bem desenvolvidos, porém curtos, quando comparados às plantas lenhosas e, por isso, são consideradas boas estabilizantes do solo e podem permanecer em estado vegetativo por longos períodos de tempo, com ciclos de vida anuais ou perenes (Gupta; Biswas; Sudhakar, 2016).

Além disso, essas plantas são classificadas de acordo com o hábito de crescimento, que define a capacidade estratégica de ocupação do solo de acordo com o ambiente. Elas podem ser classificadas como cespitosas, decumbentes, estoloníferas ou rizomatosas, de acordo com Gupta, Biswas e Sudhakar (2016), conforme Tabela 1.

Tabela 1. Hábitos de crescimento de gramíneas forrageiras. Adaptado de Gupta; Biswas; Sudhakar. (2016).

Hábito de crescimento	Descrição	Exemplo
Cespitosa	Possui entrenós bastante curtos que produzem colmos eretos. Formam touceiras e costumam deixar o solo à mostra.	milho, sorgo, trigo, <i>Schizachyrium sanguineum</i> (Retz.) Alston
Decumbente	Os colmos crescem encostados ao solo, porém sem enraizamento nos nós. Costumam cobrir todo o solo.	<i>Brachiaria decumbens</i> Stapf.
Estolonífera	Os colmos crescem horizontalmente e rente ao solo. Os nós em contato com o solo se enraízam e originam novas plantas. Costumam fechar a área por completo sem deixar espaços entre as plantas.	<i>Axonopus compressus</i> (Sw.) P. Beauv.
Rizomatoza	Crescimento similar ao estolonífero, porém o colmo cresce subterrâneo em forma de rizoma, que cresce horizontalmente; e novos perfilhos e raízes partem dos nós do rizoma.	<i>Panicum dactylon</i> L.

Assim como na maioria das plantas, a limitação hídrica impacta as gramíneas na absorção de nutrientes, comprometendo o metabolismo do carbono, do nitrogênio, de açúcares e de outros compostos (Bonfim-Silva *et al.*, 2011). Consequentemente, os processos de divisão e expansão celular são afetados, prejudicando o crescimento foliar, o alongamento do caule e a proliferação de raízes (Farooq *et al.*, 2009). Porém,

as respostas variam quanto à espécie, à severidade do estresse hídrico em diferentes estágios de crescimento morfofisiológico (Tabela 2).

A escassez hídrica compromete o crescimento ao afetar a expansão da área foliar, reduzindo o potencial produtivo. A produção vegetal nas fases iniciais das gramíneas está diretamente relacionada à área foliar, que fornece fotoassimilados para as raízes, essenciais à absorção de nutrientes e à tolerância ao estresse hídrico (Santos & Carlesso, 1998).

Tabela 2. Exemplos de mecanismos de tolerância ao déficit hídrico (seca) identificados em gramíneas (Adaptado de Toulotte *et al.* 2022).

Espécie	Mecanismo de tolerância	Referência
<i>Hordeum vulgare</i> spp. <i>spontaneum</i>	Tolerância à seca na fase de muda	Suprunova <i>et al.</i> (2007)
	Tolerância à seca na fase de formação da cutícula	Chen <i>et al.</i> (2004)
	Melhor desempenho do número de perfilhos e massa seca da raiz, volume da raiz e comprimento da raiz	Naz <i>et al.</i> (2014)
	Maior rendimento de grãos na seca	Nevo & Chen (2010)
<i>Triticum dicoccoides</i>	Maior rendimento de grãos e eficiência no uso da água durante a seca	Peleg <i>et al.</i> (2005)
<i>Aegilops tauschii</i>	Tolerância ao sal e à desidratação	Ishida and Takumi (2012)
<i>Oryza australiensis</i> <i>O. glaberrima</i> <i>O. longistaminata</i> <i>O. meridionalis</i>	Folhas grossas, alta condutância do mesófilo à difusão de CO ₂	Scafaro <i>et al.</i> (2011); Giuliani <i>et al.</i> (2013)
<i>O. rufipogon</i> genótipo Dongxiang	Maior acúmulo de prolina e açúcar solúvel	Ma <i>et al.</i> (2019)
<i>O. rufipogon</i> <i>O. longistaminata</i>	Maior estabilidade da membrana maior condutância estomática sob seca	Neelam <i>et al.</i> (2018)
<i>O. glaberrima</i>	Fechamento estomático precoce no início do período de seca	Huang <i>et al.</i> (2022)
<i>O. rufipogon</i>	Alto teor relativo de água, baixas taxas de enrolamento de folhas	Fu <i>et al.</i> (2012)

Sarath *et al.* (2014) desenvolveram um estudo sobre a senescência de gramíneas (*Panicum virgatum* - *switchgrass*) adaptadas e não adaptadas a estresses

ambientais, conduzido em região de clima temperado (Nebraska, EUA), onde o estresse limitante é a geada (frio) no outono e inverno. Durante o início do desenvolvimento, foi observado um pico de crescimento de biomassa, sucedido por uma diminuição desse crescimento (Figura 1).

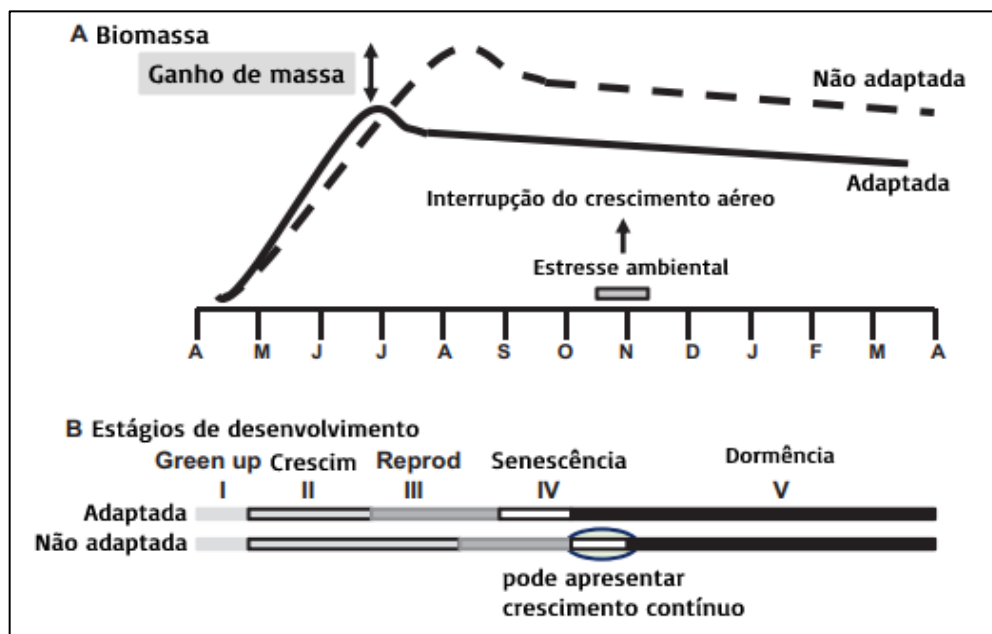


Figura 1. Mudanças sazonais (perenidade) no crescimento de gramíneas adaptadas (linha contínua) e não adaptadas (linha tracejada) aos estresses ambientais: (A) Investimento em biomassa de acordo com os estágios de desenvolvimento; (B) Estágios de desenvolvimento. Os meses do ano são mostrados como uma única letra, começando com abril (Adaptado de Sarath *et al.* 2014).

No estudo, foi observado que o crescimento acima do solo paralisava em virtude do estresse e que o rebrote de novas folhas verdes (*green up*) ocorre em tempos similares, tanto para as espécies adaptadas quanto para as não adaptadas. No entanto, o estágio de crescimento (vegetativo) foi mais curto nas plantas adaptadas, que transitam para uma fase reprodutiva cerca de 25 a 35 dias antes das plantas não adaptadas. Conforme ilustrado pelos autores, o sucesso adaptativo dessas populações não reside propriamente em uma capacidade superior de acumular biomassa ao longo da estação de crescimento, mas na sincronização precisa entre o ciclo fenológico e as condições ambientais do outono e inverno. Observa-se que a planta adaptada encurta sua fase vegetativa, antecipando a fase reprodutiva, o que permite que complete a senescência da parte aérea de maneira gradual e ordenada bem antes da ocorrência da primeira geada letal. Já a população não adaptada, por manter seu crescimento ativo tardiamente e não exibir senescência bem definida, tem sua parte aérea abruptamente morta pela geada, sem passar pelo preparo fisiológico adequado para a dormência. Consequentemente, ainda que ambos

os grupos alcancem biomassas semelhantes no pico do verão, o rendimento efetivo e a perenidade no ano seguinte são significativamente maiores naquele que respeita o ritmo imposto pela estação fria.

A fase senescente foi bem definida nos fenótipos adaptados, e foi identificado que nesses, geralmente, a biomassa acima do solo está morta antes do estresse (Figura 1). Sabe-se que esses mecanismos são regulados por vias de transdução de sinal com múltiplas interações, e podem resultar na prevenção e/ou tolerância à seca (Colebrook *et al.*, 2014). Acredita-se que essas mudanças morfofisiológicas são respostas desenvolvidas pelas plantas ao longo do tempo, decorrentes dos vários estresses abióticos.

Embora o estudo de Sarath *et al.* (2014) tenha sido conduzido sob estresse de frio (geada) e não diretamente sob seca, o princípio adaptativo observado é consistente com estratégias de tolerância a estresses abióticos descritas para outras espécies de gramíneas perenes. Trabalhos como os de Moraes *et al.* (2013, 2016) e Souza *et al.* (2005) demonstram que, em gramíneas do Cerrado, a senescência induzida por estresse hídrico está frequentemente acompanhada pelo acúmulo de carboidratos não estruturais em órgãos subterrâneos, garantindo a persistência da planta durante períodos desfavoráveis e o rebrote subsequente.

A seca também afeta a produtividade das gramíneas, em função dos estágios de desenvolvimento em que as plantas se encontram, vegetativo ou reprodutivo. Como resposta adaptativa a essas perturbações, observa-se que os estágios vegetativos são mais resistentes a esse estresse do que os reprodutivos.

Em um estudo de exposição à seca com plantas forrageiras agrícolas, foi observado um aumento na duração da fase vegetativa, e, portanto, a floração foi atrasada em milho e arroz, enquanto em trigo e cevada, observou-se uma diminuição na duração da fase vegetativa, que acelerou a floração e a maturidade fisiológica das culturas (Farooq *et al.*, 2009).

O efeito da seca é mais drástico quando ocorre nas fases reprodutivas, de floração e de enchimento de grãos, como foi observado em arroz, milho e sorgo (Tabela 3). Dessa forma, por estar diretamente ligada ao ciclo reprodutivo (associado à produção de grãos), a seca impacta ativamente o rendimento econômico.

O estresse hídrico também exerce influência no equilíbrio dos hormônios vegetais, responsáveis por regular e coordenar o crescimento e a tolerância a esse estresse (Colebrook *et al.*, 2014). Desde a década de 70, diversos estudos têm

estabelecido uma correlação entre o ácido abscísico (ABA) e a regulação hormonal nas respostas ao estresse hídrico, explorando os mecanismos de resistência à seca em gramíneas, notadamente no que se refere à regulação do fechamento estomático em culturas como milho e sorgo sob condições de estresse (Beardsell & Cohen, 1975).

A regulação estomática, identificada como uma estratégia de sobrevivência em plantas das savanas neotropicais, desempenha um papel crucial ao evitar a perda excessiva de água em ambientes de baixa disponibilidade hídrica (Franco, 2005, 2008). Esse mecanismo, por sua vez, influencia diretamente o ajuste osmótico. Espécies nativas tendem a possuir maiores níveis de prolina e carboidratos solúveis, conferindo elevado ajuste osmótico (De Ollas & Dodd, 2016). Já em culturas como o sorgo, a sinalização por ácido abscísico (ABA) atua na remobilização de açúcares induzida pela seca no período pós-florescimento, direcionando-os aos drenos reprodutivos (Ghate *et al.* 2019). Estudos como o de Ghate *et al.* (2019) sugerem que a sinalização por ácido abscísico (ABA) desempenha um papel importante na remobilização de açúcares induzida pela seca no período pós-florescimento, direcionando-os aos drenos reprodutivos. Esse processo tem implicações diretas no rendimento de grãos, uma vez que a remobilização de açúcares do colmo pode aumentar a produtividade quando as plantas são expostas ao estresse hídrico.

Conforme observado por Irving (2015), em gramíneas o ajuste osmótico envolve o acúmulo de solutos, como açúcares solúveis, que reduzem o potencial hídrico celular e atuam como reguladores durante a escassez de água. Durante esse processo, a planta sintetiza ativamente esses compostos compatíveis com os tecidos vegetais, que também funcionam na sinalização metabólica e na proteção de membranas e proteínas. Entretanto, esse acúmulo demanda elevado gasto energético e reduz a disponibilidade de carboidratos para o crescimento, sendo esse *trade-off* uma explicação para o crescimento retardado das gramíneas em ambientes secos (Farooq *et al.*, 2009; Irving, 2015).

Tabela 3. Redução da produtividade vegetal (que se refere ao total de biomassa produzida em determinado tempo e espaço) de diferentes espécies de gramíneas em diferentes estágios de crescimento em função do estresse hídrico (seca).

Estágio de crescimento	Nome científico	Nome popular	Tipo de estresse	Redução da produtividade (%)	Referência
Vegetativo (parte aérea)	<i>Saccharum officinarum</i>	Cana-de-açúcar	Severo Curto	32,2	Medeiros <i>et al.</i> (2013, p.218)
Vegetativo (raízes)	<i>Saccharum officinarum</i>	Cana-de-açúcar	Severo Curto	55,2	Medeiros <i>et al.</i> (2013)
Vegetativo	<i>Sorghum bicolor</i>	Sorgo	Leve Prolongado	43	Bell <i>et al.</i> (2018)
Vegetativo	<i>Sorghum bicolor</i>	Sorgo	Severo Prolongado	76	Bell <i>et al.</i> (2018)
Vegetativo	<i>Triticum aestivum</i>	Trigo	Leve Prolongado	18,29	Akram (2011)
Vegetativo	<i>Triticum aestivum</i>	Trigo	Severo Curto	4	Allahmoradi <i>et al.</i> (2011)
Vegetativo	<i>Urochloa brizantha</i>	Marandu	Severo Curto	59	Zuffo <i>et al.</i> (2022)
Vegetativo	<i>Panicum maximum</i>	Capim Colonião	Severo Curto	57	Zuffo <i>et al.</i> (2022)
Vegetativo	<i>Pennisetum glaucum</i>	Milheto	Severo Curto	47	Zuffo <i>et al.</i> (2022)
Vegetativo	<i>Urochloa ruziziensis</i>	Capim Ruzi	Severo Curto	54	Zuffo <i>et al.</i> (2022)
Vegetativo	<i>Paspalum atratum</i>	Capim Pojuca	Severo Curto	50	Zuffo <i>et al.</i> (2022)
Vegetativo	<i>Melinis minutiflora</i>	Capim-gordura	Severo Curto	23	Musso <i>et al.</i> (2019)
Vegetativo	<i>Schizachyrium microstachyum</i>	Rabo-de-burro	Severo Curto	55	Musso <i>et al.</i> (2019)
Reprodutivo (prod. de grãos)	<i>Oryza sativa</i>	Arroz	Severo Prolongado	84	Lanceras <i>et al.</i> (2004)
Reprodutivo (prod. de grãos)	<i>Zea mays</i>	Milho	Severo Prolongado	60	Karasu <i>et al.</i> (2015)
Reprodutivo (prod. de grãos)	<i>Sorghum bicolor</i>	Sorgo	Severo Prolongado	63	Bell <i>et al.</i> (2018)

Estresse leve: teor de umidade reduzido para aprox. 50-60% da capacidade de campo (Equação 1); **Estresse Severo:** teor de umidade reduzido para aprox. 20-30% da capacidade de campo; **Estresse curto:** déficit hídrico por até 30 dias; **Estresse prolongado:** déficit hídrico por mais de 30 dias.

1.3. Cerrado brasileiro e sazonalidade hídrica

O Cerrado brasileiro, segundo maior bioma do país, também conhecido como “a savana brasileira”, possui domínio morfoclimático fortemente marcado pela sazonalidade hídrica, apresentando dois períodos bem definidos: uma estação seca de inverno (maio a setembro) e uma úmida de verão (outubro a abril) (Oliveira-Filho & Ratter, 2002).

Sendo assim, essa sazonalidade pluviométrica se destaca como um dos estresses abióticos mais importantes dentre os diversos fatores que moldam a vegetação do cerrado. Esse bioma é caracterizado pela coexistência entre árvores, arbustos, subarbustos e ervas, onde o estrato herbáceo (composto por gramíneas, ciperáceas, leguminosas herbáceas, melastomataceas e outras famílias) é contínuo, sendo, ocasionalmente, pontuado pelo estrato lenhoso (árvores e arbustos) (Malheiros, 2016; Sankaran *et al.* 2005).

A forte demanda evaporativa e baixa disponibilidade de água nas camadas superficiais do solo, durante a estação seca, tornam o cerrado um ambiente estressante para a vegetação. Como estratégia de adaptação a este tipo de ambiente, diversas espécies lenhosas do cerrado possuem raízes profundas que garantem acesso à água armazenada no subsolo, possibilitando a manutenção da transpiração e a assimilação de CO₂ nos períodos secos (Rodrigues *et al.*, 2016).

As savanas tropicais são o bioma com maior profundidade média de enraizamento ($15 \pm 5,4$ m), e com o enraizamento de plantas lenhosas mais profundo já registrado (68 m) (Pinheiro *et al.*, 2021), evidenciando seu papel crucial no fechamento dos ciclos biogeoquímicos em solos tropicais degradados. Em contraste, as gramíneas nativas do Cerrado apresentam sistemas radiculares mais superficiais, com profundidades típicas variando entre 0,5 e 2,0 m, embora algumas espécies possam atingir até 4 m em solos mais profundos (Ramos *et al.*, 2017; Silva & Klink, 2001; Oliveira *et al.*, 2005). Essa diferença na estratificação radicular reflete estratégias distintas de acesso à água: enquanto as árvores exploram reservas hídricas profundas durante a estação seca, as gramíneas dependem principalmente da umidade das camadas superficiais do solo e de mecanismos de tolerância à seca, como a dormência e o rebrote.

A disponibilidade hídrica e os longos períodos de estiagem impactam diretamente a fisionomia vegetal e tornam a pressão seletiva bastante intensa nessas

regiões (Nascimento & Novais, 2020). Essas pressões ambientais elevam o grau de endemismo no Cerrado, onde cerca de 44% da flora é unicamente encontrada nesta região (Lannes *et al.*, 2020; Vidal Jr.; Souza; Koch, 2019).

De acordo com Mendonça *et al.* (2008, p. 423), a classificação do Cerrado como um *hotspot* fundamenta-se em duas bases principais: o elevado índice de endemismo e a acelerada perda de habitat (ameaça). O endemismo de plantas é o primeiro critério para definir um *hotspot*, pois elas dão suporte à fauna. Considera-se que espécies endêmicas são restritas em distribuição, são mais especializadas e mais susceptíveis à extinção em face das mudanças ambientais provocadas pelo ser humano, em comparação com espécies de ampla distribuição geográfica

Nesse cenário, é factível especular que as gramíneas do Cerrado possuem diversos mecanismos fisiológicos que garantem sua adaptabilidade e sucesso reprodutivo frente a flutuações sazonais de disponibilidade hídrica sendo, portanto, excelente fonte de estudo na busca por tais mecanismos.

Devido a essas características, Vidal Jr, Souza e Koch (2019) concluem que o endemismo do Cerrado se concentra em áreas centrais, elevadas e ambientalmente estáveis, destacando os platôs centrais como prioritários para a conservação da biodiversidade.

De mais de 12 mil espécies de plantas catalogadas no Cerrado brasileiro, 648 são de gramíneas nativas (isto é, espécies que ocorrem naturalmente no bioma, excluindo-se as exóticas e invasoras), o que representa aproximadamente 5% das espécies deste bioma (Flora do Brasil, 2020; Mendonça *et al.*, 2008). Essas espécies exercem um papel fundamental na estruturação e no equilíbrio ecológico das savanas tropicais (Lannes *et al.*, 2020; Sankaran *et al.*, 2005). Devido à periodicidade hídrica, a maioria das gramíneas tropicais apresenta um padrão sazonal de produção que acompanha o clima. Sob influência dessa variação, as espécies nativas adotam o estado de dormência, ou estacionalidade produtiva, como estratégia para garantir a perenidade de seus ciclos de vida (Gobbi *et al.*, 2011; Alencar *et al.*, 2010, 2013), fenômeno amplamente observado na flora local.

Antes do período de dormência, observa-se a senescência total da parte aérea, o que culmina no redirecionamento de nutrientes da parte aérea para os rizomas e meristemas radiculares, de forma que as partes subterrâneas das plantas sobrevivam durante o período seco. Nesse processo, também é observada manutenção celular

dos rizomas e dos meristemas, garantindo, assim, a viabilidade dos tecidos que irão produzir novos perfilhos quando os níveis hídricos estiverem mais adequados (Sarath *et al.*, 2014; Buchanan-Wollaston, 2007).

A vegetação do Cerrado está relacionada à profundidade do solo, que determina a disponibilidade de água e nutrientes na estação seca. As plantas nativas apresentam adaptações à escassez hídrica, como redução da transpiração, raízes profundas, dormência de sementes, acúmulo de carboidratos e, em algumas espécies, ajustamento osmótico que permite crescimento lento mesmo sob déficit hídrico (Furquim *et al.*, 2018).

Além disso, estudos de espécies nativas do Cerrado mostram que o acúmulo de carboidratos solúveis permite que elas tolerem secas sazonais, e essa adaptação pode ser uma vantagem para a sobrevivência no cenário climático previsto de aumento da temperatura, concentração de dióxido de carbono e restrição da disponibilidade de água (Berça *et al.*, 2021; Furquim *et al.*, 2018; Moraes *et al.*, 2022; Moraes *et al.*, 2016; Moraes *et al.*, 2013; Souza *et al.*, 2005).

Portanto, explorar a diversidade das plantas nativas do cerrado é uma escolha assertiva para elucidar os aspectos ecológicos, fisiológicos e moleculares da aclimação ao estresse hídrico. Comparado às plantas de interesse agrônomo, pouco se sabe sobre os mecanismos de adaptação, estabelecimento e comportamento ecofisiológico de grande parte das espécies do Cerrado, e a maior parte desse conhecimento está voltado para espécies arbóreas.

1.4. Espécie estudada: *Schizachyrium sanguineum*

Schizachyrium sanguineum (Retz.) Alston (Poaceae) é uma gramínea perene com metabolismo fotossintético C₄ (Peichoto, 2003), caracterizada por seu hábito cespitoso ereto, desprovido de rizomas, e colmos que podem atingir até três metros de comprimento (Figura 2). Sua distribuição geográfica abrange desde o Norte até o Sul do continente americano (GBIF, 2021; Clayton *et al.*, 2006), estendendo-se também pela África Subsaariana (GBIF, 2021; Gibbs Russel *et al.*, 1987) e pela Ásia Tropical (GBIF, 2021; Clayton *et al.*, 2006). No Brasil, a espécie é encontrada em praticamente todo o território, sendo comum nas fitofisionomias de campo limpo e campo sujo no cerrado (GBIF, 2021; Filgueiras, 1992). Seu ciclo reprodutivo inicia-se em janeiro, com a floração, e a dispersão das sementes ocorre em junho (Martins &

Leite, 1997). As sementes apresentam cariopse protegida por um pericarpo palhento e possuem aristas longas (Figura 2 - C).

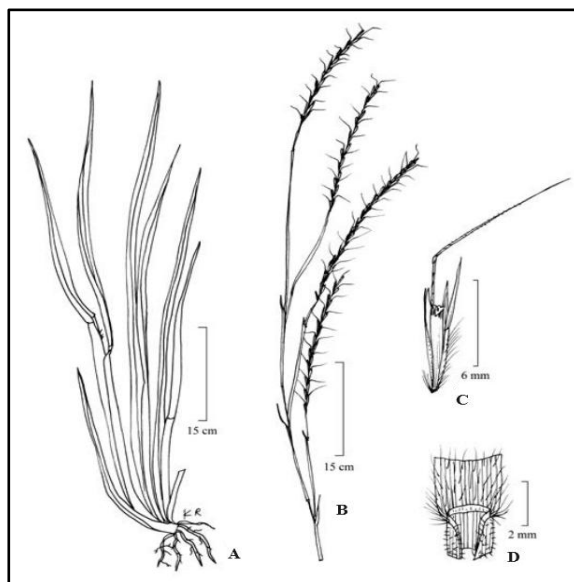


Figura 2. *Schizachyrium sanguineum*: (A) Hábito de crescimento; (B) Inflorescência e espículas; (C) Semente; (D) Ligula, bainha e lâmina. Adaptado de Peterson *et al.* (2018).

A espécie exibe uma distribuição abrangente, adaptando-se a solos ricos em alumínio, nutricionalmente pobres, ácidos e ao clima tropical sazonal do Cerrado, caracterizado por extensos períodos de seca (Clayton *et al.*, 2006; Peichoto, 2003). Devido a essas características, *S. sanguineum* desperta interesse em estudos sobre mecanismos de resistência às mudanças climáticas, com potencial aplicação em projetos de restauração ecológica (Oliveira *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2020; Padonou *et al.*, 2015), na prevenção da erosão do solo por meio da formação de uma densa rede de raízes (Silva *et al.*, 2013) e na possibilidade de transpor esses mecanismos para espécies de interesse agrícola. Apesar dessas perspectivas, poucos estudos fisiológicos específicos foram conduzidos sobre esta espécie até o momento, como exemplificado por Giles *et al.* (2022), Oliveira *et al.* (2021) e Ramos *et al.* (2017).

Com o intuito de preencher essa lacuna, o presente estudo buscou caracterizar as respostas fisiológicas de *S. sanguineum* diante de condições extremas de déficit hídrico (seca). Alinhado às informações atualmente disponíveis sobre diversas espécies herbáceas do Cerrado, os resultados obtidos nesta pesquisa têm o potencial de oferecer compreensão significativa sobre os mecanismos adaptativos que possibilitam a coexistência e promovem a persistência da família Poaceae em

ambientes sujeitos a períodos prolongados de seca. Além disso, podem contribuir para os processos e estudos de restauração ecológica de áreas degradadas e fornecer subsídios valiosos para o desenvolvimento de cultivares mais resistentes ao estresse hídrico e às possíveis variações climáticas futuras.

2. HIPÓTESE

A imposição do estresse hídrico resulta em interrupção temporária do crescimento de *S. sanguineum*, porém, quando a disponibilidade de água é restaurada, o desenvolvimento da planta é retomado até igualar-se ao das plantas não estressadas.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar as respostas ecofisiológicas no crescimento, desenvolvimento e alocação de recursos da gramínea nativa do Cerrado *S. sanguineum*, sob condições semi-controladas de estresse hídrico (seca) em casa de vegetação e após retomada da disponibilidade hídrica (reidratação).

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 3.2.1.** Comparar as variáveis de crescimento de *S. sanguineum*, incluindo número de folhas, altura e número de perfilhos, em resposta à imposição de seca e à reidratação (retomada da disponibilidade hídrica).
- 3.2.2.** Avaliar as variáveis metabólicas de *S. sanguineum*, como teores de açúcares solúveis e conteúdo de amido nas partes aéreas e radiculares, em resposta à imposição de seca e à reidratação (retomada da disponibilidade hídrica).
- 3.2.3.** Analisar o acúmulo e a distribuição de biomassa nas partes aéreas e radiculares de *S. sanguineum* em resposta à imposição de seca e à reidratação (retomada da disponibilidade hídrica).
- 3.2.4.** Sugerir um modelo ecofisiológico que descreva os mecanismos de tolerância à seca em *S. sanguineum* com base no comportamento observado.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. LOCAL DE COLETA E QUEBRA DE DORMÊNCIA DAS SEMENTES

As sementes de *S. sanguineum* utilizadas neste trabalho foram coletadas entre maio e agosto de 2018, em áreas de campo sujo próximo ao Núcleo Rural Rajadinha e ao Vale do Amanhecer em Planaltina – DF, localizado no Distrito Federal a cerca de 42 km do centro de Brasília (15°42'02" S e 47°39'19" W) (Figura 3).

A região apresenta clima tropical sazonal com duas estações bem definidas, com uma estação seca (entre maio e setembro) e uma estação chuvosa (entre outubro e abril). A precipitação média anual é de 1453 mm, sendo que 75% concentram-se entre novembro e março. Apresenta temperatura média anual de 22°C, com temperaturas variando entre 15°C e 27°C.

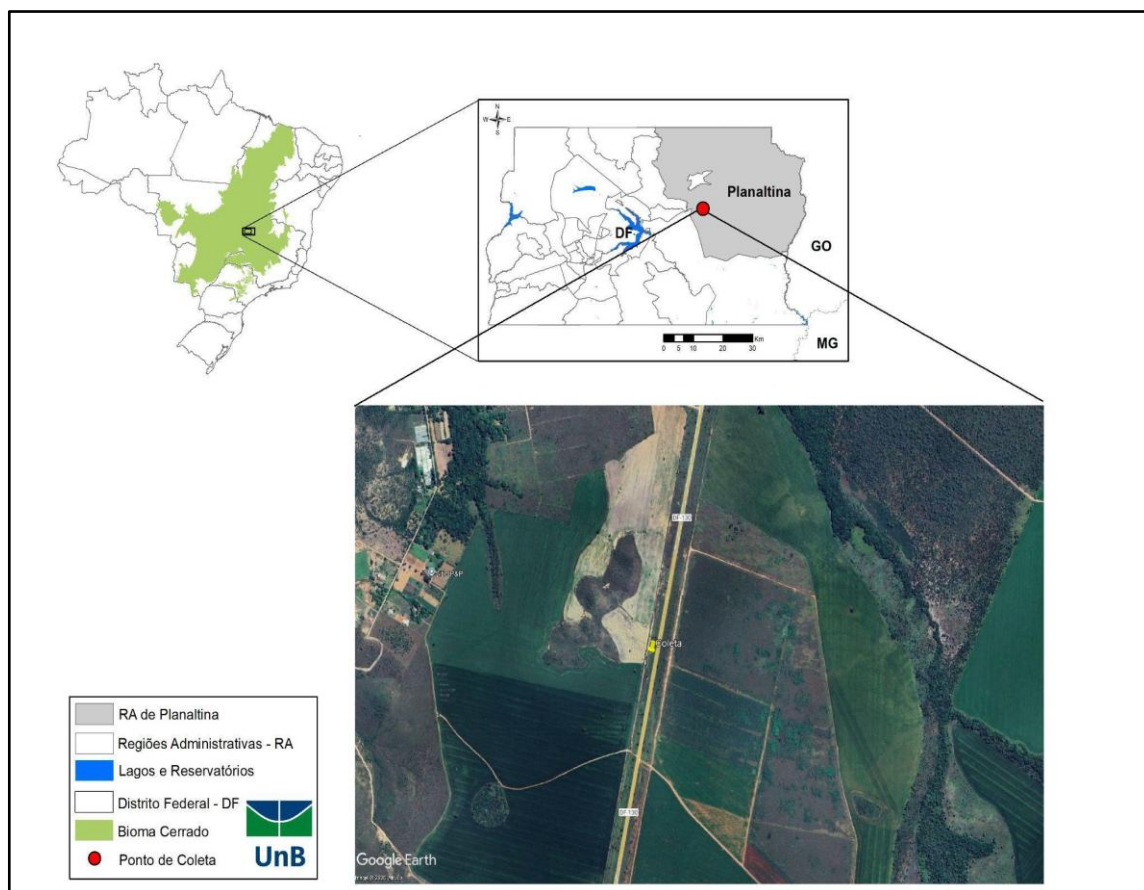


Figura 3. Localização do local de coletas das sementes de *S. sanguineum*. Fonte: *Google Earth* (agosto de 2018)

O solo do local é predominantemente do tipo latossolo, sendo profundo, bem drenado, distrófico, ácido e majoritariamente argiloso (Oliveira, 2008). Tendo em vista

que as sementes de *S. sanguineum* apresentam dormência morfológica (Ramos *et al.* 2017), elas foram armazenadas em sacos de papel em temperatura ambiente por aproximadamente seis meses antes de sua utilização.

4.2. GERMINAÇÃO E EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS

Após o período de armazenamento, as sementes foram acondicionadas em bandejas plásticas com substrato Bioplant Plus. Foram semeadas, em média, dois gramas de sementes por bandeja (aproximadamente 250 sementes; Fontenele *et al.*, (2020) de forma casualizada em seis bandejas. A idade das plantas foi contabilizada a partir deste momento.

As bandejas foram envoltas com plástico filme para reduzir a perda de água por evaporação e mantidas em condições controladas: temperatura constante de 28 ± 2 °C, luz branca artificial (lâmpadas de LED 12W 6500K) fotoperíodo de 12 horas, por 30 dias. O substrato foi umedecido a cada dois dias para manutenção da capacidade de campo, definida pela seguinte equação (Oliveira *et al.*, 2015):

$$CC = \frac{\text{Água retida no solo (mL)} \times 100\%}{\text{Volume do solo (mL)}}$$

Equação 1. Capacidade de Campo do solo (CC), em porcentagem (%) de volume de solo utilizado.

A germinação foi conduzida em sala de crescimento localizado no Departamento de Botânica da Universidade de Brasília no *campus* Darcy Ribeiro. O critério utilizado para contabilizar a germinação foi a emergência das plântulas, ou seja, quando houvesse a presença da parte aérea acima da superfície do solo. As taxas foram calculadas a partir das seguintes equações:

$$G\% = \frac{N}{A} \times 100$$

Equação 2. Porcentagem de germinação (G%), em que N = número de sementes germinadas; e A = número total de sementes colocadas para germinar (Labouriau & Valadares, 1976).

$$TME = \frac{\sum n_i \cdot t_i}{\sum n_i}$$

Equação 3. Tempo Médio de Emergência (TME) em que n_i = número de sementes germinadas num intervalo de tempo; e t_i = intervalo de tempo de germinação (Labouriau, 1983).

4.3. TRANSPLANTE DE PLÂNTULAS

Após a germinação, as plântulas foram mantidas por 2 meses de crescimento nas condições supracitadas. Após esse período, o experimento foi transferido para a Estação Experimental de Biologia da UnB (15°44' S e 47°52' W), em casa de vegetação convencional. A temperatura mínima variou de 10 °C a 19 °C, a máxima de 33°C a 39°C e UR média mensal variou entre 38,8% e 79,7% (mensurados com Termômetro Digital de máxima e mínima temperatura e umidade do tipo capela; *Incoterm*) e a radiação global na área externa da casa de vegetação variou entre 1275,38 e 1842,39 kJ.m⁻².dia⁻¹ (mensurada com Medidor de Radiação Solar Global; *Sigma Sensors*, MP-200).

As plântulas foram transplantadas para sacos plásticos individuais de 30 cm x 12 cm x 7 cm, contendo uma mistura de proporção 2:1 (em volume) de latossolo vermelho e substrato Bioplant Plus, fertilizado com aproximadamente 100 mg de fertilizante de liberação lenta Dimmy Grass (NPK 28-18-6) por saco. O solo utilizado foi coletado na Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília, localizada a 28 km da sede do Campus Universitário da Asa Norte. Os solos dessa região são classificados como latossolos, com mais de 70% de argila, e pH em água de 5,5. Após a coleta, o solo foi autoclavado, peneirado e seco à sombra.

O delineamento experimental foi composto por 60 plantas devidamente organizadas e divididas em grupo controle (n = 30) e grupo de estresse hídrico (n = 30) sobre as bancadas. Com o intuito de homogeneizar a interceptação da radiação luminosa, efetuou-se o rodízio mensal dos recipientes. Durante os primeiros seis meses, a irrigação foi feita diariamente em ambos os grupos para manter o suprimento hídrico a 100% da capacidade de campo, permitindo o escoamento do excesso de água pelas perfurações dos sacos.

4.4. IMPOSIÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO

Aos 6 meses de idade, a irrigação foi completamente suspensa para os indivíduos do grupo de estresse hídrico. O grupo controle permaneceu com suprimento diário de água de 100% da capacidade de campo. Foi feita a primeira coleta de material vegetal, na qual foram selecionados 20 indivíduos (10 plantas de cada tratamento), de forma casualizada, a fim de realizar as análises laboratoriais (item 4.6). Após quatro meses de seca (aos 10 meses de idade), foi realizada a

segunda coleta destrutiva, na qual, novamente, foram selecionados de forma casualizada 10 indivíduos de cada grupo (totalizando 20 plantas). As plantas remanescentes de ambos os grupos foram então mantidas com irrigação diária a 100% da capacidade de campo por 2 meses, para avaliar a recuperação pós-estresse. Ao final deste período (aos 12 meses de idade), realizou-se a terceira coleta destrutiva, abrangendo os 10 indivíduos remanescentes do grupo controle e cinco indivíduos do grupo de estresse hídrico (as demais não rebrotaram e foram consideradas mortas), totalizando 15 plantas. O delineamento experimental utilizado está ilustrado em detalhes na Figura 4.

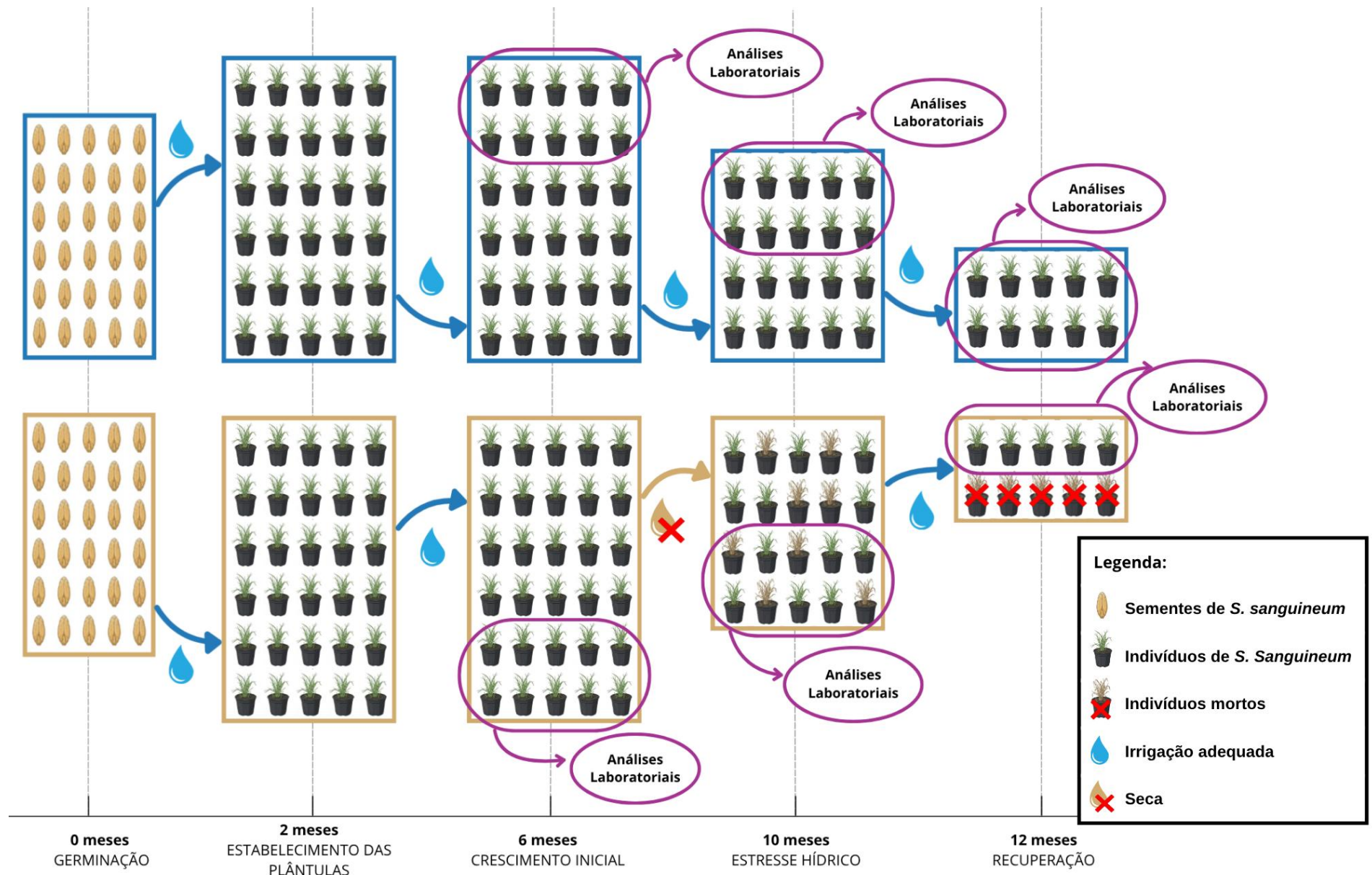


Figura 4. Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) experimental de dois tratamentos, sem e com estresse hídrico (seca pela suspensão da irrigação) conduzido durante doze meses, (janeiro a dezembro de 2019), em indivíduos de *S. sanguineum*.

4.5. ANÁLISES LABORATORIAIS

4.5.1. Crescimento da Parte Aérea e Radicular

Durante todo o experimento, medidas não destrutivas (altura, número de perfilhos e número de folhas verdes) foram realizadas mensalmente a fim de acompanhar o crescimento da espécie estudada. As medidas foram feitas em todas as plantas presentes na data da medida, sempre na última semana do mês referente. A altura foi determinada com auxílio de fita métrica, considerando-se a distância entre o colo da planta (transição da raiz para o caule) e o ápice da última folha expandida.

O crescimento das raízes foi avaliado nos tempos amostrais em que foram feitas coletas de material vegetal. Antes de realizar a coleta, foi contado o número de folhas e perfilhos e medida a altura das plantas a serem coletadas. Após as mensurações, as plantas foram coletadas e separadas em parte radicular e parte aérea na região do colo da planta. Para a retirada das raízes, de forma a preservar o material vegetal, os sacos foram rompidos verticalmente e a terra removida com água corrente, a fim de evitar a perda de fragmentos da raiz e, cuidadosamente, eliminar as partículas de solo.

Para cada indivíduo coletado, foi medido: (a) o comprimento máximo da raiz com auxílio de fita métrica, considerando-se o colo da planta até a extremidade da raiz mais longa; (b) o diâmetro de cinco fragmentos de raiz, de cada planta, apenas considerando a região da base da raiz mais próxima do caule com auxílio de paquímetro digital (Modelo 01,0004 - Zaas); e (c) a biomassa fresca (parte aérea e raízes) pesada com balança semi-analítica com precisão de 0,001g (MARTE - AY220). A biomassa seca foi obtida conforme descrito no item 4.5.3

4.5.2. Arquitetura do Sistema Radicular

A estimativa da área e do volume de solo explorado pelo sistema radicular constitui uma abordagem amplamente utilizada em estudos de ecologia vegetal e ecofisiologia, especialmente em ambientes sazonais como o Cerrado, onde a disponibilidade hídrica é um fator limitante ao crescimento das plantas. Nesse contexto, o sistema radicular desempenha papel fundamental na aquisição de água em diferentes profundidades do solo, sendo frequentemente associado a estratégias adaptativas das espécies ao estresse hídrico (Franco, 2002; Hoffmann *et al.*, 2004).

Para a caracterização morfológica do sistema radicular de *Schizachyrium sanguineum*, foram obtidas medidas diretas para cada indivíduo coletado nos diferentes tempos amostrais. O comprimento máximo da raiz ($C_{\text{máx}}$, cm) foi definido como a distância da base da planta até a extremidade da raiz mais longa, mensurada com fita métrica. O diâmetro da raiz (d), correspondeu à média dos diâmetros em centímetros, de cinco fragmentos de raiz coletados na região basal, aferidos com paquímetro digital (Zaas, modelo 01,0004). A massa fresca total do sistema radicular (MF_{total}) foi obtida em gramas e em balança semi-analítica (MARTE AY220, precisão 0,001 g). Adicionalmente, foram registrados o comprimento (C_{frag}) e a massa fresca (MF_{frag}) de cinco fragmentos de raiz selecionados aleatoriamente por planta. A partir dessas medidas diretas, foram estimadas quatro variáveis morfométricas complementares.

4.5.2.1. Extensão total do sistema radicular

A extensão total do sistema radicular (E_{total}), ou seja, o comprimento em centímetros somado de todas as raízes de um indivíduo, foi estimada por regra de três, assumindo homogeneidade na relação comprimento:massa entre os cinco fragmentos amostrados e o restante do sistema radicular (Böhm, 1979):

$$E_{\text{total}} = \frac{\sum \text{comp. 5 frag. de raiz (cm)} \times \text{massa fresca total das raízes (g)}}{\sum \text{massa fresca de 5 frag. de raiz (g)}}$$

Equação 4. Extensão total das raízes.

4.5.2.2. Área máxima projetada no solo

A área máxima projetada no solo (A_{proj}) representa a superfície do solo potencialmente influenciada pelo sistema radicular, em metros quadrados, assumindo uma expansão radial simétrica a partir do colo da planta. Adotou-se o modelo da circunferência, considerando o comprimento máximo da raiz como o raio de projeção (Figura 5). Essa modelagem encontra respaldo em abordagens que tratam a arquitetura radicular de forma idealizada, permitindo inferências sobre a área de solo potencialmente explorado pelas plantas (Canadell *et al.*, 1996; Schenk & Jackson, 2002):

$$A_{proj} = \pi \cdot (C_{m\acute{a}x})^2$$

Equação 5. Área máxima projetada no solo.

Essa projeção representa a zona potencial de influência superficial das raízes, associada à absorção de nutrientes e água nas camadas mais rasas do solo, onde há maior variabilidade sazonal de umidade (Hoffmann & Franco, 2003).

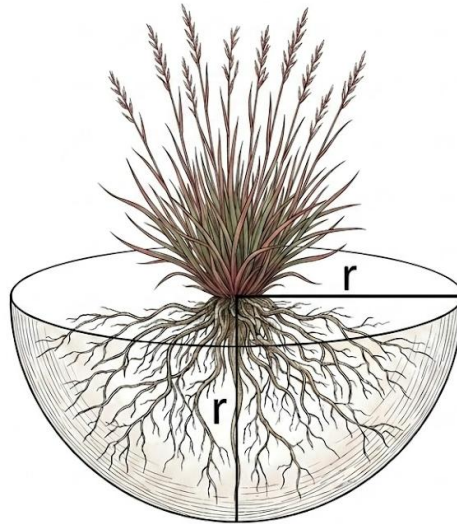


Figura 5. Representação esquemática da área máxima projetada no solo pelo sistema radicular de *Schizachyrium sanguineum*. A circunferência de raio r corresponde ao comprimento máximo da raiz ($C_{m\acute{a}x}$), assumindo expansão radial simétrica a partir da base da planta.

4.5.2.3. Volume máximo de solo ocupado

O volume de solo efetivamente ocupado pelo sistema radicular (V_{solo} , m^3 ou L) foi modelado como um hemisfério de raio igual ao comprimento máximo da raiz. Essa aproximação geométrica é comumente utilizada em estudos de Ecofisiologia de gramíneas perenes, cujo sistema radicular tende a se distribuir em formato semiesférico no perfil do solo (Canadell *et al.*, 1996; Jackson *et al.*, 1999b):

$$V_{solo} = \frac{2}{3} \pi \cdot (C_{m\acute{a}x})^3$$

Equação 6. Volume máximo de solo ocupado (modelo hemisférico).

Essa aproximação geométrica é coerente com estudos que indicam que espécies do Cerrado apresentam sistemas radiculares profundos e distribuídos em

perfil semiesférico, permitindo acesso a reservas hídricas mais profundas durante a seca (Jackson *et al.*, 1999b; Oliveira *et al.*, 2005).

4.5.2.4. Área de superfície radicular total

A área de superfície radicular total (A_{raiz} , cm²), parâmetro diretamente associado à capacidade de absorção de água e nutrientes, foi calculada assumindo-se cada raiz como um cilindro reto de diâmetro médio (d) e comprimento total E_{total} (Ehlers *et al.*, 1991):

$$A_{raiz} = \pi \cdot d \cdot E_{total}$$

Equação 7. Área de superfície radicular total.

Todas as análises foram realizadas considerando o diâmetro médio basal (d) como representativo da espessura geral do sistema radicular, uma vez que as raízes de gramíneas cespitosas apresentam pequena variação diamétrica ao longo de sua extensão (Klimesová *et al.*, 2023a, 2023b).

A adoção desses modelos simplificados permite a padronização das análises comparativas entre indivíduos e tratamentos, bem como a integração entre dados empíricos e interpretações ecofisiológicas. No Cerrado, onde predominam solos bem drenados e com baixa retenção de água nas camadas superficiais, a capacidade de exploração vertical e lateral do sistema radicular é determinante para a sobrevivência das espécies, refletindo estratégias adaptativas à seca e à sazonalidade climática (Ribeiro & Walter, 2008; Hoffmann *et al.*, 2012).

4.5.3. Biomassa seca

Para as medidas de biomassa seca, tanto da parte aérea quanto do sistema radicular, as amostras vegetais, já separadas, foram colocadas em estufa a 70°C por 48h e depois pesadas em balança semi-analítica com precisão de 0,001g (MARTE - AY220) para obtenção da massa seca. A partir desses dados, foram estabelecidas relações entre a biomassa do sistema radicular e da parte aérea (BSR/BSPA), a fim de identificar o padrão de alocação de biomassa da espécie. Optou-se pela razão BSR/BSPA (raiz/parte aérea) por ser amplamente utilizada em estudos ecofisiológicos com gramíneas, pois expressa diretamente o investimento relativo da planta no sistema de absorção e armazenamento (raiz) em comparação à capacidade

fotossintética (parte aérea). Essa razão é particularmente informativa em condições de estresse hídrico, uma vez que valores mais elevados indicam priorização do crescimento radicular em resposta à limitação de água ou nutrientes (Moraes *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2005). O cálculo foi feito a partir da equação 8:

$$x = \frac{\text{biomassa seca das raízes}}{\text{biomassa seca da parte aérea}}$$

Equação 8. Relação entre a biomassa do sistema radicular e da parte aérea.

4.5.4. Análises Bioquímicas

Para as análises bioquímicas, foram separadas amostras da parte aérea e da parte radicular secas de cada planta coletada (número de réplicas conforme Tabela E, Apêndice 3). Logo após, as amostras foram pesadas e maceradas em moinho de bolas (MBB-16, *BioSpec*) a fim de realizar as análises de teores de reservas não-estruturais: açúcares solúveis totais e amido.

4.5.4.1. Análise de Açúcares Solúveis Totais (AST)

Para análise de Açúcares Solúveis Totais (AST), 10,00 mg de material vegetal foram extraídos com 500 µL de etanol 80% (v/v) e colocados por 20 minutos em banho-maria a 80°C. Esse processo foi repetido quatro vezes, totalizando 2 mL de sobrenadante. Após centrifugação (10000 g, 10 minutos), os sobrenadantes foram combinados. A quantificação de AST foi feita por método colorimétrico (Dubois *et al.* 1956), e para tal, alíquotas de 50 µL dos sobrenadantes combinados foram diluídos em 450 µL de água deionizada, e depois foi adicionado 500 µL de solução de fenol 5% (p/v) e 2,5 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado (95-97%). Segundo Dubois *et al.* (1956), os açúcares, simples ou complexos, e seus derivados, quando tratados com fenol e ácido sulfúrico concentrado apresentam coloração amarelo-alaranjado, com uma reação sensível e de coloração estável. Para quantificar os valores de amostras desconhecidas, foi feita uma curva padrão com valores conhecidos de diferentes concentrações de glicose (1 mg/mL), contendo as seguintes diluições: 0 µg/mL; 8 µg/mL; 16 µg/mL; 32 µg/mL; 64 µg/mL; 128 µg/mL. Por fim, as amostras foram levadas para o espectrofotômetro onde foram realizadas leituras a 490 nm.

4.5.4.2. Análise de amido

A análise de amido foi baseada no método de Amaral *et al.* (2007). Os precipitados da extração etanólica da análise de AST foram secos e acrescidos de 480 µL de α-amilase termoestável (120 U.mL^{-1}) da bactéria *Bacillus licheniformis* (MEGAZYME) diluída em tampão MOPS pH 6,5 10 mM. As amostras foram incubadas a 75°C por 30 minutos.

Este procedimento foi repetido mais uma vez. Adicionou-se 480 µL de amiloglucosidase (30 U.mL^{-1}) do fungo *Aspergillus niger* (MEGAZYME) diluída em tampão acetato de sódio pH 4,5 100 mM e as amostras foram incubadas por 30 minutos à 50 °C. Este procedimento foi repetido mais uma vez, totalizando 1,92 mL de líquido enzimático. Posteriormente, alíquotas de 20 µL de extrato foram incubadas com 300 µL da solução do kit GODPOD (Doles, Reagente de cor), contendo as enzimas glicose oxidase e peroxidase e os reagentes 4-aminoantipirina e fenol, por cinco minutos.

Neste sistema, a reação oxidativa forma uma antipirilquinonimina de coloração rosada, cuja intensidade de cor é proporcional à concentração de glicose na amostra. Para essa análise, também foi feita uma curva padrão com valores conhecidos de diferentes concentrações de glicose (1 mg/mL) e com a absorbância do comprimento de onda, contendo as seguintes diluições: 0 µg/mL; 6,25 µg/mL; 12,5 µg/mL; 25,00 µg/mL; 50,00 µg/mL. Por fim, o teor de glicose liberado foi determinado em um leitor de microplacas de Elisa (96 poços; *Spectramax Plus 384*; *Hexis Científica*) a 505 nm.

4.6. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas e submetidos à análise no software R (versão 4.x). Para avaliar os efeitos do déficit hídrico e do tempo sobre as variáveis de crescimento (altura, número de folhas e número de perfilhos), foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) do Tipo III, por meio da função Anova do pacote car. O modelo incluiu os efeitos fixos de tratamento (Controle e Déficit Hídrico) e tempo (mês), bem como a interação entre esses fatores. Essas análises avaliaram os dados de todas as plantas remanescentes vivas em cada mês. O número de plantas por tratamento variou ao longo do tempo: aos 6 meses, ambos os grupos apresentavam 30 plantas; as coletas destrutivas reduziram esse número; aos 10 meses, ambos os grupos apresentavam 20 plantas; aos 12 meses, o grupo controle apresentava 10 plantas e o grupo seca apresentava 5 plantas remanescentes

(as demais não rebrotaram após a reidratação, não apresentavam material vegetal suficiente para realizar análises laboratoriais, portanto, foram consideradas mortas). Esse desbalanceamento torna a ANOVA Tipo III mais adequada do que os tipos I ou II, pois ela estima os efeitos de cada fator controlando-se os demais, sem que a ordem de entrada dos termos no modelo interfira nos resultados. Para assegurar a correta estimativa dos efeitos, os contrastes foram configurados com a opção *contr.sum*, que compara cada nível dos fatores à média geral, diferentemente de abordagens que adotam um grupo de referência.

Para comparar os tratamentos (Controle e Seca) dentro de cada mês, aplicou-se o teste de Tukey às médias marginais obtidas com o pacote *emmeans*. Esse procedimento foi adotado uma vez que as médias marginais estimadas oferecem estimativas ajustadas para o desbalanceamento dos dados, ao contrário das médias amostrais simples, que poderiam ser influenciadas pelas diferentes magnitudes amostrais entre os grupos. Os resultados dessas comparações estão representados nos gráficos e tabelas por meio de letras minúsculas (a, b). Dentro de um mesmo mês, quando Controle e Seca recebem a mesma letra minúscula, não há diferença significativa entre os tratamentos; quando recebem letras diferentes, há diferença estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$). Uma vez que a comparação é restrita a cada mês, a letra minúscula de um mês não deve ser comparada com a letra minúscula de outro mês. Essa análise permitiu identificar os períodos em que ocorreram aumentos significativos no crescimento, bem como aqueles em que se instalou o processo de senescência e interrupção do crescimento.

Para comparar os meses dentro do respectivo tratamento (Controle ou Seca), foi aplicado o teste de Tukey separadamente para cada grupo, utilizando as médias marginais. Os resultados dessas comparações estão representados nos gráficos e tabelas por meio de letras maiúsculas (A, B, C, D, E, F). Dentro do mesmo grupo (Controle ou Seca), meses que recebem a mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si; meses que recebem letras diferentes diferem significativamente ($p \leq 0,05$). As letras maiúsculas do grupo Controle e as letras maiúsculas do grupo Seca são independentes e não devem ser comparadas entre si.

Os pressupostos da análise de variância foram verificados previamente: a homogeneidade das variâncias foi avaliada pelo teste de Levene, e a normalidade dos resíduos, pelo teste de Shapiro-Wilk. No mês 12, diante do desbalanceamento

amostral (controle, n = 10; seca, n = 5), a ANOVA Tipo III lidou com essa condição de forma apropriada, tornando desnecessária qualquer normalização ou imputação dos valores perdidos.

Para as demais variáveis investigadas (diâmetro da raiz, área de superfície radicular, extensão total do sistema radicular, área projetada no solo, volume de solo ocupado, biomassa seca da parte aérea (BSPA), biomassa seca do sistema radicular (BSR), razão BSR/BSPA, teores de açúcares solúveis totais (AST) e de amido na parte aérea e nas raízes), optou-se pela comparação entre os tratamentos em cada data de coleta, utilizando o teste t de *Student* para amostras independentes. Essas variáveis foram mensuradas em coletas destrutivas realizadas aos 6, 10 e 12 meses. A cada coleta, utilizaram-se indivíduos distintos: aos 6 meses, 10 plantas de cada grupo; aos 10 meses, mais 10 plantas de cada grupo; aos 12 meses, 10 plantas do grupo controle e 5 plantas do grupo seca (devido à morte de 5 indivíduos pós-estresse). Os grupos controle e seca foram definidos no início do experimento (seção 4.3), dessa forma, a comparação entre os tratamentos na primeira coleta (aos 6 meses) representa a condição basal, antes da imposição do estresse hídrico. Os pressupostos do teste t (normalidade e homogeneidade de variâncias) foram verificados com os testes de Shapiro-Wilk e Levene.

Em todas as análises, adotou-se o nível de significância de $\alpha = 0,05$. Valores de $p \leq 0,05$ foram considerados estatisticamente significativos e encontram-se reportados nas tabelas e figuras. Valores de $p > 0,05$ foram tratados como não significativos (n.s.) e não são explicitamente apresentados no texto.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. GERMINAÇÃO E EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS

O experimento de germinação demonstrou que *S. sanguineum* apresenta uma Taxa de Germinação Média (TGM) de $24,2 \pm 1,8\%$ e um Tempo Médio de Emergência (TME) de 7 ± 1 dias. A Taxa de Sobrevivência das Plântulas (TSP) foi de 95% após quatro semanas da emergência, o que sugere que a espécie tem potencial para ser utilizada na recuperação de áreas degradadas.

Estudos anteriores conduzidos em laboratório, como os de Fontenele *et al.* (2020), Paredes *et al.* (2018) e Musso *et al.* (2015), relataram taxas de germinação mais elevadas para *S. sanguineum*: 39%, >95% e >80%, respectivamente (Tabela 4). Esses valores diferem dos obtidos no presente estudo porque os autores utilizaram

seleção artificial de sementes cheias (apenas as que continham embriões viáveis), enquanto neste estudo não houve qualquer mecanismo de separação, apenas colheita e plantio direto no substrato (semeadura direta), simulando condições naturais de campo. Essa opção justifica-se pelo fato de que a maioria das gramíneas nativas do Cerrado produz mais de 50% de sementes vazias (inviáveis), ou seja, sem cariopse (Pedrini *et al.*, 2019; Kolb *et al.*, 2016; Farley *et al.*, 2013). Assim, a semeadura direta sem triagem artificial reflete condições mais próximas da realidade de campo, oferecendo uma perspectiva ecológica mais precisa sobre o potencial da espécie para restauração de áreas degradadas.

Sampaio *et al.* (2019) avaliaram a semeadura direta para restauração de pastagens abandonadas no Cerrado Central (Reserva Biológica do Contagem, Fazenda Entre Rios e Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros), utilizando um conjunto de espécies nativas que incluía *S. sanguineum*, *Paspalum gardnerianum* e *Trachypogon spicatus*. Os autores concluíram que a semeadura direta pode estabelecer eficazmente espécies de gramíneas nativas da savana neotropical, especialmente em solos pedregosos e com maiores densidades de semeadura. Embora os resultados sejam promissores, técnicas de manejo e o aperfeiçoamento da qualidade das sementes podem aprimorar ainda mais o desempenho das espécies.

Tabela 4. Germinação média e tempo médio de emergência de sementes de *S. sanguineum* obtidos neste e em outros estudos.

Referência	Germinação média (%)	Tempo médio de emergência (dias)	Temperatura de germinação (°C)
Presente estudo	24,2 ± 1,8 %	7,0 ± 1	28 ± 2 °C
Fontenele <i>et al.</i> (2020)	39,0 ± 2,1 %	14,0 ± 1	20 a 35 °C
Paredes <i>et al.</i> (2018)	97,5 ± 1,5 %	7,1 ± 1	25 ± 2 °C
Musso <i>et al.</i> (2015)	84,0 ± 3,0 %	16,8 ± 0,5	22 (escuro) e 37 °C (luz)

O presente estudo demonstrou TME de 7,0 ± 1,0 dias, semelhante ao encontrado por Paredes *et al.* (2018) (Tabela 4). Ambos os estudos utilizaram temperaturas médias constantes e amenas (28 ± 2 °C e 25 ± 2 °C, respectivamente).

Em contraste, os estudos de Fontenele *et al.* (2020) e Musso *et al.* (2015) encontraram TME mais longos (14 ± 1 dias e $16,8 \pm 0,5$ dias, respectivamente) sob regimes de temperaturas alternadas ($35/20$ °C e $37/22$ °C, dia/noite). Esses resultados indicam que *S. sanguineum* germina mais rapidamente em temperaturas constantes e amenas, enquanto temperaturas alternadas prolongam o tempo médio de emergência.

Os resultados de Paredes *et al.* (2018) indicam taxa de germinação superior a 95% com TME de $7,1 \pm 1$ dias a 25 ± 2 °C, sugerindo ampla adaptabilidade da espécie a diferentes temperaturas. Musso *et al.* (2015) corroboram essa ideia, com germinação superior a 80% em temperaturas variando de 22 °C a 37 °C. Segundo Carvalho e Nakagawa (2000) e Bewley e Black (1985), a velocidade, porcentagem e uniformidade de germinação podem ser influenciadas pela temperatura e pelo fotoperíodo.

Por fim, destaca-se que a germinação sem seleção artificial de sementes viáveis permite uma compreensão mais realista do potencial da espécie em condições naturais de campo (Sampaio *et al.*, 2019). Essa abordagem é essencial para estudos de restauração ecológica, pois simula as condições reais de semeadura direta em programas de recuperação de áreas degradadas.

5.2. CRESCIMENTO EM ALTURA

Schizachyrium sanguineum cultivado em condições adequadas de luz, água e nutrientes apresentou trajetória de crescimento similar entre os grupos controle e tratamento até o sexto mês, sem diferenças estatisticamente significativas neste período (Figura 6). Entre o primeiro e o quarto mês, as plantas apresentaram crescimento acelerado: a altura média do grupo controle passou de $3,16 \pm 0,28$ cm (média + erro padrão) para $38,34 \pm 6,25$ cm, enquanto o grupo tratamento passou de $2,42 \pm 0,49$ cm para $38,80 \pm 4,39$ cm. Esse padrão de elongação caulinar acelerada reflete a atividade dos meristemas apicais e intercalares, típica do estabelecimento inicial de gramíneas perenes em condições favoráveis (Irving, 2015; Taiz *et al.*, 2017).

Entre o quarto e o sexto mês, observou-se estabilização no desenvolvimento. A altura média do grupo controle variou 1,48 cm entre o quarto e o quinto mês (de 38,34 cm para 39,82 cm) e 0,50 cm entre o quinto e o sexto mês (de 39,82 cm para 40,32 cm). Padrão semelhante foi observado no grupo tratamento. Essa estabilização

coincidiu com a redução sazonal da umidade relativa do ar no Distrito Federal, que passou de 80% no terceiro mês para valores inferiores a 55% no sexto mês (Apêndice 2). A redução da umidade relativa do ar pode funcionar como um sinal ambiental antecipatório de estresse hídrico, modulando o padrão de crescimento e a alocação de recursos em gramíneas (Bauer *et al.*, 2013). Segundo os autores, esse tipo de sinalização pode desencadear respostas como fechamento estomático e redirecionamento de fotoassimilados para órgãos de reserva, preparando a planta para períodos de escassez hídrica. No presente estudo, a estabilização do crescimento antes da imposição do déficit hídrico experimental é consistente com essa resposta à redução natural da umidade relativa do ar na casa de vegetação.

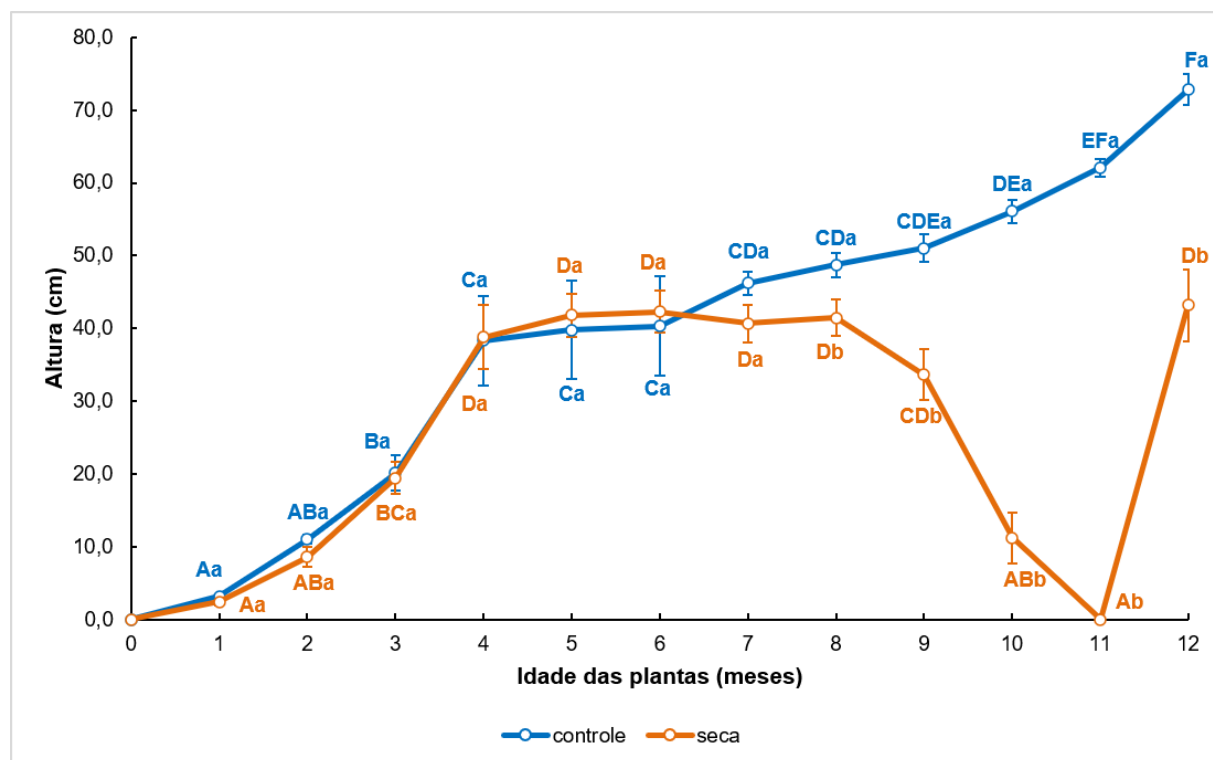


Figura 6. Crescimento em altura de *S. sanguineum* ao longo de 12 meses, submetidos a um tratamento de déficit hídrico por um período de 4 meses. Letras maiúsculas comparam meses dentro do mesmo tratamento. Mesma letra = não diferem; letras diferentes = diferem (Tukey, $p \leq 0,05$). Letras minúsculas comparam Controle vs. Seca dentro do mesmo mês (não entre meses). Mesma letra = não diferem; letras diferentes = diferem (Tukey, $p \leq 0,05$). As letras do Controle e da Seca são independentes. As barras indicam o erro padrão da média.

A imposição do déficit hídrico a partir do sexto mês afetou o crescimento em altura, enquanto as plantas irrigadas retomaram o crescimento entre o sexto e o sétimo mês (Figura 6). A comparação entre os grupos (Tabela H, Apêndice 3) mostrou que, a partir do oitavo mês, as diferenças tornaram-se significativas: aos oito meses,

o grupo controle apresentou altura média de 48,65 cm, enquanto o grupo seca registrou 38,58 cm (Tukey, $p = 0,0335$). Aos nove, dez e onze meses, as diferenças acentuaram-se (Tukey, $p < 0,0001$), com o grupo seca atingindo 0,00 cm no décimo primeiro mês. A análise das comparações entre meses consecutivos (Figura 6, Apêndice 3) revelou que, no grupo seca, a redução da altura ocorreu entre o nono e o décimo mês (Tukey, $p < 0,0001$) e entre o décimo e o décimo primeiro mês (Tukey, $p = 0,0116$). Essa redução progressiva da altura é atribuída à senescência da parte aérea induzida pelo déficit hídrico prolongado, estratégia que reduz a demanda hídrica e realoca recursos para órgãos subterrâneos (Sarath *et al.*, 2014; Moraes *et al.*, 2016). Sob estresse hídrico severo, a espécie entrou em estado de quiescência funcional, caracterizado pela paralisação do crescimento e redução da atividade metabólica, o que permite a conservação de recursos e a manutenção de estruturas meristemáticas protegidas para rebrote posterior (Franco, 2002; Hoffmann *et al.*, 2012). Em gramíneas perenes, diferentemente da senescência terminal de plantas anuais, a senescência induzida por estresse tem o propósito ecológico de realocar nutrientes das folhas para órgãos de reserva subterrâneos, garantindo a persistência da planta até o retorno das condições favoráveis (Hodge & Doust, 2016). Durante esse processo, não houve abscisão foliar significativa: as folhas secaram, mas a maioria das folhas permaneceram presas à planta, o que pode minimizar a perda de água por transpiração e proteger os meristemas vitais.

Entre o décimo primeiro e o décimo segundo mês, o grupo seca exibiu retomada do crescimento (Tukey, $p < 0,0001$), caracterizada pela reativação dos meristemas basais após a reidratação, resultando em nova alongação caulinar. Aos doze meses, após dois meses de reidratação, o grupo seca recuperou altura média de 43,16 cm, valor ainda inferior ao do controle (72,84 cm; Tukey, $p < 0,0001$). Estudos recentes demonstram que a recuperação vegetal após a reidratação não ocorre de forma imediata, envolvendo a ativação de programas metabólicos e genéticos específicos antes da retomada do crescimento visível (Zhang *et al.*, 2025a, 2025b), evidenciando que a retomada do crescimento é precedida por uma fase de reativação metabólica e reorganização funcional. Em gramíneas, a dormência associada à seca está diretamente relacionada à capacidade de sobrevivência e recuperação, e não ao crescimento imediato (Li *et al.*, 2023). A recuperação é ainda fortemente dependente da reorganização do sistema radicular, que recebe prioridade

na alocação de recursos após o estresse (Zheng *et al.*, 2023). No presente estudo, a retomada do crescimento após o estresse não foi suficiente para equalizar a alongação caulinar acumulada pelo grupo controle durante todo o experimento, indicando que a recuperação da arquitetura vertical demanda mais tempo do que o restabelecimento de outras variáveis, como o número de folhas verdes.

5.3. PRODUÇÃO DE FOLHAS VERDES

Durante os seis primeiros meses sob condições hídricas adequadas, o número de folhas verdes de *S. sanguineum* apresentou crescimento linear e similar entre os grupos controle e tratamento, sem diferenças estatisticamente significativas (Figura 7). Aos seis meses, o grupo controle apresentava $6,4 \pm 1,2$ folhas e o grupo tratamento $7,0 \pm 0,7$ folhas. Esse padrão reflete o estabelecimento inicial da planta, com produção contínua de fitômeros e expansão da área fotossintética em condições favoráveis (Irving, 2015).

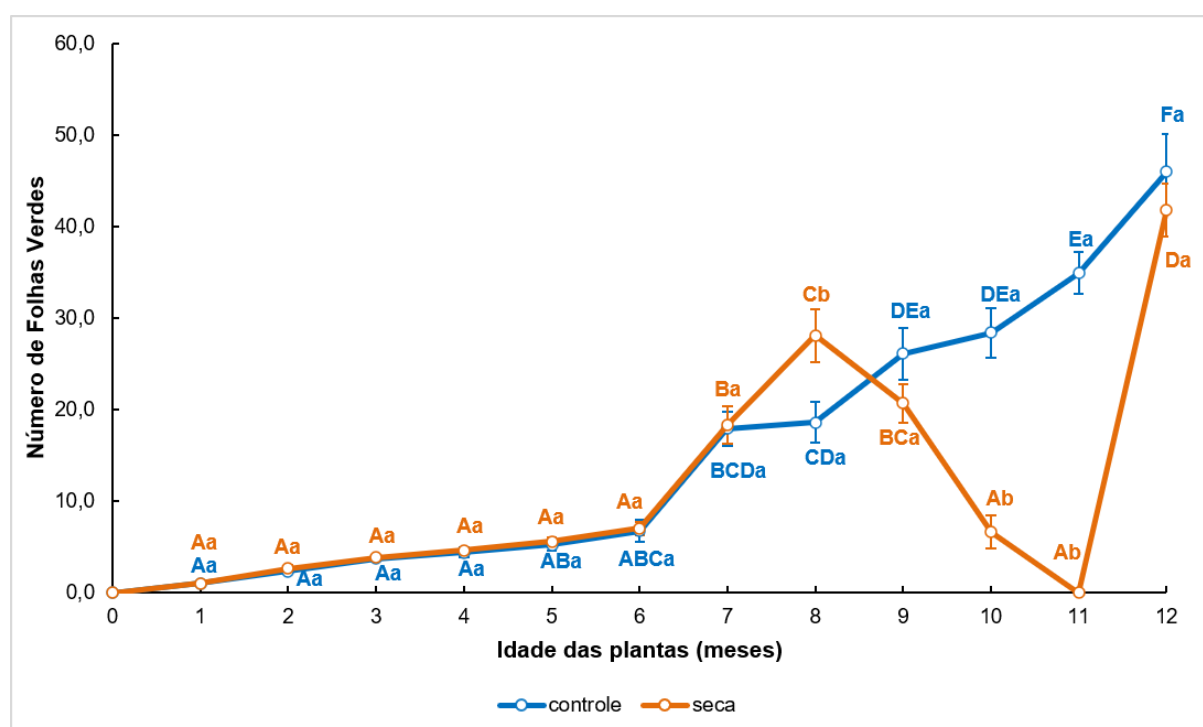


Figura 7. Número de folhas verdes de *S. sanguineum* ao longo de 12 meses, submetidos a um tratamento de déficit hídrico por um período de 4 meses. Letras maiúsculas comparam meses dentro do mesmo tratamento. Mesma letra = não diferem; letras diferentes = diferem (Tukey, $p \leq 0,05$). Letras minúsculas comparam Controle vs. Seca dentro do mesmo mês (não entre meses). Mesma letra = não diferem; letras diferentes = diferem (Tukey, $p \leq 0,05$). As letras do Controle e da Seca são independentes. As barras indicam o erro padrão da média.

A partir da imposição do déficit hídrico, os grupos exibiram respostas divergentes (Figura 7). Após um mês de suspensão da irrigação (sétimo mês), o grupo submetido ao déficit hídrico apresentou 18 ± 3 folhas verdes, valor semelhante ao do grupo controle (18 ± 2 folhas verdes), indicando tolerância inicial ao déficit hídrico sem perda imediata de área fotossintética. No oitavo mês, no entanto, o grupo sob estresse hídrico exibiu aumento significativo no número de folhas verdes, alcançando 28 ± 4 folhas, valor superior ao do controle com 19 ± 2 folhas verdes (Tukey, $p = 0,0013$). Esta resposta rápida ao crescimento foliar, no segundo mês de estresse hídrico pode ser interpretada como uma resposta compensatória induzida pelo estresse moderado, uma estratégia observada em algumas gramíneas, na qual inicialmente a produção de folhas aumenta como uma estratégia de otimização da fotossíntese e maximização da absorção de luz, buscando a captura e utilização eficiente dos recursos disponíveis (Zhang; Liu; Wang, 2023). Porém, à medida que a seca se prolonga, os recursos disponíveis, como água e nutrientes, tornam-se cada vez mais limitados. A partir do nono mês (após três meses sem irrigação), os efeitos do estresse prolongado tornaram-se severos. O número de folhas verdes no tratamento de suspensão de irrigação declinou em cerca de 8 folhas, para 21 ± 3 , enquanto o controle manteve 26 ± 3 folhas. Embora esta diferença no número de folhas não tenha sido estatisticamente significativa, notou-se a transição para um padrão de senescência induzida nas plantas sob estresse hídrico. Por outro lado, as plantas irrigadas apresentaram somente um curto período sem incremento no número de folhas, entre o sétimo e o oitavo mês, seguido de aumento mensais até o final do experimento

No décimo mês, a senescência intensificou-se nas plantas sob estresse hídrico, que apresentaram, em média, apenas 7 ± 3 folhas verdes, enquanto o controle apresentou 28 ± 3 folhas (Tukey, $p < 0,0001$). Um mês após o restabelecimento da irrigação (décimo primeiro mês), observou-se ausência total de folhas verdes no grupo seca (Tukey, $p < 0,0001$), confirmando a senescência completa da parte aérea nas plantas expostas a quatro meses de suspensão da irrigação. Esse padrão de perda progressiva da área foliar é atribuído à senescência induzida pelo déficit hídrico prolongado, processo regulado que promove a remobilização de nutrientes, como nitrogênio, para órgãos de reserva, garantindo a persistência da planta durante o período desfavorável (Tan *et al.*, 2023; Alberton *et*

al., 2019). A ausência de folhas verdes no décimo primeiro mês, mesmo após o retorno da irrigação, indica que o estresse severo não foi revertido imediatamente, sendo necessário um novo ciclo de crescimento a partir de meristemas basais preservados.

A resiliência da espécie foi demonstrada no décimo segundo mês, quando o grupo seca apresentou 42 ± 4 folhas verdes, valor equivalente ao do controle (46 ± 4 folhas; Tukey, $p = 0,2377$). Esse resultado evidencia que, em apenas um mês de reidratação, grande parte da área fotossintética foi restabelecida. A rápida recuperação da área foliar é essencial para a reposição das reservas de carbono gastas durante a rebrota e está associada à manutenção de estruturas subterrâneas viáveis e ao uso eficiente de reservas, estratégia amplamente descrita em espécies de savana tropical (Hoffmann *et al.*, 2004; Franco, 2002). Essa característica constitui uma adaptação chave para a sobrevivência no Cerrado, onde os ciclos de seca são sazonais e previsíveis, favorecendo espécies com elevada capacidade de rebrota e resistência ao estresse hídrico (Ribeiro & Walter, 2008; Hoffmann *et al.*, 2012). A rápida recuperação após a reidratação reflete mecanismos ecofisiológicos associados à plasticidade funcional e ao controle do balanço hídrico, típicos de espécies adaptadas a ambientes com forte sazonalidade climática (Chaves; Maroco; Pereira, 2003).

5.4. PERFILHAMENTO

A dinâmica de perfilhamento de *S. sanguineum* evidenciou uma resposta clara ao estresse hídrico, em consonância com os padrões observados para altura e produção foliar (Figura 6 e 7). Durante os seis primeiros meses, os indivíduos de ambos os grupos apresentaram aumento consistente no número de perfilhos, sem diferenças entre si.

A partir da imposição do déficit hídrico no sexto mês, os grupos exibiram respostas divergentes (Figura 8). No sétimo mês, as plantas mostraram tolerância inicial ao déficit hídrico, com 17 ± 2 perfilhos no grupo controle e 15 ± 1 no grupo seca, sem diferença significativa entre os grupos. No oitavo mês, no entanto, a resposta diferenciou-se estatisticamente: o grupo controle apresentou 18 ± 1 perfilhos, enquanto o grupo seca registrou 12 ± 2 perfilhos (Tukey, $p = 0,0013$).

Nos meses seguintes, a redução no número de perfilhos do grupo seca acentuou-se (Tukey, $p < 0,0001$). No nono mês, o grupo seca declinou para 9 ± 1 perfilhos, enquanto o controle continuou crescendo (18 ± 1 perfilhos). Ao final do décimo mês, o grupo sob estresse hídrico registrou 7 ± 1 perfilhos, representando uma perda superior a 50% em relação ao ápice observado no sexto mês (17 ± 3 perfilhos). Esse padrão indica que o estresse hídrico promoveu não apenas a senescência foliar, mas também a morte seletiva de perfilhos, estratégia que reduz a demanda evapotranspiratória e direciona recursos para órgãos subterrâneos (Sarath *et al.*, 2014; Moraes *et al.*, 2016). Em gramíneas como *Agropyron desertorum* e *Pseudoroegneria spicata*, o estresse hídrico severo reduz o número de folhas verdes, a taxa de iniciação de folhas e o número total de perfilhos, evidenciando efeitos negativos da seca prolongada sobre a demografia de perfilhos (Busso & Richards, 1995). No décimo primeiro mês, as plantas do grupo seca apresentaram completa ausência de perfilhos (Tukey, $p < 0,0001$), confirmando a senescência estrutural completa: toda a parte aérea constituída por colmos senesceu, restando apenas as gemas basais e o sistema radicular.

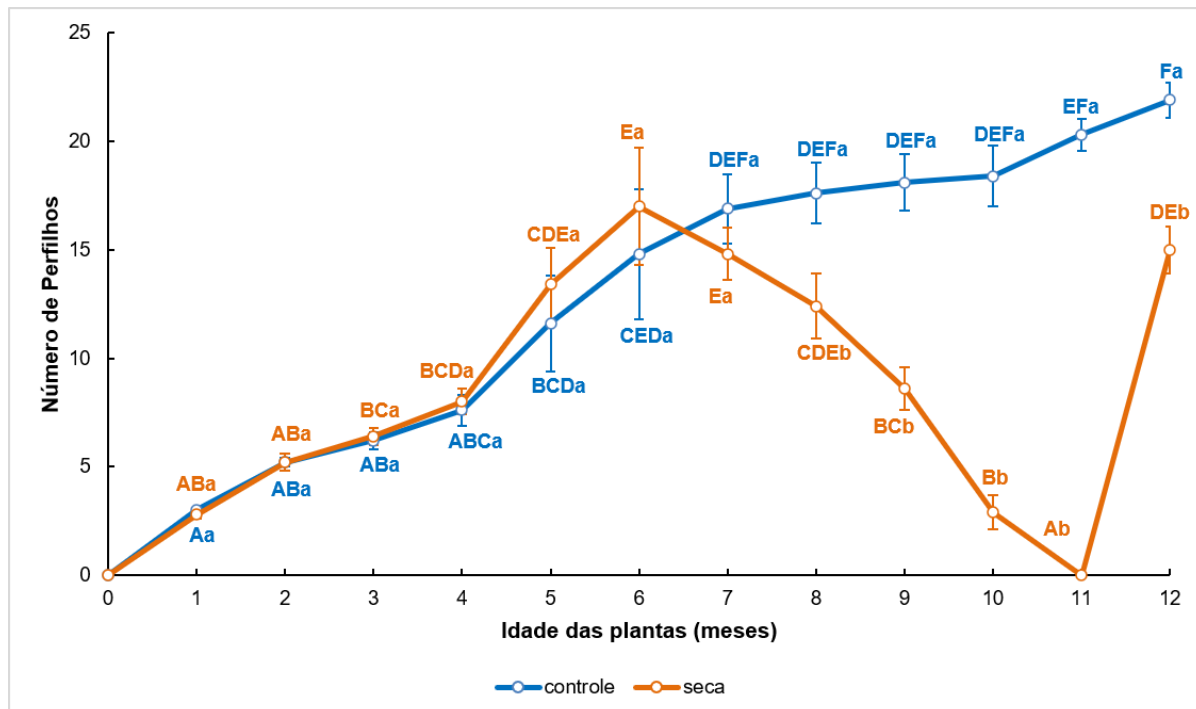


Figura 8. Número de perfilhos de *S. sanguineum* ao longo de 12 meses, submetidos a um tratamento de déficit hídrico por um período de 4 meses. Letras maiúsculas comparam meses dentro do mesmo tratamento. Mesma letra = não diferem; letras diferentes = diferem (Tukey, $p \leq 0,05$). Letras minúsculas comparam Controle vs. Seca dentro do mesmo mês (não entre meses). Mesma letra = não diferem;

letras diferentes = diferem (Tukey, $p \leq 0,05$). As letras do Controle e da Seca são independentes. As barras indicam o erro padrão da média.

No décimo segundo mês, observou-se rebrote rápido, resultando em 15 ± 2 perfilhos nas plantas que tiveram o suprimento hídrico retomado (Tukey, $p = 0,0005$). Este valor representa uma recuperação expressiva, alcançando cerca de 70% do número de perfilhos do controle (22 ± 1 perfilhos). Esse resultado revela que, em apenas um mês de reidratação, grande parte da área fotossintética foi restabelecida (conforme demonstrado na seção 5.3), mas não a estrutura aérea completa. O perfilhamento representa um tecido de alto custo metabólico para a planta, pois envolve a formação de novos meristemas, alongamento de entrenós e desenvolvimento de tecidos de suporte, demandando considerável investimento de fotoassimilados (Irving, 2015). Portanto, sob condições de estresse seguido de reidratação, não seria vantajoso investir imediatamente na produção de novos perfilhos, sendo mais estratégico priorizar a alocação de recursos para a produção de tecidos fotossintetizantes (folhas), visando recompor rapidamente a capacidade de fixação de carbono. Posteriormente, os fotoassimilados são direcionados para o pleno desenvolvimento morfológico (perfilhos) (Hoffmann *et al.*, 2004; Franco, 2002). Esse padrão confirma a estratégia de tolerância inferida a partir dos dados de altura e folhas verdes: a planta senesce sua biomassa aérea durante o estresse e regenera nova biomassa aérea após a reidratação, caracterizando um mecanismo de senescência programada reversível, quiescência e rebrote, distinto da senescência terminal de plantas anuais (Tan *et al.*, 2023; Alberton *et al.*, 2019; Klimešová *et al.*, 2023a, 2023b; Flemmer; Busso; Fernandez, 2002).

5.5. INTERAÇÃO: CRESCIMENTO VEGETATIVO E DÉFICIT HÍDRICO

Para avaliar os efeitos do déficit hídrico e do tempo sobre o crescimento de *S. sanguineum*, bem como a interação entre esses fatores, foi aplicada uma Análise de Variância (ANOVA) Tipo III, cujos resultados são apresentados na Tabela 5. Devido à mortalidade de cinco indivíduos no grupo seca ao longo do experimento (controle, $n = 10$; seca, $n = 5$), os dados tornaram-se desbalanceados, o que justifica o uso da ANOVA Tipo III por sua robustez em tais condições.

O efeito principal do tempo (T) foi significativo para todas as variáveis analisadas (Tabela 5), indicando que, independentemente do tratamento, o número

de meses de cultivo influenciou a altura, o número de folhas e o número de perfilhos. O efeito principal do déficit hídrico (D) também foi significativo para todas as variáveis (Tabela 5), confirmando que a suspensão da irrigação afetou o crescimento da planta em comparação ao grupo controle.

A interação entre déficit hídrico e tempo (D × T) foi significativa para altura, número de folhas e número de perfilhos (Tabela 5), indicando que o efeito do estresse hídrico sobre essas variáveis variou ao longo do tempo. Essa interação significativa reflete uma sequência adaptativa (seções 5.2, 5.3 e 5.4): tolerância inicial ao déficit hídrico (primeiros meses de estresse), resposta compensatória no oitavo mês (aumento do número de folhas), senescência progressiva da parte aérea entre o nono e o décimo primeiro mês e recuperação após a reidratação no décimo segundo mês. Essa sequência caracteriza um mecanismo de escape fenológico, no qual a planta não mantém suas estruturas aéreas sob déficit hídrico severo. Ao contrário, ocorre a senescência das estruturas aéreas não essenciais, culminando na perda da biomassa aérea, o que reduz a demanda hídrica por transpiração e permite a entrada em estado de quiescência metabólica (Loka *et al.*, 2018; Bhattacharya, 2021).

Tabela 5. Resultados da ANOVA Tipo III para os efeitos do déficit hídrico (D), do tempo (T) e de sua interação (D×T) sobre as variáveis de crescimento de *Schizachyrium sanguineum*. D*T (interação); g.l. (graus de liberdade).

Variável dependente	Fator	g. l.	F	p
Altura	D	1	133,47	< 0,001
	T	11	50,68	< 0,001
	D × T	11	32,27	< 0,001
Número de folhas	D	1	18,70	< 0,001
	T	11	47,23	< 0,001
	D × T	11	16,22	< 0,001
Número de perfilhos	D	1	55,55	< 0,001
	T	11	22,21	< 0,001
	D × T	11	14,39	< 0,001

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Esse padrão de resposta é consistente com o observado em outras gramíneas perenes de savanas tropicais, nas quais a senescência induzida por estresse e o subsequente rebrote a partir de gemas basais ou órgãos subterrâneos são estratégias adaptativas fundamentais para a persistência em ambientes com sazonalidade

hídrica pronunciada (Hoffmann *et al.*, 2012; Moraes *et al.*, 2016). No Cerrado, onde a estação seca pode se estender por cinco a seis meses, espécies que entram em quiescência funcional durante o período desfavorável e rebrotam rapidamente com o retorno das chuvas apresentam vantagens competitivas significativas (Franco, 2002; Ribeiro & Walter, 2008).

Após a reidratação, a capacidade fotossintética foi restabelecida em um mês (seção 5.3), atingindo equivalência estatística com o controle, enquanto a regeneração da altura e dos perfilhos (seções 5.2 e 5.4) mostrou-se mais lenta, ainda em progressão ao final do experimento. Essa sequência, primeiro a função fotossintética e depois a estrutura completa, é energeticamente eficiente e otimiza a sobrevivência. Portanto, a estratégia de *S. sanguineum* combina baixo custo durante o estresse (senescência e quiescência) com alta eficiência na janela de oportunidade (rebrote rápido), posicionando a espécie como adaptada a regimes de estresse hídrico sazonais, como os do Cerrado.

5.6. ARQUITETURA DO SISTEMA RADICULAR

A arquitetura do sistema radicular, definida por sua profundidade, espessura e distribuição espacial, é um conjunto de traços morfofuncionais decisivos para a estratégia de uma planta frente ao déficit hídrico. Em gramíneas do Cerrado, a plasticidade dessas características determina a eficiência na exploração da água e a alocação de carbono, sendo fundamental para a sobrevivência e recuperação após períodos de seca (Souza *et al.*, 2005; Klimesová *et al.*, 2023). Esta análise integra as medidas de comprimento máximo (profundidade), diâmetro da base, extensão total, área de superfície radicular, área projetada no solo e volume de solo ocupado para compreender como *S. sanguineum* modelou sua estrutura radicular em resposta à seca e à reidratação.

Aos 6 meses de idade, as plantas eram morfologicamente homogêneas. O comprimento máximo das raízes foi de $48,5 \pm 12,8$ cm no grupo controle e $45,9 \pm 6,9$ cm no grupo seca; o diâmetro radicular foi de $0,03 \pm 0,01$ cm em ambos os grupos; a extensão total do sistema radicular foi de $850,9 \pm 662,7$ cm (controle) e $842,6 \pm 245,4$ cm (seca); a área de superfície radicular foi de $81,11 \pm 55,24$ cm² (controle) e $78,45 \pm 32,32$ cm² (seca); a área projetada no solo foi de $0,78 \pm 0,40$ m² (controle) e $0,67 \pm$

0,21 m² (seca); e o volume de solo ocupado foi de 278,7 ± 199,8 L (controle) e 214,2 ± 99,5 L (seca).

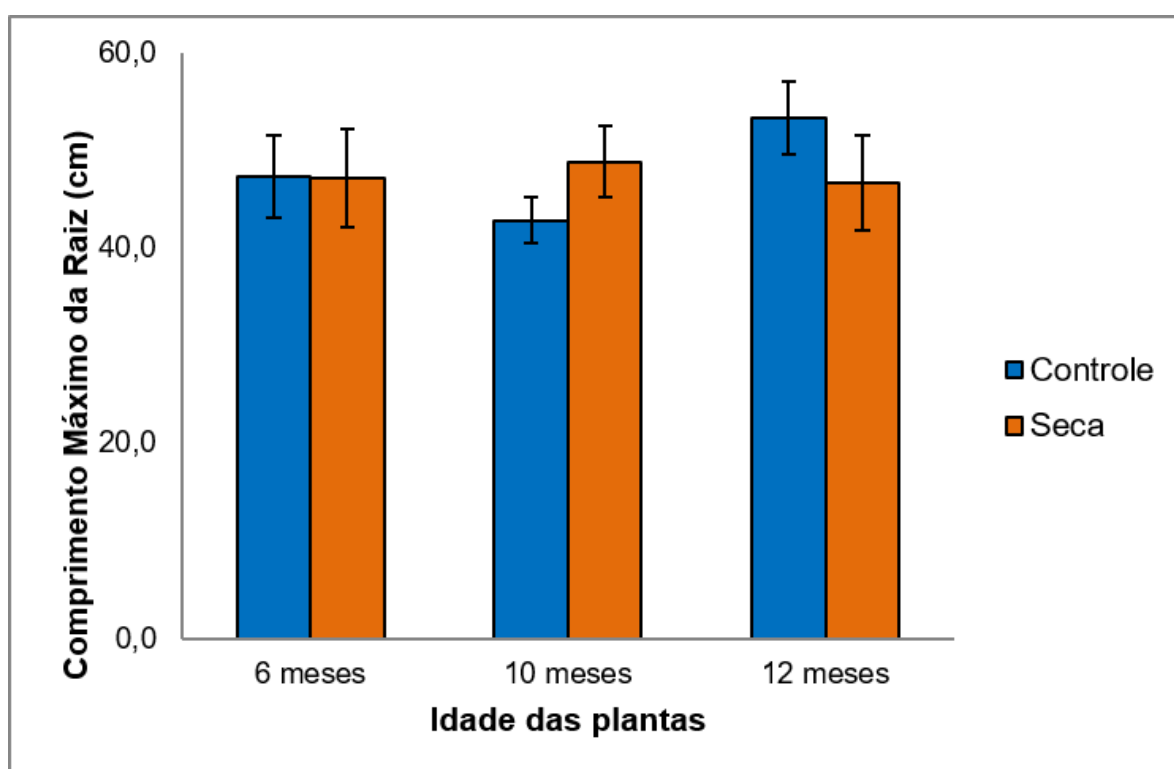


Figura 9. Comprimento máximo da raiz (cm) ao longo do tempo, em indivíduos de *S. sanguineum* submetidos ao déficit hídrico. As barras indicam o erro padrão da média. Não houve diferenças significativas entre os grupos.

No ápice do estresse hídrico, aos 10 meses, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos para o comprimento máximo das raízes (controle: 42,8 ± 7,6 cm; seca: 48,9 ± 15,4 cm; Figura 9) e para o diâmetro radicular (controle: 0,02 ± 0,00 cm; seca: 0,02 ± 0,01 cm; Figura 10). Observou-se, no entanto, uma tendência de raízes proporcionalmente mais longas e finas no grupo seca, o que é consistente com uma estratégia de otimização da exploração hídrica: raízes longas e finas maximizam o volume de solo explorado por unidade de carbono investido, priorizando a busca por umidade em camadas mais profundas (Ehlers *et al.*, 1991; Naz *et al.*, 2014).

Estudos globais de distribuição de raízes indicam que, para o bioma de savanas tropicais, a profundidade radicular máxima média registrada é de 15,0 ± 5,4 m (Canadell *et al.*, 1996). Contudo, esse valor é uma média para todo o bioma, que inclui desde árvores até gramíneas. Quando analisadas separadamente, a

profundidade máxima de raízes para plantas herbáceas (incluindo as gramíneas) é de $2,6 \pm 0,1$ m (Canadell *et al.*, 1996).

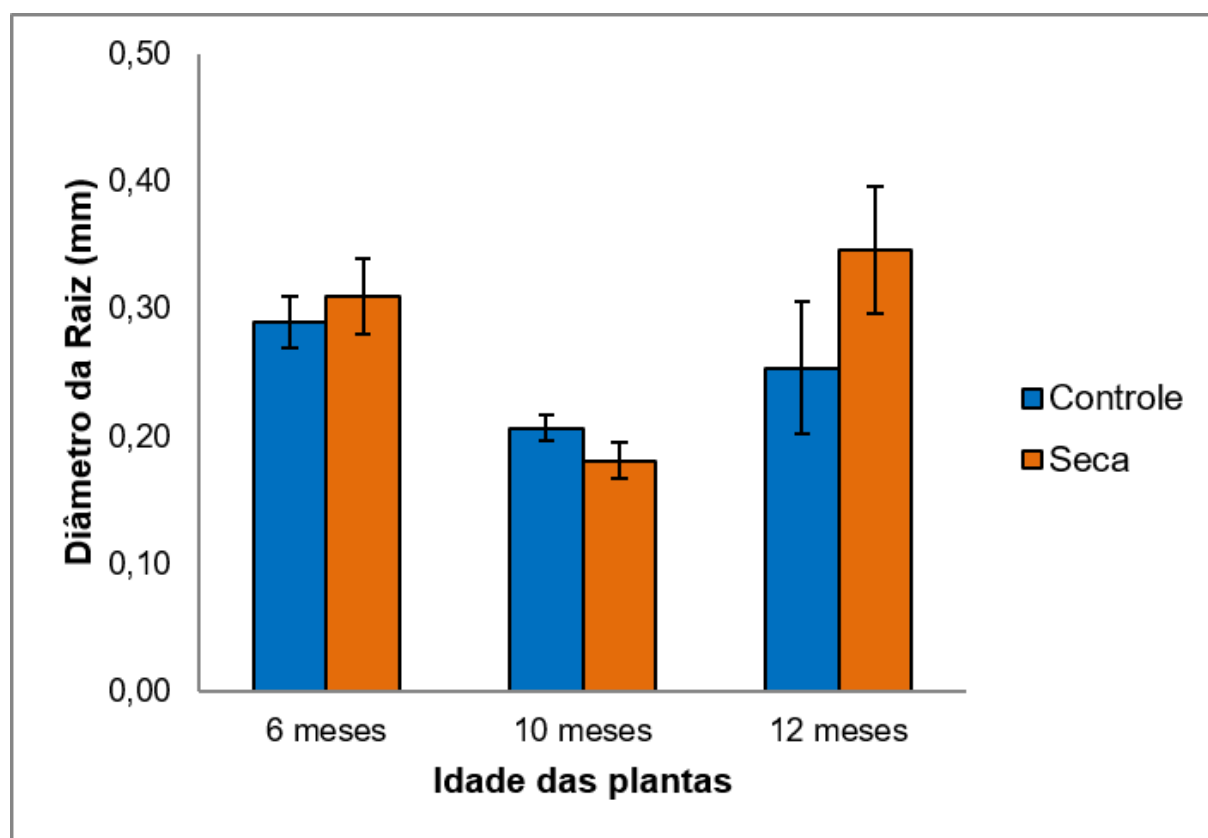


Figura 10. Diâmetro da raiz (mm) em indivíduos de *S. sanguineum* submetidos ao déficit hídrico. As barras indicam o erro padrão da média. Não houve diferenças significativas entre os grupos.

No Cerrado, as gramíneas nativas apresentam sistemas radiculares predominantemente superficiais, com profundidades típicas variando entre 0,5 e 2,0 m (Ramos *et al.*, 2017; Silva & Klink, 2001; Oliveira *et al.*, 2005), embora algumas espécies possam atingir até 4 m em solos mais profundos. Os valores de comprimento máximo das raízes observados para *S. sanguineum* (42,8 a 48,9 cm) estão dentro do limite inferior desse intervalo, o que é consistente com o porte cespitoso da espécie.

A área de superfície radicular total foi significativamente afetada pelo déficit hídrico (Figura 11). Aos 10 meses, as plantas sob estresse hídrico apresentaram área de superfície radicular de $119,41 \pm 69,17$ cm², valor 48% menor do que o observado no grupo controle ($232,07 \pm 136,63$ cm²; teste t, $p = 0,0299$).

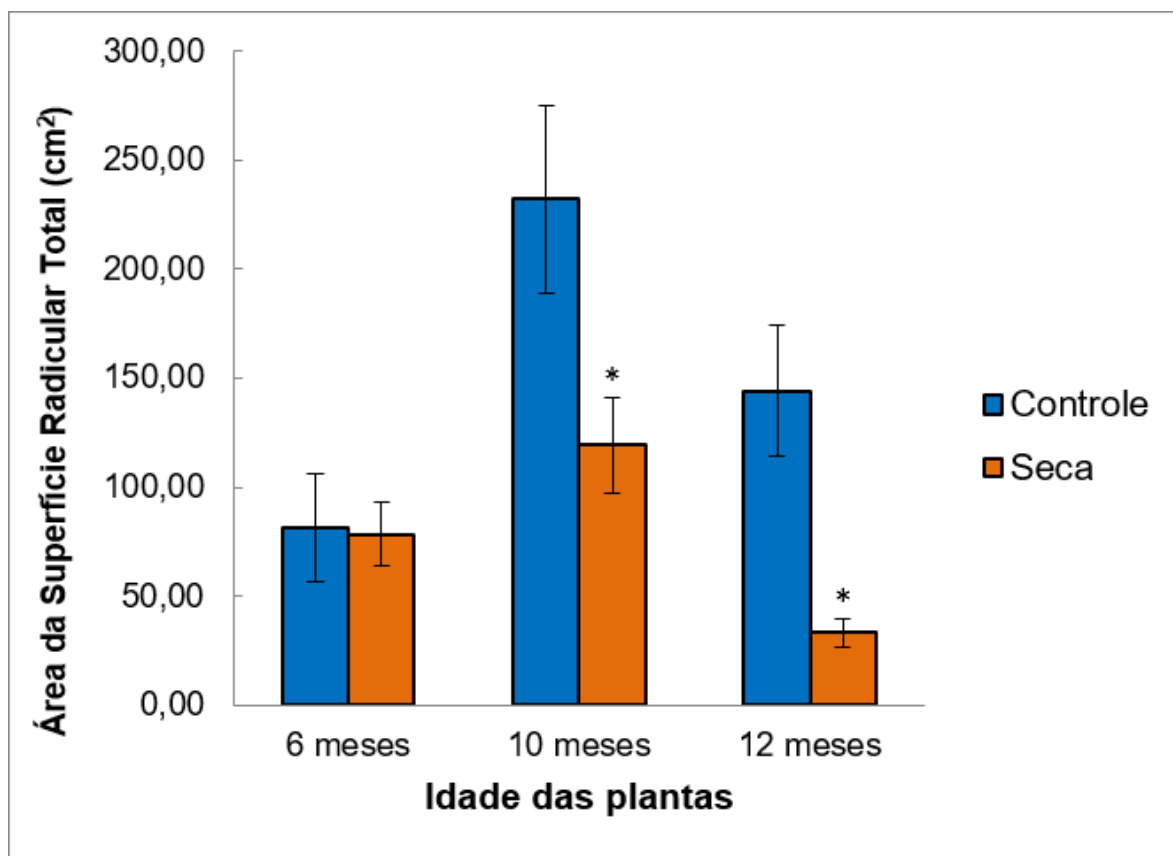


Figura 11. Área da Superfície Radicular (cm²) em indivíduos de *S. sanguineum* submetidos ao déficit hídrico. Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas (Teste t, *: p<0,05; **: p<0,005; ***: p<0,0005). As barras indicam o erro padrão da média.

A redução da ramificação e da expansão lateral das raízes é atribuída à senescência de raízes finas periféricas, processo que permite o direcionamento de carbono para a manutenção de estruturas essenciais e para o acúmulo de reservas (Moraes *et al.*, 2016). A extensão total do sistema radicular, que representa o comprimento somado de todas as raízes de um indivíduo, também foi significativamente afetada pelo déficit hídrico (Figura 12). Aos 10 meses, o grupo controle apresentou extensão total de $3412,1 \pm 562,3$ cm, valor superior ao do grupo seca ($1978,5 \pm 316,2$ cm; teste t, $p = 0,0363$). Aos 12 meses, o grupo controle atingiu $1833,8 \pm 180,2$ cm, enquanto o grupo seca registrou $346,9 \pm 90,1$ cm (teste t, $p = 0,0002$). Esses dados indicam que, sob estresse hídrico, houve redução tanto da ramificação quanto do crescimento em comprimento das raízes, com manutenção de uma estrutura radicular reduzida.

As demais variáveis não apresentaram diferenças significativas entre os grupos: área projetada no solo (controle: $0,59 \pm 0,07$ m²; seca: $0,82 \pm 0,18$ m²) e volume de solo ocupado (controle: $0,18 \pm 0,09$ m³; seca: $0,32 \pm 0,34$ m³). O grupo

seca exibiu maior variabilidade no volume de solo ocupado, possivelmente refletindo respostas individuais heterogêneas ao estresse prolongado.

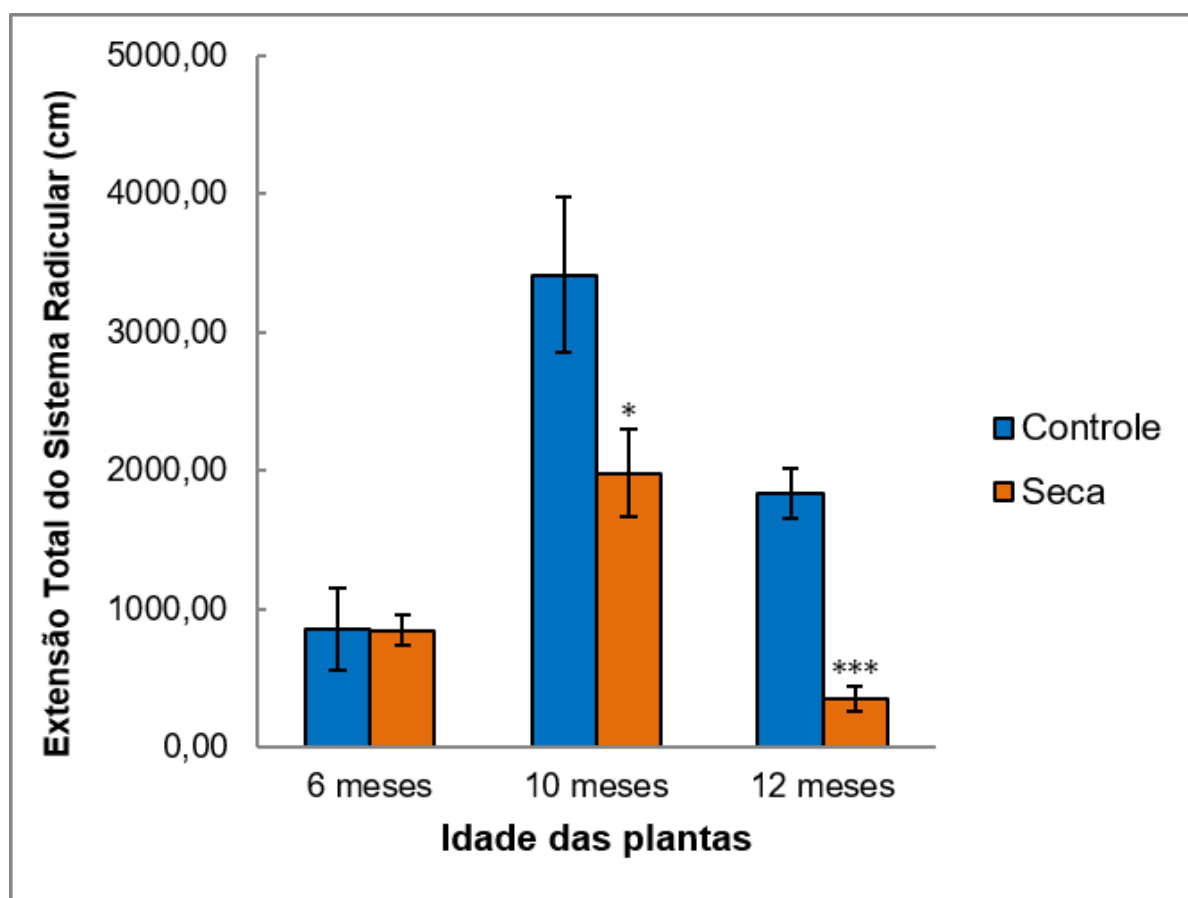


Figura 12. Extensão total do sistema radicular (cm) em indivíduos de *S. sanguineum* submetidos ao déficit hídrico. Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas (Teste t, *: $p < 0,05$; **: $p < 0,005$; ***: $p < 0,0005$). As barras indicam o erro padrão da média.

A área de superfície radicular total no grupo seca ($33,33 \pm 6,63 \text{ cm}^2$) foi 77% menor do que a do controle ($144,09 \pm 30,02 \text{ cm}^2$; teste t, $p = 0,0190$). Mesmo após dois meses de reidratação e com rebrote aéreo, não houve reinvestimento na expansão da superfície radicular. Observou-se a consolidação do sistema existente, com espessamento das raízes e acúmulo de reservas, em detrimento da ramificação e da ocupação de novas áreas do solo.

A área projetada no solo (controle: $0,93 \pm 0,13 \text{ m}^2$; seca: $0,71 \pm 0,16 \text{ m}^2$; Figura 14) e o volume de solo ocupado (controle: $0,36 \pm 0,23 \text{ m}^3$; seca: $0,24 \pm 0,19 \text{ m}^3$; Figura 13) não diferiram significativamente entre os tratamentos aos 12 meses, indicando que a recuperação da capacidade de exploração espacial do solo foi limitada dentro do período analisado.

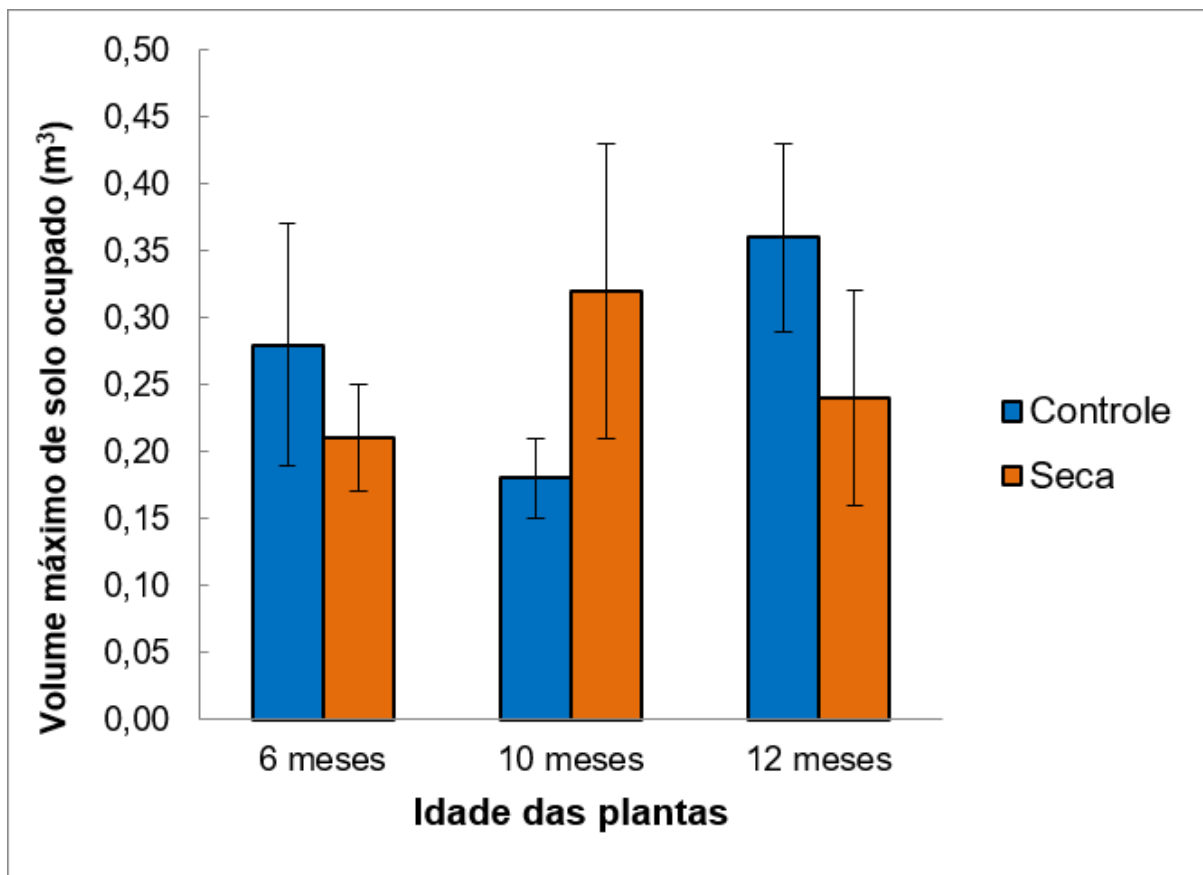


Figura 13. Volume máximo ocupado (m^3) em indivíduos de *S. sanguineum* submetidos ao déficit hídrico. As barras indicam o erro padrão da média. Não houve diferenças significativas entre os grupos.

O conjunto de dados referentes à arquitetura radicular de *S. sanguineum* corrobora uma plasticidade estratégica que sustenta sua tolerância à seca. Sob estresse severo (10 meses), observou-se tendência de alongamento das raízes, associada à redução da superfície de contato e da ramificação. Com o retorno da água (12 meses), ocorreu espessamento das raízes, com priorização do armazenamento de reservas e o suporte ao rebrote aéreo, em detrimento da expansão da superfície absorptiva.

Durante a seca, não há investimento em uma ampla rede de raízes finas para absorção, uma vez que essa estrutura seria ineficiente na ausência de água no solo. A planta preserva uma infraestrutura radicular reduzida, que atua como órgão de reserva, com acúmulo de amido. Com a reidratação, as reservas acumuladas são mobilizadas para o rebrote das folhas, que restabelecem a fotossíntese e passam a ser fonte de carbono. O carbono produzido é subsequentemente reinvestido no crescimento e na expansão das raízes. Essa plasticidade na arquitetura é

fundamental para a persistência da espécie no Cerrado (Klimešová *et al.*, 2023; Hoffmann *et al.*, 2012).

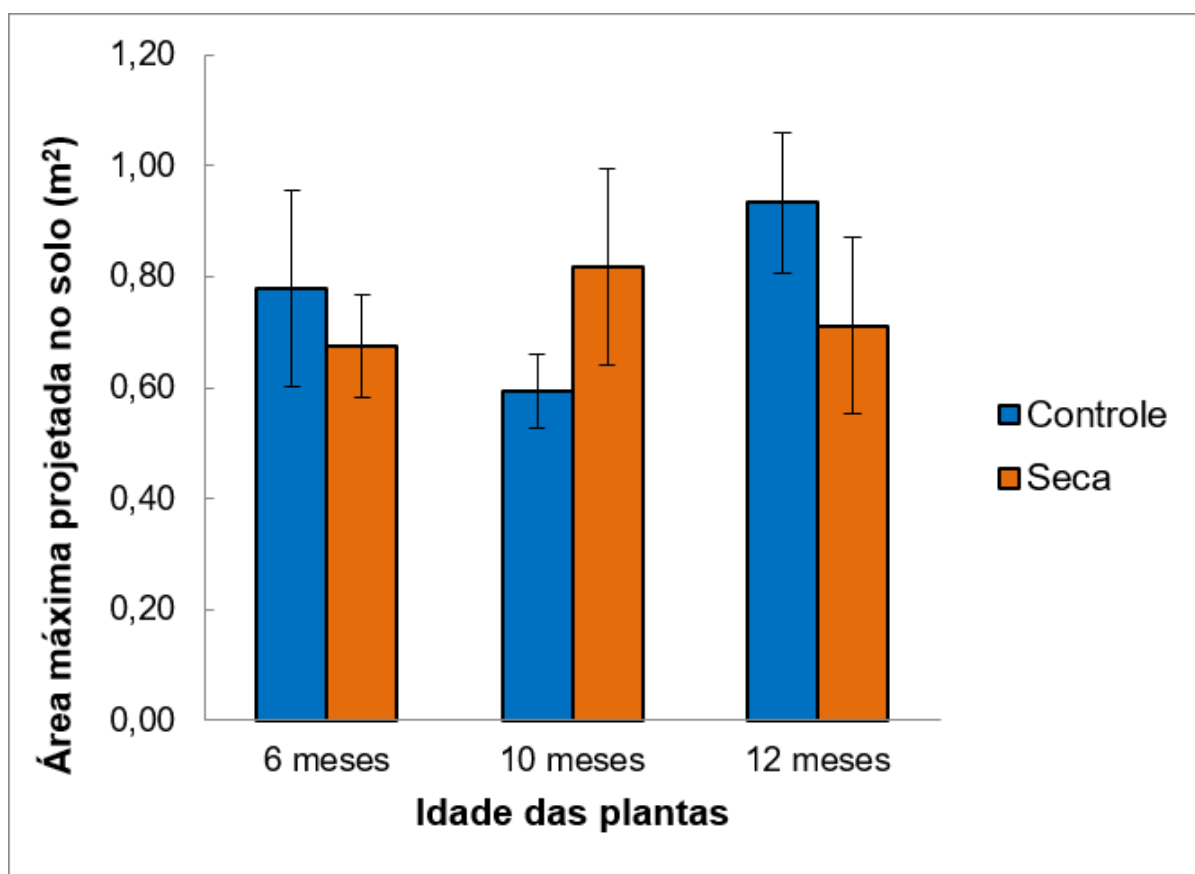


Figura 14. Área máxima projetada no solo (m²) em indivíduos de *S. sanguineum* submetidos ao déficit hídrico. As barras indicam o erro padrão da média. Não houve diferenças significativas entre os grupos.

Aos 12 meses de idade, as plantas do grupo controle apresentaram volume médio de solo ocupado de $0,36 \pm 0,23$ m³, enquanto as plantas previamente submetidas à seca mantiveram valores inferiores ($0,24 \pm 0,19$ m³), sem diferença estatisticamente significativa entre os grupos.

O Cerrado é caracterizado por solos profundos, bem drenados e com baixa capacidade de retenção de água nas camadas superficiais durante a estação seca (Ribeiro & Walter, 2008). Nesse contexto, a capacidade de explorar um grande volume de solo, especialmente em profundidade, é determinante para o acesso a reservas hídricas remanescentes em camadas mais profundas do perfil do solo. O volume máximo de solo ocupado estimado para *S. sanguineum* (até 0,64 m³ para o maior indivíduo) é modesto quando comparado ao de árvores do Cerrado, que podem explorar volumes muito superiores devido a sistemas radiculares mais profundos e

extensos (Jackson *et al.*, 1999a, 1999b). Não foram encontrados na literatura valores de volume de solo ocupado especificamente para gramíneas do Cerrado com os quais comparar diretamente os resultados obtidos.



Figura 15. Indivíduos de *Schizachyrium sanguineum* cultivados em casa de vegetação com 12 meses de idade submetidos ao regime hídrico constante (controle; à esquerda) e submetidos ao regime de estresse hídrico (à direita).

No entanto, com base nos dados de profundidade radicular típica para gramíneas (0,5 a 2,0 m) e nos valores de área projetada no solo observados (0,59 a 0,93 m²), o volume estimado para *S. sanguineum* está dentro do esperado para uma gramínea cespitosa de porte relativamente pequeno. Sua estratégia não envolve o acesso a reservas de água mais profundas, mas sim a otimização da relação entre o volume de solo explorado e o custo de construção e manutenção do sistema radicular.

A plasticidade observada no volume ocupado, com plantas sob estresse apresentando valores médios de 0,32 m³ aos 10 meses, valor superior ao do controle (0,18 m³), indica que, durante a seca, o volume de solo explorado foi mantido ou ligeiramente aumentado, possivelmente para acesso a água remanescente em profundidade. Esse padrão é consistente com o observado para espécies lenhosas do Cerrado, que apresentam sistemas radiculares profundos como estratégia de

acesso à água durante a estação seca (Jackson *et al.*, 1999a, 1999b). As gramíneas, por outro lado, por apresentarem raízes mais superficiais, dependem principalmente da umidade das camadas superiores do solo e de mecanismos de tolerância à seca, como a senescência programada da parte aérea e o rebrote (Moraes *et al.*, 2016; Hoffmann *et al.*, 2012).

Após a reidratação, o volume ocupado pelas plantas do grupo seca (0,24 m³) não retornou aos níveis do controle (0,36 m³), indicando que a recuperação da capacidade de exploração espacial do solo é mais lenta do que a recuperação da parte aérea. Esse padrão corrobora a hipótese de que, na fase imediatamente posterior ao estresse, o rebrote e o armazenamento de reservas são priorizados em detrimento da expansão do sistema radicular (Moraes *et al.*, 2016; Klimešová *et al.*, 2023).

O modelo hemisférico adotado apresenta limitações. Embora amplamente utilizado na literatura (Canadell *et al.*, 1996; Jackson *et al.*, 1999a, 1999b), a aproximação de um hemisfério perfeito pode subestimar ou superestimar o volume real de solo ocupado, especialmente em espécies com sistemas radiculares assimétricos ou fortemente direcionados verticalmente. Para fins de comparação entre tratamentos e ao longo do tempo, o modelo fornece uma métrica padronizada e ecologicamente informativa, permitindo integrar dados morfológicos a interpretações ecofisiológicas.

5.7. CARBOIDRATOS NÃO-ESTRUTURAIS

Os carboidratos não estruturais (CNEs), como os Açúcares Solúveis Totais (AST) e o amido, desempenham funções centrais no metabolismo e na tolerância ao estresse em gramíneas. Atuam tanto como solutos compatíveis para o ajuste osmótico quanto como reservas energéticas fundamentais para a manutenção metabólica e a recuperação pós-estresse (Souza *et al.*, 2005; Furquim *et al.*, 2018). Especificamente, os açúcares solúveis, produzidos via fotossíntese, são fonte imediata de energia e os precursores bioquímicos para a síntese de amido, que é a principal reserva de carbono de longo prazo nas plantas. Em gramíneas perenes do Cerrado, a partição dessas reservas entre a parte aérea e o sistema radicular constitui uma estratégia fundamental de tolerância à seca, viabilizando a sobrevivência durante a estação desfavorável e o rebrote na estação chuvosa (Moraes *et al.*, 2013, 2016).

As concentrações de AST e amido na parte aérea e radicular foram determinadas em três momentos: pré-estresse (mês 6), final do déficit hídrico (mês 10) e após a recuperação (mês 12) (Figura 16). No mês 6, os teores de CNEs foram equivalentes entre os grupos. Na parte aérea, as concentrações de AST (controle: $2,45 \pm 0,62\%$; seca: $2,49 \pm 0,58\%$) e amido (controle: $0,37 \pm 0,11\%$; seca: $0,39 \pm 0,13\%$) não diferiram entre os grupos. No sistema radicular, o mesmo padrão foi observado para AST (controle: $2,84 \pm 0,49\%$; seca: $2,73 \pm 0,37\%$) e amido (controle: $0,44 \pm 0,09\%$; seca: $0,43 \pm 0,09\%$).

Ao final do estresse hídrico (mês 10), a coleta para análise bioquímica incluiu toda a biomassa aérea remanescente do grupo seca (folhas e colmos senescentes e secos, mas ainda presos à planta). Os valores reportados para a parte aérea referem-se, portanto, aos compostos retidos nesses tecidos, não a produtos de fotossíntese ativa. Na parte aérea, os teores de AST (controle: $3,57 \pm 0,31\%$; seca: $2,95 \pm 0,44\%$) e amido (controle: $1,27 \pm 0,22\%$; seca: $1,48 \pm 0,12\%$) não diferiram entre os grupos.

No sistema radicular, observou-se redução significativa no teor de AST no grupo seca ($3,26 \pm 0,23\%$) em relação ao controle ($4,48 \pm 0,38\%$; teste t, $p = 0,0283$) e acúmulo de amido no grupo seca ($1,44 \pm 0,07\%$) em comparação ao controle ($0,18 \pm 0,06\%$; teste t, $p = 0,0075$) (Figura 16). Essa combinação de redução de açúcares solúveis e aumento de amido nas raízes indica o redirecionamento de carbono para o estoque de longo prazo no sistema radicular, consistente com respostas adaptativas documentadas em gramíneas do Cerrado sob estresse (Souza *et al.*, 2005; Furquim *et al.*, 2018; Moraes *et al.*, 2013, 2016).

Na fase de recuperação (mês 12), dois meses após a reidratação, a parte aérea do grupo controle apresentou teores superiores de AST ($4,16 \pm 0,09\%$) em relação ao grupo seca ($3,66 \pm 0,10\%$; teste t, $p = 0,0131$), com padrão inverso em relação ao amido (controle: $1,72 \pm 0,11\%$; seca: $2,40 \pm 0,26\%$; teste t, $p = 0,0278$). Essa diferença reflete a atividade fotossintética constante do grupo controle durante os 12 meses. Nas raízes, os níveis de AST igualaram-se entre os grupos (controle: $3,41 \pm 0,32\%$; seca: $3,13 \pm 0,28\%$), e as concentrações de amido foram equivalentes (controle: $1,57 \pm 0,03\%$; seca: $1,60 \pm 0,05\%$). A preservação do amido nas raízes do grupo seca em níveis equivalentes aos do controle indica que o carbono mobilizado durante o rebrote não esgotou as reservas subterrâneas, característica adaptativa para espécies perenes sujeitas a estresses recorrentes (Moraes *et al.*, 2013, 2016).

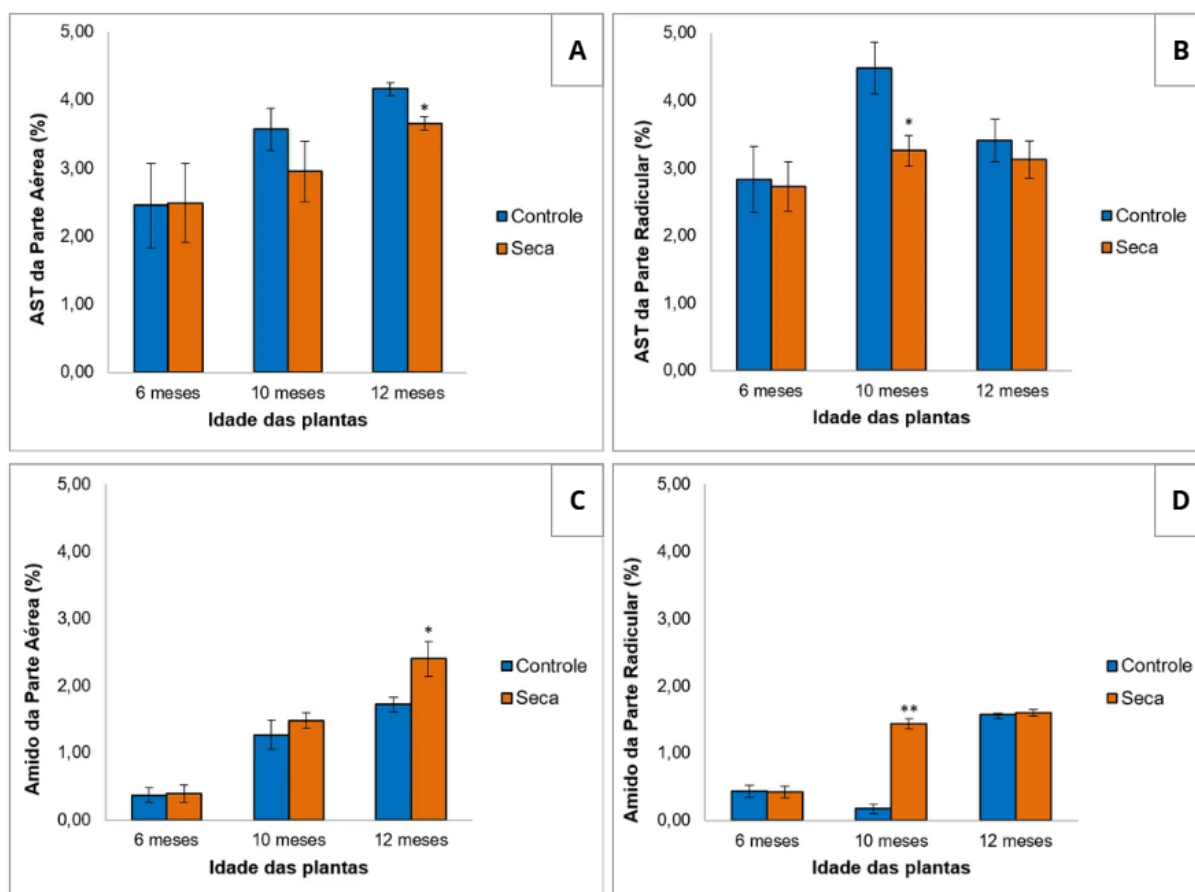


Figura 16. Distribuição dos valores em função de tempo de Açúcares Solúveis Totais (AST) e Amido da parte aérea (folhas) e das raízes observados em indivíduos de *S. sanguineum* submetidos a tratamento de déficit hídrico. Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas (Teste t, *: $p < 0,05$; **: $p < 0,005$; ***: $p < 0,0005$). As barras indicam o erro padrão da média.

Em síntese, a variação dos CNEs em *S. sanguineum* revela a seguinte estratégia metabólica: (1) na fase de estresse severo, os teores de AST e amido na parte aérea mantêm-se inalterados; nas raízes, ocorre redução de AST e acúmulo de amido, consistente com o redirecionamento do carbono para estoque de longo prazo; (2) na fase de recuperação, parte do amido radicular é mobilizada para o rebrote das folhas, restabelecendo a fotossíntese, enquanto a maior parte do estoque é preservada, assegurando capacidade de resposta a estresses futuros (Moraes *et al.*, 2013, 2016).

5.8. ACÚMULO E DISTRIBUIÇÃO DE BIOMASSA

Os valores de biomassa seca refletem o resultado do crescimento e da partição de matéria orgânica (Souza *et al.*, 2005). Em gramíneas do Cerrado, a biomassa seca da parte aérea (BSPA) está relacionada à capacidade fotossintética, enquanto a

biomassa seca da parte radicular (BSPR) sustenta a absorção de recursos e atua como local de armazenamento de reservas (Moraes *et al.*, 2013). Aos 6 meses, não houve diferenças significativas entre os grupos para BSPA (controle: $0,74 \pm 0,08$ g; seca: $0,88 \pm 0,22$ g), BSPR (controle: $0,26 \pm 0,05$ g; seca: $0,23 \pm 0,04$ g) e razão BSPR/BSPA (controle: $0,38 \pm 0,07$; seca: $0,46 \pm 0,04$; Figura 17).

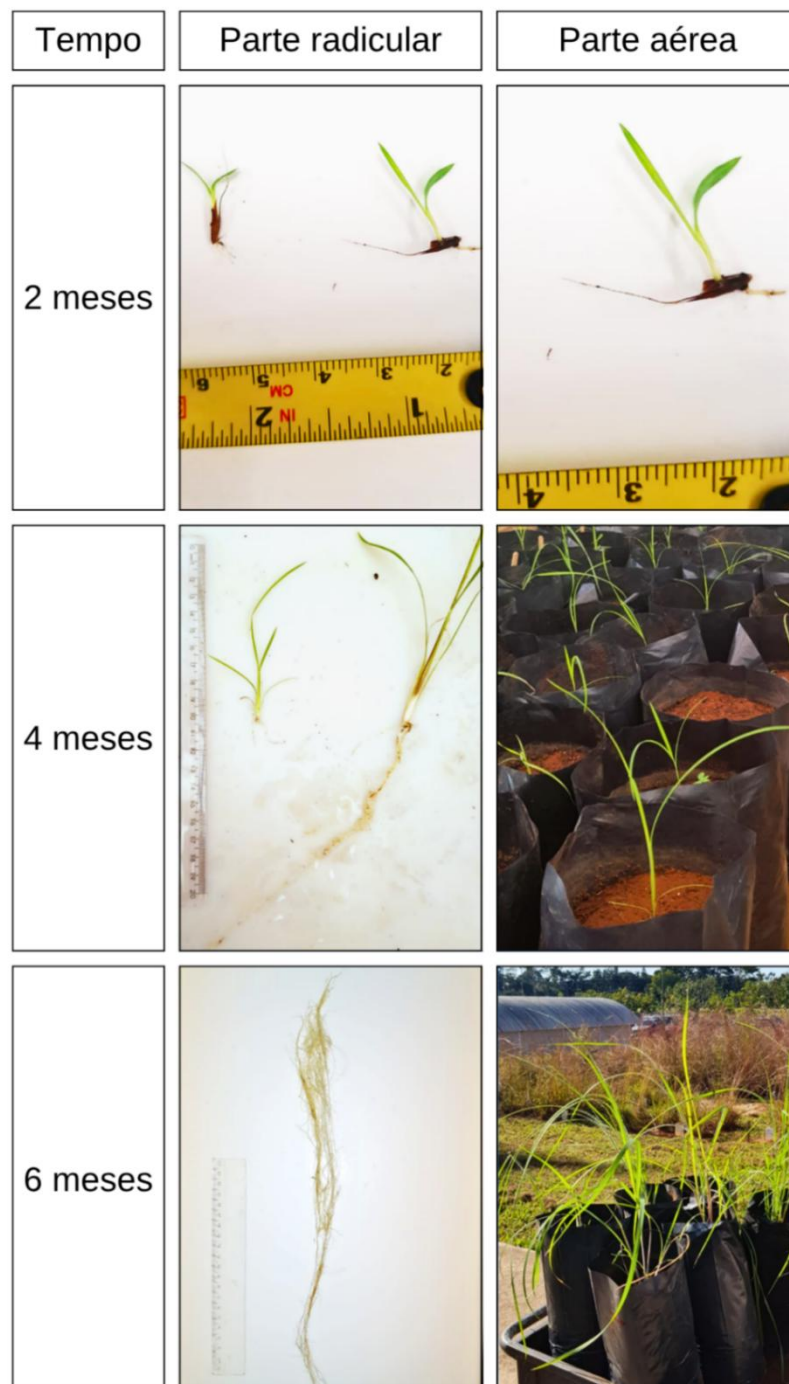


Figura 17. Desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular de *Schizachyrium sanguineum* aos 2, 4 e 6 meses de idade, sob condições de irrigação adequada. Observa-se o crescimento progressivo da parte aérea (perfilhos e folhas) e a expansão do sistema radicular ao longo do tempo.

Após quatro meses de privação hídrica (mês 10), o grupo controle apresentou BSPA de $1,13 \pm 0,25$ g, enquanto o grupo seca registrou $0,35 \pm 0,06$ g (teste t, $p = 0,0013$), uma redução de 69%. A BSPR do grupo seca ($0,22 \pm 0,04$ g) não diferiu do controle ($0,27 \pm 0,05$ g). A razão BSPR/BSPA do grupo seca ($0,86 \pm 0,15$) foi superior à do controle ($0,29 \pm 0,04$; teste t, $p = 0,0110$). Essa diferença decorre primariamente da perda de biomassa aérea, não de um aumento na biomassa radicular. Essa mudança na distribuição de biomassa indica a transição para um estado de persistência, com alocação para o sistema radicular (Klimešová *et al.*, 2023) (Figura 18).

Dois meses após a reidratação (mês 12), o grupo seca apresentou retomada do crescimento da parte aérea, com BSPA de $0,84 \pm 0,17$ g, valor 66% inferior ao do controle ($2,50 \pm 0,26$ g; teste t, $p = 0,0003$). A BSPR do grupo seca ($0,44 \pm 0,11$ g) foi 43% menor que a do controle ($0,77 \pm 0,08$ g; teste t, $p = 0,0339$), indicando que a regeneração completa do sistema radicular demanda período superior ao monitorado. A razão BSPR/BSPA do grupo seca ($0,68 \pm 0,25$) permaneceu superior à do controle ($0,32 \pm 0,03$; teste t, $p = 0,0499$), indicando alocação preferencial para o sistema radicular mesmo após a recuperação, padrão que reflete a conservação de recursos para resposta a eventos futuros de estresse (Moraes *et al.*, 2016) (Figura 19).

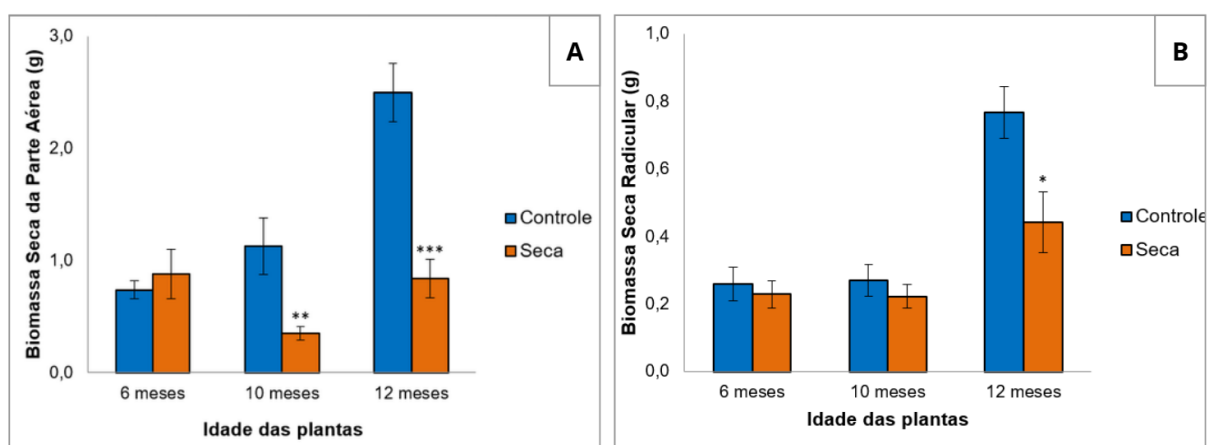


Figura 18. Biomassa Seca da Parte Aérea (BSPA) e das Raízes (BSR) ao longo do tempo, em indivíduos de *S. sanguineum* submetidos ao déficit hídrico. Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas (Teste t, *: $p < 0,05$; **: $p < 0,005$; ***: $p < 0,0005$). As barras indicam o erro padrão da média.

Os resultados demonstram que *S. sanguineum* responde ao déficit hídrico severo com redistribuição na alocação de biomassa: senescência da parte aérea (redução de 69% na BSPA) e preservação da estrutura radicular, o que cria as condições para o acúmulo de amido nas raízes (seção 5.7). Na recuperação, o restabelecimento da área fotossintética é priorizado, sustentado pelas reservas radiculares. A regeneração completa da biomassa, especialmente do sistema radicular, é um processo lento, que demanda mais de dois meses após o estresse. Esse padrão é consistente com o observado na dinâmica de perfilhamento e altura (seções 5.2, 5.3 e 5.4) e caracteriza um mecanismo de tolerância do tipo evasão, eficaz para a persistência em ecossistemas com secas sazonais previsíveis, como o Cerrado, nos quais a sobrevivência do indivíduo precede a maximização imediata do crescimento (Moraes *et al.*, 2016).

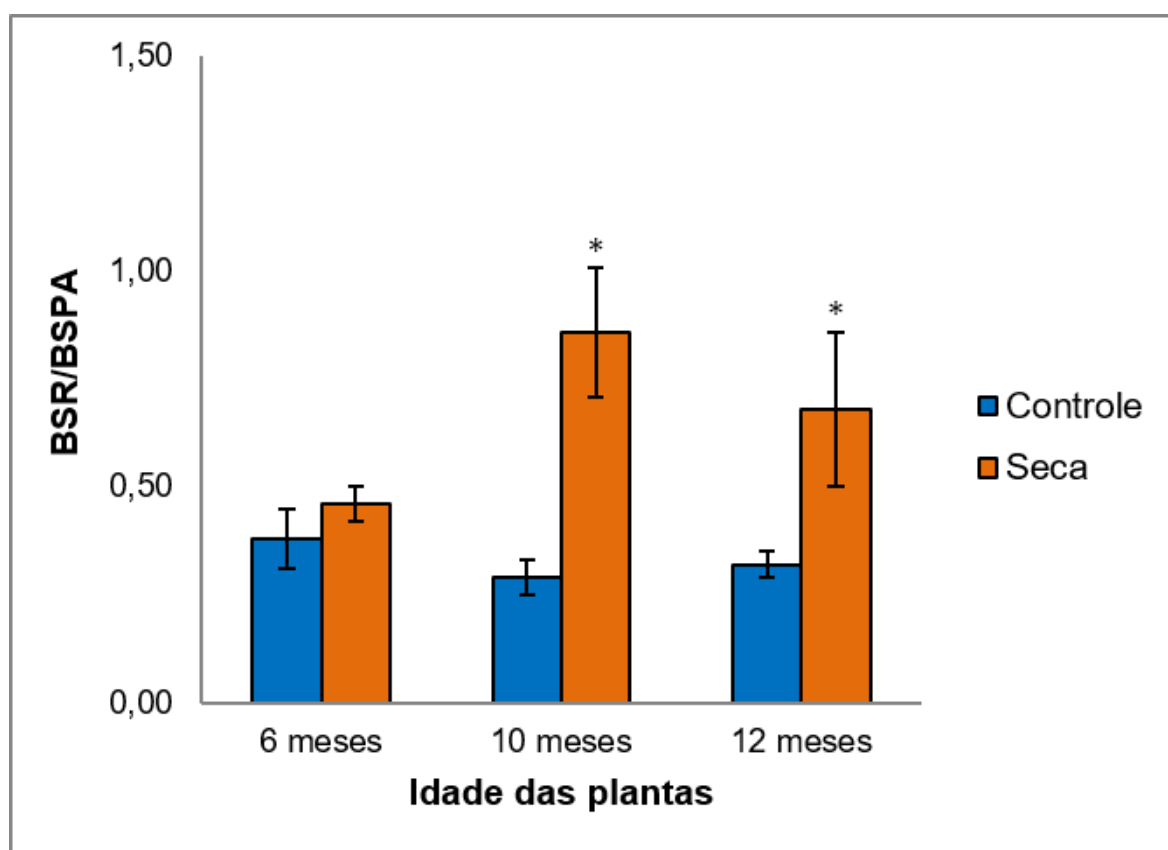


Figura 19. Razão entre o acúmulo de Biomassa Seca Raiz (BSR) e Biomassa Seca Parte Aérea (BSPA) e observados em indivíduos de *S. sanguineum* submetidos aos tratamentos Controle e de Déficit Hídrico (Seca). Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas (Teste t, *: $p < 0,05$; **: $p < 0,005$; ***: $p < 0,0005$). As barras indicam o erro padrão da média.

5.9 Modelo Ecofisiológico de tolerância à seca em *Schizachyrium sanguineum*.

Com base nos resultados obtidos ao longo do experimento, propõe-se um modelo ecofisiológico integrado de tolerância à seca para *Schizachyrium sanguineum*, organizado em quatro etapas sequenciais (Figura 20).

(1) Tolerância inicial: Sob condições adequadas de água, a planta apresenta crescimento contínuo da parte aérea e radicular. Nos primeiros meses de exposição ao déficit hídrico, a planta mantém suas estruturas aéreas sem perdas significativas, não havendo redução imediata da altura, do número de folhas ou do número de perfilhos. Essa resposta indica que a espécie suporta curtos períodos de estresse sem alterações morfológicas aparentes, caracterizando uma fase de percepção e ajuste gradual às condições ambientais. No Cerrado, essa etapa corresponde ao final da estação chuvosa e ao início da estação seca, quando as plantas ainda dispõem de umidade no solo.

(2) Resposta compensatória: Sob estresse moderado, a planta exibe um aumento temporário na produção de folhas verdes. Esse fenômeno representa uma estratégia de curto prazo para maximizar a captura de luz e a atividade fotossintética antes do esgotamento dos recursos hídricos (Zhang; Liu; Wang, 2023). No Cerrado, essa etapa ocorre no início da estação seca, quando a umidade do solo ainda não está criticamente baixa, e a planta responde com crescimento foliar acelerado antes da senescência.

(3) Senescência programada da parte aérea e acúmulo de reservas radiculares: Com o prolongamento do déficit hídrico, a planta desencadeia a senescência acelerada da parte aérea. Folhas e perfilhos senescem progressivamente, e a altura é reduzida até a perda completa da biomassa aérea. As folhas secam e permanecem presas à planta (ausência de abscisão), o que pode reduzir a perda de água por transpiração e proteger os meristemas basais. Simultaneamente, o sistema radicular é preservado e sofre um ajuste metabólico: os açúcares solúveis são convertidos em amido, que se acumula nas raízes. Esse redirecionamento do carbono transforma o sistema radicular em um órgão de reserva de longo prazo, fornecendo energia para o rebrote futuro (Moraes *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2005). Os açúcares solúveis também atuam como moléculas sinalizadoras e protetoras de estruturas celulares, estabilizando membranas e proteínas, o que reforça a tolerância à seca (Hare; Cress; Van Staden, 1998; Pinheiro & Chaves, 2011). A planta entra então em estado de quiescência funcional, com atividade

metabólica mínima. No Cerrado, essa etapa corresponde ao período mais severo da estação seca.

(4) Recuperação pós-reidratação: Com a retomada da disponibilidade hídrica, a planta mobiliza as reservas de amido acumuladas nas raízes para produzir nova biomassa aérea. A recuperação ocorre de forma hierarquizada: inicialmente há rebrote rápido das folhas, que restabelecem a capacidade fotossintética; em seguida, a planta investe na regeneração da altura e dos perfilhos, estruturas que demandam maior aporte de carbono (Irving, 2015). A recuperação da turgescência, a reativação meristemática e a reorganização funcional do sistema radicular indicam que a espécie entra em um estado de quiescência funcional reversível durante a seca, retomando o crescimento rapidamente após a reidratação. No Cerrado, essa etapa corresponde ao início da estação chuvosa, quando as primeiras chuvas reidratam o solo e a planta rebrota a partir das reservas radiculares.

De forma integrada, o modelo proposto descreve *S. sanguineum* como uma gramínea que adota uma estratégia conservativa de tolerância à seca, baseada na supressão do crescimento aéreo com senescência controlada, na priorização da alocação de biomassa para o sistema radicular, no acúmulo de amido nas raízes como reserva de longo prazo e na elevada capacidade de recuperação após a retomada da disponibilidade hídrica. Esses mecanismos explicam a resiliência da espécie às flutuações hídricas do Cerrado e reforçam seu potencial ecológico para a restauração de áreas degradadas e para estudos aplicados sobre adaptação de gramíneas a cenários de intensificação da seca.

MODELO ECOFISIOLÓGICO DE TOLERÂNCIA À SECA DE *Schizachyrium sanguineum*

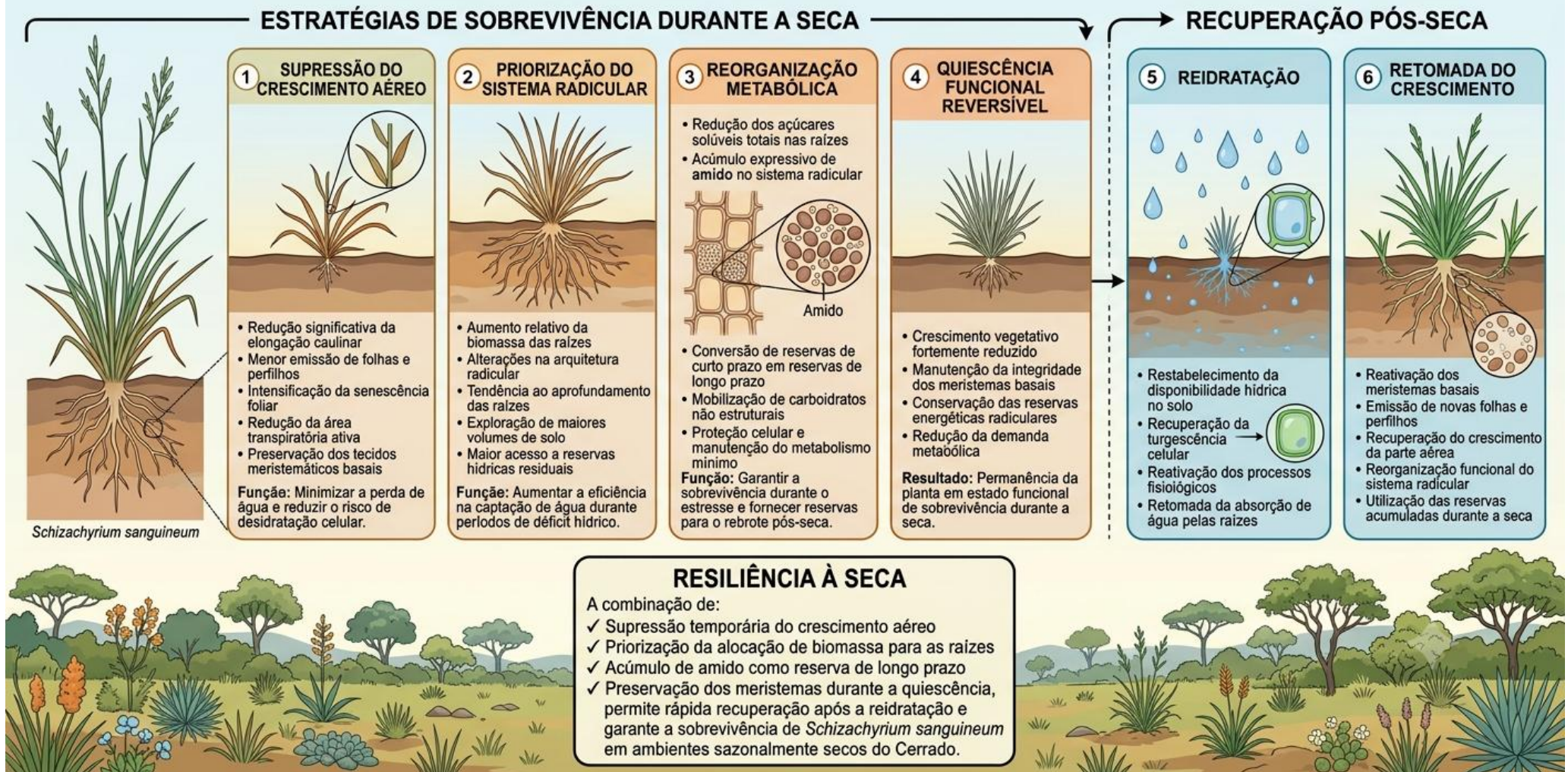


Figura 20. Modelo ecofisiológico de tolerância à seca em *Schizachyrium sanguineum* que sintetiza as respostas morfofisiológicas ao déficit hídrico. Fonte: Elaboração própria, com base em Taiz *et al.* (2017).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo geral avaliar as respostas ecofisiológicas relacionadas ao crescimento, desenvolvimento e alocação de recursos de *Schizachyrium sanguineum*, sob condições semi-controladas de déficit hídrico e após a retomada da disponibilidade de água. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que esse objetivo foi alcançado, uma vez que foi possível caracterizar de forma integrada as respostas morfológicas, fisiológicas e metabólicas da espécie diante da seca e do processo de reidratação.

Em relação ao primeiro objetivo específico, que consistiu em comparar variáveis de crescimento, como número de folhas, altura e perfilhamento, verificou-se que a restrição hídrica promoveu redução significativa do crescimento vegetativo, com menor emissão foliar, menor alongação caulinar e aumento da senescência. Após a reidratação, observou-se retomada parcial ou expressiva dessas variáveis, evidenciando a capacidade de recuperação da espécie. Quanto ao segundo objetivo específico, referente à avaliação de variáveis metabólicas, os resultados demonstraram alterações consistentes nos teores de açúcares solúveis e no conteúdo de amido nas partes aéreas e radiculares. A redução dos açúcares solúveis totais nas raízes, concomitante ao acúmulo expressivo de amido nesse mesmo órgão, indica a conversão de reservas de curto prazo em estoque de longo prazo durante o estresse hídrico. No terceiro objetivo específico, que buscou analisar o acúmulo e a distribuição de biomassa entre parte aérea e raízes, verificou-se mudança no padrão de alocação de recursos, com maior investimento relativo no sistema subterrâneo em detrimento do crescimento aéreo durante a seca. Esse padrão confirma a relevância das raízes como estrutura estratégica para tolerância ao déficit hídrico. Em relação ao quarto objetivo específico, que consistiu em sugerir um modelo ecofisiológico explicativo dos mecanismos de tolerância à seca, os resultados permitem propor que *S. sanguineum* responde ao estresse hídrico por meio de uma estratégia integrada: redução temporária do crescimento da parte aérea, redistribuição de biomassa para raízes, mobilização de reservas carbonadas e elevada capacidade de recuperação após a reidratação.

A hipótese inicial do trabalho foi parcialmente confirmada. A imposição da seca promoveu interrupção temporária do crescimento; entretanto, após o restabelecimento hídrico, observou-se recuperação significativa, ainda que nem todas

as variáveis tenham alcançado os mesmos níveis das plantas-controle no período avaliado.

Os resultados do presente estudo revelam que *Schizachyrium sanguineum* possui um conjunto de atributos ecofisiológicos que a tornam particularmente adequada para enfrentar cenários de intensificação da seca, previstos pelos modelos climáticos para o Cerrado e outras regiões tropicais:

(a) Restauração ecológica de áreas degradadas. A elevada tolerância à seca, associada à recuperação expressiva após a reidratação, confere a *S. sanguineum* um alto potencial para uso em programas de restauração ecológica de áreas degradadas no Cerrado. Espécies nativas com capacidade de rebrote expressivo e manutenção de reservas subterrâneas são particularmente valiosas para a recuperação de pastagens abandonadas, bordas de estradas e áreas impactadas por mineração ou queimadas. A capacidade da espécie de se estabelecer por semeadura direta, demonstrada neste estudo e em trabalhos anteriores (Sampaio *et al.*, 2019), aliada à sua resiliência hídrica, deve reduzir a necessidade de irrigação complementar e aumenta o sucesso dos projetos de restauração em larga escala.

(b) Manejo de paisagens em cenários de mudanças climáticas. As projeções do IPCC (2023) indicam aumento da frequência e intensidade de eventos de seca em várias regiões do mundo, incluindo o Cerrado brasileiro. Espécies como *S. sanguineum*, que combinam tolerância ao déficit hídrico com capacidade de recuperação pós-estresse, podem desempenhar papel fundamental na manutenção da cobertura vegetal e na estabilização de solos sob condições climáticas adversas. Sua estratégia de quiescência funcional reversível permite a sobrevivência durante secas prolongadas, enquanto seu rebrote acelerado com o retorno das chuvas assegura a continuidade dos processos ecossistêmicos, como a ciclagem de nutrientes e a regulação do microclima.

(c) Potencial forrageiro para a pecuária sustentável. Embora não tenha sido objetivo deste estudo avaliar o valor forrageiro da espécie e sua tolerância ao pisoteio, além de ter sido um estudo em casa de vegetação, seus atributos de crescimento acelerado após a reidratação e manutenção de reservas subterrâneas sugerem potencial para uso em sistemas pecuários sustentáveis no Cerrado. Gramíneas nativas tolerantes à seca podem reduzir a dependência de pastagens exóticas, que frequentemente requerem altos insumos e são mais suscetíveis à degradação.

(d) Modelo para estudos de tolerância à seca em gramíneas C4. A estratégia ecofisiológica descrita no modelo proposto posiciona *S. sanguineum* como um organismo-modelo promissor para investigações sobre os mecanismos moleculares e fisiológicos da tolerância à seca em gramíneas C₄. A identificação de genes e vias metabólicas associadas à conversão de açúcares em amido nas raízes, bem como à regulação da senescência foliar e à reativação meristemática pós-estresse, pode subsidiar o desenvolvimento de cultivares mais resilientes em espécies de interesse agrônomo, como milho, sorgo e cana-de-açúcar.

(e) Bioenergia e produção de biomassa. Gramíneas C₄ perenes com alta eficiência no uso da água e capacidade de crescer em solos de baixa fertilidade tem sido amplamente estudadas para a produção de biomassa destinada à geração de bioenergia. Embora *S. sanguineum* não tenha sido tradicionalmente cultivada para esse fim, sua tolerância à seca e seu rebrote acentuado sugerem potencial para subsidiar estudos genéticos e o desenvolvimento de cultivares adaptadas a terras onde culturas alimentares não são viáveis.

(f) Conservação da biodiversidade e serviços ecossistêmicos. A manutenção de gramíneas nativas como *S. sanguineum* em paisagens do Cerrado contribui para a preservação da biodiversidade local, uma vez que essas espécies fornecem habitat e recursos alimentares para a fauna nativa, além de participarem de processos ecossistêmicos essenciais, como a ciclagem de nutrientes, a infiltração de água no solo e a regulação do ciclo do carbono. O uso de espécies nativas em projetos de restauração, em substituição a gramíneas exóticas invasoras, reduz o risco de degradação ecológica e promove a conservação da biota associada.

Com base nos resultados e nas lacunas identificadas ao longo deste estudo, sugerem-se as seguintes potenciais pesquisas futuras: avaliar o desempenho da espécie em condições de campo, sob interação com estresses múltiplos (fogo, herbivoria, diferentes tipos de solo) e em diferentes fitofisnomias do Cerrado; investigar a variabilidade genética intraespecífica de populações distribuídas ao longo de gradientes climáticos, visando identificar genótipos mais tolerantes à seca; realizar estudos transcriptômicos e metabolômicos para identificar genes e vias metabólicas associadas à conversão de açúcares em amido nas raízes, à regulação da senescência foliar e à reativação meristemática pós-estresse; avaliar a qualidade nutricional, a produtividade de biomassa, o teor de lignocelulose e o potencial de

conversão energética da espécie; investigar o papel de *S. sanguineum* nas interações planta-solo-microrganismo, incluindo a associação com fungos micorrízicos e bactérias promotoras de crescimento; utilizar modelos de distribuição de espécies para prever o impacto das mudanças climáticas sobre a ocorrência futura da espécie no Cerrado; explorar sua capacidade para fitorremediação de solos contaminados ou degradados; e acompanhar seu ciclo de vida em condições naturais ao longo de múltiplas estações secas e chuvosas para validar o modelo ecofisiológico proposto em escala temporal mais ampla.

De forma geral, os resultados do presente estudo reforçam que *Schizachyrium sanguineum* apresenta plasticidade funcional e notável resiliência frente à sazonalidade hídrica característica do Cerrado. A estratégia ecofisiológica descrita combina supressão temporária do crescimento aéreo, redistribuição de biomassa para raízes, acúmulo de amido como reserva de longo prazo e recuperação hierarquizada pós-reidratação. Esses atributos posicionam a espécie como uma ferramenta promissora para a restauração ecológica de áreas degradadas, para o manejo sustentável de paisagens sob cenários de mudanças climáticas e para estudos aplicados sobre adaptação de gramíneas à seca. Este estudo contribui para ampliar o conhecimento sobre a ecofisiologia de gramíneas nativas brasileiras, grupo ainda pouco explorado cientificamente, e abre perspectivas para o uso de *S. sanguineum* em programas de conservação, restauração e desenvolvimento sustentável do Cerrado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKRAM, M. Growth And Yield Components Of Wheat Under Water Stress Of Different Growth Stages. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, v. 36, n. 3, p. 455–468, 2011. Disponível em: <https://www.banglajol.info/index.php/BJAR/article/view/9264>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- ALBERTON, B.; TORRES, R. S.; SILVA, T. S. F.; ROCHA, H.; MOURA, M. S. B.; MORELLATO, L. Leafing Patterns and Drivers across Seasonally Dry Tropical Communities. **Remote Sensing**, v. 11, n. 19, p. 2267, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/19/2267>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- ALENCAR, C. A. B.; CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; OLIVEIRA, R. A.; CUNHA, F. F.; FILGUEIREDO, J. L. A. Altura de capins e cobertura do solo sob adubação nitrogenada, irrigação e pastejo nas estações do ano. **Acta Scientiarum – Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 21-27, 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303026590015>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- ALENCAR, C. A. B.; CUNHA, F. F.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; OLIVEIRA, R. A.; ARAÚJO, R. A. S. Adubação nitrogenada e estações anuais na produção de capins irrigados no leste mineiro sob corte. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 3, p. 413-425, 2013. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/974319>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- ALLAHMORADI, P.; GHOBADI, M.; TAHERABADI, S.; TAHERABADI, S. Physiological aspects of mungbean (*Vigna radiata* L.) in response to drought stress. In: **International Conference on Food Engineering and Biotechnology, IPCBEE**. v. 9, p. 272-275, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.15835/nbha431960>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- AMARAL, L. I. V.; GASPAR, M.; COSTA, P. M. F.; AIDAR, M. P. M.; BUCKERIDGE, M. S. Novo método enzimático rápido e sensível de extração e dosagem de amido em materiais vegetais. **Hoehnea**, v. 34, n. 4, p. 425-431, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hoehnea/a/JkNgywFKyYkqGh3mGzQMpFB/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 dez. 2025.
- BAUER, H.; ACHE, P.; LAUTNER, S.; et al. The stomatal response to reduced relative humidity requires guard cell-autonomous ABA synthesis. **Current Biology**, v. 23, n. 1, p. 53–57, 2013. DOI: 10.1016/j.cub.2012.11.022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982212012972>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- BEARDSSELL, Michael F.; COHEN, Daniel. Relationships between Leaf Water Status, Abscissic Acid Levels, and Stomatal Resistance in Maize and Sorghum. **Plant Physiology**, v. 56, n. 2, p. 207-212, ago. 1975. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/4264131>. Acesso em: 15 jun. 2026.
- BELL, J. M.; SCHWARTZ, R.; MCINNES, K. J.; HOWELL, T.; MORGAN, C. L. Deficit irrigation effects on yield and yield components of grain sorghum. **Agricultural water management**, v. 203, p. 289-296, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377418301331>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- BERÇA, A. S.; CARDOSO, A. D. S.; LONGHINI, V. Z.; TEDESCHI, L. O.; BODDEY, R. M.; REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C. Protein and carbohydrate fractions in warm-season pastures: effects of nitrogen management strategies. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 847, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/5/847>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: Physiology of Development and Germination**. New York: Plenum Press, 1985. 367 p. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-1747-4>. Acesso em: 15 jun. 2026.

- BHATTACHARYA, A. **Soil Water Deficit and Physiological Issues in Plants**. Singapore: Springer, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-33-6276-5>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; KROTH, B. E.; REZENDE, D. Desenvolvimento Inicial de Gramíneas Submetidas ao Estresse Hídrico. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 180-186, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/1762>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- BUCHANAN-WOLLASTON, V. Senescence in plants. **Encyclopedia of Life Sciences**, p. 1-6, 2007. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470015902.a0020133>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- BUSO, C.A.; RICHARDS, J.H. Drought and clipping effects on tiller demography and growth of two tussock grasses in Utah. **Journal of Arid Environments**, v. 29, n. 2, p. 239-251, 1995. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(05\)80093-X](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(05)80093-X). Acesso em: 25 dez. 2025.
- CANADELL, J. et al. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. **Oecologia**, v. 108, p. 583-595, 1996. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00329030>. Acesso em: 12 abr. 2026.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Jaboticabal: Funep, 2000. 588p.
- CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought: from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v. 30, n. 3, p. 239-264, 2003. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/fp/FP02076>. Acesso em: 12 abr. 2026.
- CHEN, G.; SAGI, M.; WEINING, S.; KRUGMAN, T.; FAHIMA, T.; KOROL, A.B.; NEVO, E. Wild barley *eibi1* mutation identifies a gene essential for leaf water conservation. **Planta**, v. 219, n. 4, p. 684-693, 2004. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00425-004-1277-7>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- CLAYTON, W. D.; HARMAN, K. T.; WILLIAMSON, H. **World Grass Species - Synonymy database**. Kew: The Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens, 2006. Disponível em: <https://powo.science.kew.org/>. Acesso em: 15 jun. 2026.
- COLEBROOK, E. H.; THOMAS, S. G.; PHILLIPS, A. L.; HEDDEN, P. The role of gibberellin signalling in plant responses to abiotic stress. **Journal of Experimental Biology**, v. 217, n. 1, p. 67-75, 2014. Disponível em: <https://journals.biologists.com/jeb/article/217/1/67/12807>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- DE OLLAS, C.; DODD, I.C. Physiological impacts of ABA-JA interactions under water-limitation. **Plant Molecular Biology**, v. 91, n. 6, p. 641-650, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11103-016-0503-6>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K., et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v.28, p.350-356, 1956. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ac60111a017>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- EHLERS, W. et al. Root system parameters determining water uptake of field crops. **Irrigation Science**, New York, v. 12, p. 115-124, 1991. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00189983>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- FARLEY, G.; BELLAIRS, S. M.; ADKINS, S. W. Germination of selected Australian native grass species, with potential for minesite rehabilitation. **Australian Journal of Botany**, v. 61, n. 4, p. 283-293, 2013. Disponível em: <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:306436>. Acesso em: 15 jun. 2026.
- FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 1, p. 185-212, 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1051/agro:2008021>. Acesso em: 23 dez. 2025.

- FILGUEIRAS, T. S. Coleta, montagem e preservação de Gramíneas para estudos científicos. **Boletim Informativo da UNB/Herbário**, v.2, p.18-25, 1992.
- 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, UNESCO/MAB-The Parthenon Press, 1998. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/search/031c2042-05a8-48ae-b602-7841d77a6093>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- FLEMMER, A. C.; BUSSO, C. A.; FERNANDEZ, O. A. Bud viability in perennial grasses: Water stress and defoliation effects. **Journal of Range Management**, v. 55, n. 2, p. 150–163, 2002. Disponível em: <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/jrm/article/view/9503>. Acesso em: 25 dez. 2025.
- FLORA DO BRASIL 2020. Rio de Janeiro, Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- FONTENELE, H. G. V.; FIGUEIRÔA, R. N. A.; PEREIRA, C. M.; NASCIMENTO, V. T. do; MUSSO, C.; MIRANDA, H. S. Protegida contra incêndios, mas não contra danos: a emergência das mudas das gramíneas da savana é limitada pela profundidade de sepultamento. **Plant Ecology and Diversity**, v. 13, n. 2, p. 189–198, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/17550874.2020.1729889>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17550874.2020.1729889>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- FORD-LLOYD, B. V.; SCHMIDT, M.; ARMSTRONG, S. J.; BARAZANI, O. Z.; ENGELS, J.; HADAS, R.; HAMMER, K.; KELL, S. P.; KANG, D.; KHOSHBAKHT, K.; LI, Y.; LONG, C.; LU, B.; MA, K.; NGUYEN, V. T.; QIU, L.; GE, S.; WEI, W.; ZHANG, Z.; MAXTED, N. Crop wild relatives—undervalued, underutilized and under threat? **Bioscience**, v. 61, n. 7, p. 559–565, 2011. Disponível em: <https://academic.oup.com/bioscience/article/61/7/559/238040>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- FRANCO, Augusto César. Relações hídricas em plantas lenhosas do cerrado: as plantas lenhosas do cerrado transpiram livremente? In: PRADO, C. H. B. A.; CASAL, C. A. (org.). **Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral**. Porto Alegre: Artmed, 2008. p. 1-11.
- FRANCO, A. C. Ecophysiology of woody plants. 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, 2002. Disponível em: <https://cup.columbia.edu/book/the-cerrados-of-brazil/9780231120435>. Acesso em: 12 abr. 2026.
- FRANCO, Augusto César et al. Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. **Trees**, v. 19, n. 3, p. 326–335, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00468-004-0394-z>. Acesso em: 15 jun. 2026.
- FU, Xue-qin; HE, Hao-hua; WEN, Piao; LUO, Xiang-dong; XIE, Jian-kun. Drought resistance evaluation system for backcross lines of Dongxiang common wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.). **Chinese Journal of Applied Ecology (Yingyong Shengtai Xuebao)**, v. 23, n. 5, p. 1277–1285, 2012. PMID: 22919838. Disponível em: <https://www.cjae.net/EN/Y2012/V23/I05/1277>. Acesso em: 14 jun. 2026.
- FURQUIM, L. C.; SANTOS, M. P.; ANDRADE, C. A. O.; OLIVEIRA, L. A.; EVANGELISTA, A. W. P. Relação entre plantas nativas do Cerrado e água. **Cientific@ - Multidisciplinary Journal**, v. 5, n. 2, p. 146–156, 2018. Disponível em: <https://revistas.unievangelica.edu.br/index.php/cientifica/article/view/2553>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- GHATE, T.; BARVKAR, V.; DESHPANDE, S.; BHARGAVA, S. Role of ABA signaling in regulation of stem sugar metabolism and transport under post-flowering drought stress in sweet sorghum. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 37, n. 4, p. 303–313, 2019. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11105-019-01157-2>. Acesso em: 24 dez. 2025.

- GIBBS RUSSELL, G. E. et al. **List of species of southern African plants**. 2. ed. Pretoria: Botanical Research Institute, 1987. v. 2. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629925003102>. Acesso em: 15 jun. 2026.
- GILES, A. L.; DE BRITTO COSTA, P.; ROWLAND, L.; ABRAHÃO, A.; LOBO, L.; VERONA, L.; SILVA, M. C.; MONGE, M. WOLFSDORF, G.; PETRONI, A.; D'ANGIOLI, A. M.; SAMPAIO, A. B.; SCHIMIDT, I. B.; OLIVEIRA, R. S. How effective is direct seeding to restore the functional composition of neotropical savannas? **Restoration Ecology**, v. 30, n. 1, p. 1-13, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/rec.13474>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- GIULIANI, R.; KOTEYEVA, N.; VOZNESENSKAYA, E.; EVANS, M. A.; COUSINS, A. B.; EDWARDS, G. E. Coordination of leaf photosynthesis, transpiration, and structural traits in rice and wild relatives (genus *Oryza*). **Plant Physiology**, v. 162, n. 3, p. 1632-1651, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.113.217497>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY (GBIF Secretariat). **GBIF Backbone Taxonomy**, 2021. Disponível em: <https://www.gbif.org/species/2704446>. Acesso em: 24 set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.15468/39omei>.
- GOBBI, K. F.; GARCIA, R.; VENTRELLA, M. C.; FRÓES, A.; NETO, G.; ROCHA, G. C. Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1436-1444, 2011. Disponível em: <https://locus.ufv.br/items/7eb5583d-9b44-42b2-b1aa-cf3f0b3d0476>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- GUPTA, N.; BISWAS, N.; SUDHAKAR, J. V. Amazing world of grasses. **Rai Journal of Technology Research and Innovation**, v. 4, n. 2, p. 5-11, 2016. Disponível em: <https://www.jru.edu.in/wp-content/uploads/RTJ/vol-4/AMAZING%20WORLD%20OF%20GRASSES.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2025.
- HARE, P. D.; CRESS, W. A.; VAN STADEN, J. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. **Plant, Cell & Environment**, v. 21, p. 535-553, 1998. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-3040.1998.00309.x>. Acesso em: 12 abr. 2026.
- HARVEY, J. A.; TOUGERON, K.; GOLS, R.; HEINEN, R.; ABARCA, M.; ABRAM, P. K.; ... & CHOWN, S. L. Scientists' warning on climate change and insects. **Ecological Monographs**, v. 93, n. 1, p. e1553, 2023. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ecm.1553>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- HODGE, J. G.; DOUST, A. N. Morphological Development of *Setaria viridis* from Germination to Flowering. **Genetics and Genomics of Setaria**, p. 161-175, 2016. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-45105-3_10. Acesso em: 25 dez. 2025.
- HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C. Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts. **Journal of Ecology**, v. 91, p. 475-484, 2003. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-2745.2003.00781.x>. Acesso em: 12 abr. 2026.
- HOFFMANN, W. A.; ORTHEN, B.; FRANCO, A. C. Constraints to seedling success of savanna and forest trees across the savanna-forest boundary. **Oecologia**, v. 140, n. 2, p. 252-260, 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15148603/>. Acesso em: 15 jun. 2026.
- HOFFMANN, W. A. et al. Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. **Ecology Letters**, v. 15, p. 759-768, 2012. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1461-0248.2012.01789.x>. Acesso em: 12 abr. 2026.
- HOUAISS, Antônio. **Dicionário Online Houaiss da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Editora Objetiva, 2022. Disponível em: <https://houaiss.uol.com.br/>. Acesso em: 21 set. 2022.

- HUANG, Shaoying; LIU, Manman; CHEN, Gaili; SI, Fengfeng; FAN, Fengfeng; GUO, Yu; YUAN, Lei; YANG, Fang; LI, Shaoqing. Favorable QTLs from *Oryza longistaminata* improve rice drought resistance. **BMC Plant Biology**, v. 22, p. 136, 2022. DOI: 10.1186/s12870-022-03516-w. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8941802/>. Acesso em: 14 jun. 2026.
- IEHISA, J.C.; TAKUMI, S. Variation in abscisic acid responsiveness of *Aegilops tauschii* and hexaploid wheat synthetics due to the D-genome diversity. **Genes & Genetic Systems**, v. 87, n. 1, p.9-18, 2012. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/ggs/87/1/87_1_9/_html/-char/en. Acesso em: 25 dez. 2025.
- IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2023. p. 1-34. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf. Acesso em: 23 dez. 2025.
- IRVING, L. Carbon Assimilation, Biomass Partitioning and Productivity in Grasses. **Agriculture**, v. 5, n. 4, p. 1116-1134, 2015. Disponível em: doi:10.3390/agriculture5041116. Acesso em: 24 dez. 2025.
- JACKSON, P. C. et al. Partitioning of soil water among tree species in a Brazilian Cerrado ecosystem. **Tree Physiology**, Victoria, v. 19, n. 11, p. 717-724, 1999a. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12651310/>. Acesso em: 16 abr. 2026.
- JACKSON, R. B. et al. Ecosystem rooting depth determined with caves and DNA. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 96, p. 11387–11392, 1999b. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.96.20.11387>. Acesso em: 12 abr. 2026.
- KARASU, A.; KUŞCU, H.; ÖZ, M.; BAYRAM, G. The Effect of Different Irrigation Water Levels on Grain Yield, Yield Components and Some Quality Parameters of Silage Maize (*Zea mays indentata* Sturt.) in Marmara Region of Turkey. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 43, n. 1, p. 138-145, 2015. Disponível em: <https://www.notulaeobotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/9602/7778>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- KLIMEŠOVÁ, J.; MARTÍNKOVÁ, J.; BARTUŠKOVÁ, A.; OTT, J. P. Belowground plant traits and their ecosystem functions along aridity gradients in grasslands. **Plant and Soil**, v. 487, n. 1–2, p. 1–10, 2023a. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-023-05964-1>. Acesso em: 25 dez. 2025.
- KLIMEŠOVÁ, J.; HERBEN, T. The hidden half of the fine root differentiation in herbs: nonacquisitive belowground organs determine fine-root traits. **Oikos**, Oxford, v. 2023, n. 1, e08794, 2023b. Disponível em: <https://nsojournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/oik.08794>. Acesso em: 16 abr. 2026.
- KOLB, R. M.; PILON, N. A. L.; DURIGAN, G. Factors influencing seed germination in Cerrado grasses. **Acta Botanica Brasilica**, v. 30, n. 1, p. 87-92, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abb/a/8BrpXxRc6TLvgWggMTxSTFb/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- LABOURIAU, L.G. **A germinação de sementes**. Washington: OEA, 1983. 174p.
- LABOURIAU, L.G.; VALADARES, M.E.B. On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait.f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.48, n.2, p.263-284, 1976.
- LANCERAS, J. C.; PANTUWAN, G.; JONGDEE, B.; TOOJINDA, T. Quantitative trait loci associated with drought tolerance at reproductive stage in rice. **Plant Physiology**, v. 135, n. 1, p. 384-399, 2004. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC429392/>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- LANNES, L. S. et al. Species richness both impedes and promotes alien plant invasions in the Brazilian Cerrado. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-68412-5>. Acesso em: 24 dez. 2025.

- LI, C. et al. Drought survival and recovery in grasses: Stress intensity and plant–plant interactions determine the dehydration tolerance of leaf meristems. **Plant, Cell & Environment**, v. 46, n. 5, p. 1435-1451, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pce.14543>. Acesso em: 15 jun. 2026.
- LOKA, D.; HARPER, J.; HUMPHREYS, M.; GASIOR, D.; WOOTTON-BEARD, P.; GWYNN-JONES, D.; SCULLION, J.; DOONAN, J.; KINGSTON-SMITH, A.; DODD, R. Impacts of abiotic stresses on the physiology and metabolism of cool-season grasses: a review. **Food and Energy Security**, v. 8, n. 1, p. 1-29, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fes3.152>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- MA, Xiaoding; HAN, Bing; TANG, Jianghong; ZHANG, Jiani; CUI, Di; GENG, Leiyue; ZHOU, Huiying; LI, Maomao; HAN, Longzhi. Construction of chromosome segment substitution lines of Dongxiang common wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.) in the background of the japonica rice cultivar *Nipponbare* (*Oryza sativa* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 144, p. 1-10, 2019. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.09.041. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31593900/>. Acesso em: 14 jun. 2026.
- MALHEIROS, R. A Influência da Sazonalidade na Dinâmica da Vida no Bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, p. 113-128, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/48876/29384>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- MARTINS, C. R.; LEITE, L. L. Fenologia reprodutiva de gramíneas colonizadoras de áreas degradadas no Parque Nacional de Brasília-DF, Brasil. **Anais do III Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas**, p. 317-323, 1997.
- MEDEIROS, D. B.; SILVA, E. C. D.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; TEIXEIRA, M. M.; BUCKERIDGE, M. S. Physiological limitations in two sugarcane varieties under water suppression and after recovering. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 25, p. 213-222, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/txpp/a/4qt4C3bBNn7bB5NkpXsWHLF/?lang=en>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA-JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E.; FAGG, C. W. Flora vascular do bioma Cerrado: checklist com 12.356 espécies. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (org.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 2. p. 422-442. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/190626/1/CERRADO-Ecologia-e-flora-VOL-2-1-16-37.pdf>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- MONTRÀS-JANER, T.; SUGGITT, A. J.; FOX, R.; JÖNSSON, M.; MARTAY, B.; ROY, D. B.; WALKER, K. J.; AUFFRET, A. G. Anthropogenic climate and land-use change drive short- and long-term biodiversity shifts across taxa. **Nature Ecology & Evolution**, 2024. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41559-024-02389-6>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- MORAES, M. G.; CHATTERTON, N. J.; HARRISON, P. A.; FILGUEIRAS, T. S.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. C. L. Diversity of non-structural carbohydrates in grasses (Poaceae) from Brazil. **Grass and Forage Science**, v. 68, n. 1, p. 165-177, 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2494.2012.00888.x>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- MORAES, M. G. et al. Fire and drought: soluble carbohydrate storage and survival mechanisms in herbaceous plants from the Cerrado. **BioScience**, Oxford, v. 66, n. 2, p. 107-117, 2016. Disponível em: <https://scispace.com/pdf/fire-and-drought-soluble-carbohydrate-storage-and-survival-cfyti0rgzo.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2026.
- MORAIS, M. C.; CABRAL, J. A.; GONÇALVES, B. Seasonal Variation in Selected Biochemical Traits in the Leaves of Co-Occurring Invasive and Native Plant Species under Mediterranean Conditions. **Plants**, v. 11, n. 9, p. 1171, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/9/1171>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- MUSSO, C. et al. Simulated post-fire temperature affects germination of native and invasive grasses in cerrado (Brazilian savanna). **Plant Ecology & Diversity**, v. 8, n. 2, p. 219-228, 2015.

- Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17550874.2014.910714>. Acesso em: 15 jun. 2026.
- MUSSO, C.; PINTO, G.; MIRANDA, H. S.; OLIVEIRA, R.; CORREIA, C.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; SOARES, A. M. V. M.; LOUREIRO, S. South American and African grass species cope differently with soil water availability. **Journal of Agricultural Science (Toronto)**, v. 11, n. 13, p. 64-80, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n13p64>. Acesso em: 15 jun. 2026.
- NASCIMENTO, D.; NOVAIS, G. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Élisée - Revista de Geografia da UEG**, v. 9, n. 2, e922021, 2020. Disponível em: https://www.revista.ueg.br/index.php/elisee/pt_BR/article/view/10854. Acesso em: 15 jun. 2026.
- NAZ, A.A.; ARIFUZZAMAN, M.; MUZAMMIL, S.; PILLEN, K.; LÉON, J. Wild barley introgression lines revealed novel QTL alleles for root and related shoot traits in the cultivated barley (*Hordeum vulgare* L.). **BMC Genetics**, v. 15, n. 1, p.1-12, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12863-014-0107-6>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- NEELAM, K.; SAHI, G. K.; KUMAR, K.; SINGH, K. Identification of drought stress tolerance in wild species germplasm of rice based on leaf and root morphology. **Plant Genetic Resources**, v. 16, n. 4, p. 289-295, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1479262117000284>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- NEVO, E.; CHEN, G. Drought and salt tolerances in wild relatives for wheat and barley improvement. **Plant, Cell & Environment**, v. 33, n. 4, p.670-685, 2010. Disponível em: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/40X0kDp4/>. Acesso em: 25 dez. 2025.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Vegetation Physiognomies and Woody Flora of the Cerrado Biome. In: **The Cerrados of Brazil**. Columbia University Press, p. 91-120, 2002. Disponível em: <https://cup.columbia.edu/book/the-cerrados-of-brazil/9780231120432/>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- OLIVEIRA, D. A.; PIETRAFESA, J. P.; BARBALHO, M. G. S. Manutenção da biodiversidade e o hotspots Cerrado. **Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 26, p. 101-114, 2008. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/15700/8881>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- OLIVEIRA, R. S. et al. Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil. **Functional Ecology**, v. 19, p. 574–581, 2005. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2435.2005.01003.x>. Acesso em: 12 abr. 2026.
- OLIVEIRA, R. A.; RAMOS, M. M.; AQUINO, L. A. In: **Sugarcane**. Academic Press, p. 161-183, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128022399000062>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- OLIVEIRA, A. C. C.; FORTI, V. A.; LOIOLA, P. P.; VIANI, R. A. G. Techniques for seedling production of two native grasses: new perspectives for Brazilian Cerrado restoration. **Restoration Ecology**, v. 28, n. 2, p. 297-303, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/rec.13103>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- OLIVEIRA, A. C. C.; FORTI, V. A.; VIANI, R. A. G. Fertility responses of a native grass: technology supporting native plant production for restoration in Brazil. **Restoration Ecology**, v. 30, n. 3, p. 1-10, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rec.13542>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- PADONOU, E. A.; TEKA, O.; BACHMANN, Y.; SCHMIDT, M.; LYKKE, A. M.; SINSIN, B. Using species distribution models to select species resistant to climate change for ecological restoration of bowé in West Africa. **African Journal of Ecology**, v. 53, n. 1, p. 83–92, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/aje.12205>. Acesso em: 24 dez. 2025.

- PAREDES, M. V. F.; CUNHA, A. L. N.; MUSSO, C.; AIRES, S. S.; SATO, M. N.; MIRANDA, H. S. Germination responses of native and invasive Cerrado grasses to simulated fire temperatures. **Plant Ecology & Diversity**, p. 1–11, 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17550874.2018.1476589>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- PEDRINI, S.; LEWANDROWSKI, W.; STEVENS, J. C.; DIXON, K. W. Optimising seed processing techniques to improve germination and sowability of native grasses for ecological restoration. **Plant Biology**, v. 21, n. 3, p. 415-424, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/plb.12885>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- PEICHOTO, M. C. Anatomía foliar de las especies de *Schizachyrium* (Poaceae: Andropogoneae) que viven en la Argentina y regiones limítrofes. **Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica**, p. 277-293, 2003. Disponível em: <https://botanicaargentina.org.ar/wp-content/uploads/2018/06/277-293.pdf>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- PELEG, Z.; FAHIMA, T.; ABBO, S.; KRUGMAN, T.; NEVO, E.; YAKIR, D.; SARANGA, Y. Genetic diversity for drought resistance in wild emmer wheat and its ecogeographical associations. **Plant, Cell & Environment**, v. 28, n. 2, p.176-191, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01259.x>. Acesso em: 25 dez. 2025.
- PETERSON, P. M.; HOSNI, H. A.; DUBE, S. Grasses of Mali. **Smithsonian Contributions to Botany**, n. 108, p. 1-143, 2018. Disponível em: <https://repository.si.edu/handle/10088/95755>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 3, p. 869–882, 2011. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/62/3/869/475696>. Acesso em: 12 abr. 2026.
- PINHEIRO, R. C.; BOUILLET, J.; PIVELLO, V. R.; ALÓ, L. L.; COSTA V. E.; MEERSCHKE, K. V. D.; GUERRINI, I. A.; LACLAU, J. Roots take up labeled nitrogen from a depth of 9 m in a wooded savanna in Brazil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 160, p. 1-8, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108282>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- RAMOS, D. M.; DINIZ, P.; OOI, M. K. J.; BORGHETTI, F.; VALLS, J. F. M. 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. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1073103/1/Ramosetal2017JournalofVegetationScience.pdf>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M. et al. (org.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa, 2008. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/570665/cerrado-ecologia-e-flora>. Acesso em: 12 abr. 2026.
- RODRIGUES-DA-SILVA, R.; FILGUEIRAS, T. Gramíneas (Poaceae) da Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) Santuário de Vida Silvestre do Riacho Fundo, Distrito Federal, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 17, n. 3, p. 467–486, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abb/a/TxVQ9jkM6M6rM9fKf9yFvyy/?lang=pt>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- RODRIGUES, O.; FONTANELI, R. S.; COSTENARO, R. E.; MARCHESE, J. A.; SOORTGANHA, A. C. N.; SACCARDO, E.; PIASECKI, C. Bases Fisiológicas para o Manejo de Forrageiras. In: FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. (Ed.). **Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Região Sul-Brasileira**. 2. ed. Brasília: Embrapa Trigo, 2012. p. 59-125. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1010247/1/LV2012forrageirasparaintegracaoFontaneli.pdf>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- SAMPAIO, A. B.; et al. Lessons on direct seeding to restore Neotropical savanna. **Ecological Engineering**, v. 138, p. 148-154, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857419302538>. Acesso em: 19 dez. 2025.

- SANKARAN, M.; HANAN, N. P.; SCHOLLES, R. J.; RATNAM, J.; AUGUSTINE, D. J.; CADE, B. S.; GIGNOUX, J.; HIGGINS, S. I.; ROUX, X. L.; LUDWIG, F. Determinants of woody cover in African savannas. **Nature**, v. 438, n. 7069, p. 846-849, 2005. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature04070>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v2n3p287-294>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- SARATH, G.; BAIRD, L. M.; MITCHELL, R. B. Senescence, dormancy and tillering in perennial C4 grasses. **Plant Science**, v. 217, p. 140-151, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.12.012>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- SCAFARO, A.P.; VON CAEMMERER, S.; EVANS, J.R.; ATWELL, B.J. Temperature response of mesophyll conductance in cultivated and wild *Oryza* species with contrasting mesophyll cell wall thickness. **Plant, Cell & Environment**, v. 34, n. 11, p.1999-2008, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02398.x>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- SCHENK, H. J.; JACKSON, R. B. Rooting depths, lateral root spreads and below-ground/above-ground allometries of plants in water-limited ecosystems. **Journal of Ecology**, v. 90, p. 480–494, 2002. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-2745.2002.00682.x>. Acesso em: 12 abr. 2026.
- SILVA, D. A.; KLINK, C. A. Dinâmica de foliação e perfilhamento de duas gramíneas C4 e uma C3 nativas do Cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 4, p. 441-446, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-84042001000400010>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- SILVA, R. R.; COELHO, F. T. A.; DOS ANJOS, M. A.; VAZ FILHO, V. Controle do capim-gordura nas áreas de recuperação ambiental da Mineração Corumbaense Reunida (MCR), Corumbá, MS. **Biodiversidade Brasileira - BioBrasil**, n. 2, p. 237-242, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v3i2.327>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- SOUZA, A.; MORAES, M. G.; RIBEIRO, R. C. L. F. Gramíneas do Cerrado: carboidratos não-estruturais e aspectos ecofisiológicos. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 1, p. 81–90, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abb/a/xp4LhX6n5sbzJtMKmN7TP5Q/?lang=pt>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- SPINONI, J.; et al. A new global database of meteorological drought events from 1951 to 2016. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 22, p. 100593, abr. 2019. DOI: 10.1016/j.ejrh.2019.100593. PMID: 32257820. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32257820/>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- SUPRUNOVA, Tatiana; KRUGMAN, Tamar; DISTELFELD, Assaf; FAHIMA, Tzion; NEVO, Eviatar; KOROL, Abraham. Identification of a novel gene (*Hsdra4*) involved in water-stress tolerance in wild barley. **Plant Molecular Biology**, v. 63, n. 1, p. 17-30, 2007. DOI: 10.1007/s11103-006-9131-x. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17238046/>. Acesso em: 14 jun. 2026.
- TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo; MOLLER, Ian Max; MURPHY, Angus. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TAN, S.; SHA, Y.; SUN, L.; LI, Z. Abiotic Stress-Induced Leaf Senescence: regulatory mechanisms and application. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 15, p. 11996, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/24/15/11996>. Acesso em: 25 dez. 2025.
- TOULOTTE, J. M.; PANTAZOPOULOU, C. K.; SANCLEMENTE, M. A.; VOESENEK, L. A.; SASIDHARAN, R. Water stress resilient cereal crops: lessons from wild relatives. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 64, n. 2, p. 412-430, 2022. Doi:10.1111/jipb.1322. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jipb.13222>. Acesso em: 24 dez. 2025.
- VIDAL, J.D.D.; SOUZA, A.P.; KOCH, I. Impacts of landscape composition, marginality of distribution, soil fertility and climatic stability on the patterns of woody plant endemism in the Cerrado. **Global Ecology and Biogeography**, v. 28, n. 7, p. 904-916, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/geb.12901>. Acesso em: 24 dez. 2025.

- ZHANG, Y. et al. Recover and surpass: the mechanisms of plants transition upon rehydration from drought. **Plant Stress**, v. 15, 2025a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.100782>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667064X25000146>. Acesso em: 15 jun. 2026.
- ZHANG, R. et al. Sugar Metabolism and Transport in Response to Drought-Rehydration in *Poa pratensis*. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 44, n. 1, p. 112-127, 2025b. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/388438313_Sugar_Metabolism_and_Transport_in_Response_to_Drought-Rehydration_in_Poa_pratensis. Acesso em: 15 jun. 2026.
- ZHANG, X.; LIU, Y.; WANG, H.; et al. Post-drought compensatory growth in perennial grasslands: responses to moderate water stress and prolonged drought. **Plant Ecology**, v. 224, n. 12, p. 1373–1385, 2023. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9752846/>. Acesso em: 25 dez. 2025.
- ZHENG, M. et al. Root Hair Development and Adaptation to Abiotic Stress: Molecular mechanisms and physiological regulation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 71, n. 25, p. 9597-9611, 2023. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.2c07741>. Acesso em: 15 jun. 2026.
- ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; AGUILERA, J. G.; RATKE, R. F.; BARROZO, L. M.; MEZZOMO, R.; SANTOS, A. S.; GONZALES, H. H. S.; CUBILLAS, P. A.; ANCCA, S. M. Selected Indices to Identify Water-Stress-Tolerant Tropical Forage Grasses. **Plants**, v. 11, n. 18, p. 2444, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants11182444>. Acesso em: 04 dez. 2025.

Apêndice 1

Tabela A. Descrição resumida de algumas estruturas anatômicas vegetais.

Estrutura	Descrição
Bainha	Porção basal da folha que envolve o ramo ou o caule, parcial ou totalmente (Houaiss, 2022).
Espícula	Inflorescência típica das gramíneas, também presente em algumas ciperáceas, formada por espiga muito curta, com uma ou diversas flores, vários hipsofilos e de aspecto seco; espícula, espiguiilha. As espiguetas agrupam-se em inflorescências compostas, em forma de espiga ou em panículas (Houaiss, 2022).
Hábito de crescimento	A maneira que a planta ocupa o ambiente. O hábito de crescimento das gramíneas é determinado pela forma de crescimento do colmo (Rodrigues, 2012).
Inflorescência	Conjunto de flores ou qualquer sistema de ramificação que termina em flores, e que se caracteriza pela presença do pedúnculo (Houaiss, 2022).
Lâmina	Parte aplainada das pétalas, da corola, das sépalas ou do cálice de uma flor ou da folha das gramíneas (Houaiss, 2022).
Lígula	Apêndice, geralmente membranáceo ou piloso, encontrado na junção do limbo à bainha das folhas das gramíneas e de outras famílias; barbula, crista (Houaiss, 2022).
Semente	Estrutura formada a partir do óvulo fecundado das plantas angiospermas e gimnospermas e que geralmente consiste em um ou mais tegumentos que envolvem o embrião e o material nutritivo para o seu desenvolvimento em plântula; apresenta grande diversidade de forma e também de apêndices (Houaiss, 2022).

Apêndice 2. Dados meteorológicos do Distrito Federal em 2019.

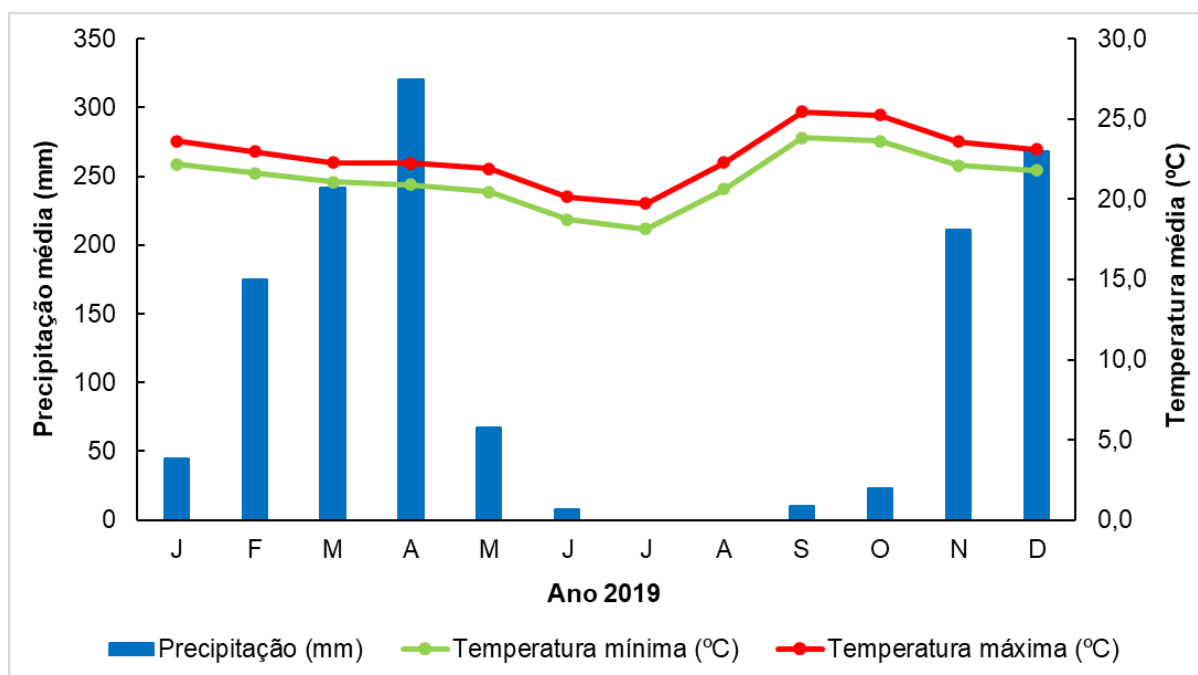


Figura 21. Precipitação média mensal e temperaturas médias máximas e mínimas mensais de Brasília (DF) no ano de 2019. Dados: INMET (2019).

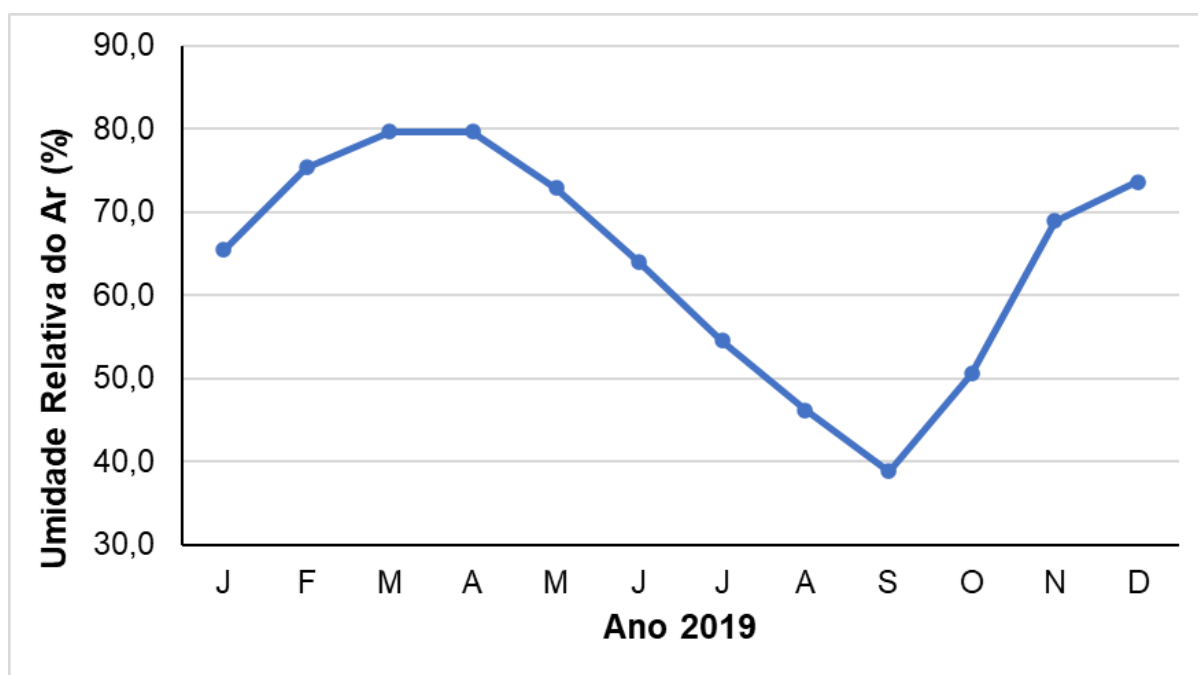


Figura 22. Umidade relativa do ar média mensal de Brasília (DF) no ano de 2019. Dados: INMET (2019).

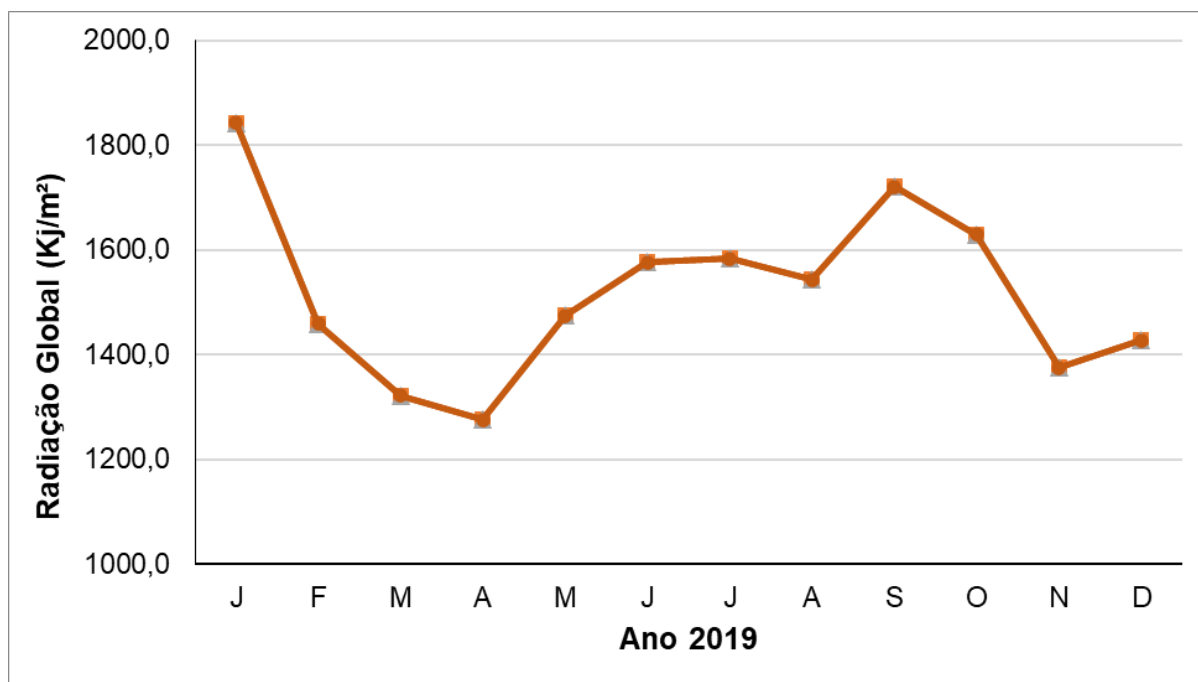


Figura 23. Radiação global média mensal em Brasília (DF) no ano de 2019. Dados: INMET (2019).

Apêndice 3. Resultados dos testes estatísticos

Tabela B. Crescimento em altura de *Schizachyrium sanguineum* ao longo de 12 meses.

CRESCIMENTO EM ALTURA							
Período	Mês	Controle		Seca		Teste T	Significância
		n	Média	n	Média		
Germinação e Crescimento Inicial	1	30	3,16 ± 0,28	30	2,42 ± 0,49	p = 0,8767	
	2	30	10,98 ± 0,64	30	8,60 ± 1,38	p = 0,6178	
	3	30	20,14 ± 2,38	30	19,40 ± 2,19	p = 0,8767	
	4	30	38,34 ± 6,25	30	38,80 ± 4,39	p = 0,9231	
	5	30	39,82 ± 6,70	30	41,82 ± 3,05	p = 0,6749	
	6	30	40,32 ± 6,80	30	42,26 ± 2,93	p = 0,6841	
Estresse Hídrico	7	20	46,16 ± 1,59	20	41,58 ± 3,66	p = 0,1043	
	8	20	48,65 ± 1,66	20	38,58 ± 3,56	p = 0,0335	*
	9	20	51,03 ± 1,90	20	32,62 ± 4,97	p < 0,0001	***
	10	20	56,10 ± 1,57	20	32,90 ± 4,90	p < 0,0001	***
Recuperação	11	10	62,09 ± 1,23	10	0,00 ± 0,00	p < 0,0001	***
	12	10	72,84 ± 2,11	5 †	43,16 ± 6,99	p < 0,0001	***

Valores são médias ± erro padrão. Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos em cada mês (Tukey): *: p < 0,05; **: p < 0,005; ***: p < 0,0005. (†) n = 5 no mês 12 para o grupo déficit hídrico devido à mortalidade de metade dos indivíduos.

Tabela C. Número de folhas verdes de *Schizachyrium sanguineum* ao longo de 12 meses.

NÚMERO DE FOLHAS VERDES							
Período	Mês	Controle		Seca		Teste T	Significância
		n	Média	n	Média		
Germinação e Crescimento Inicial	1	30	1,00 ± 0,00	30	1,00 ± 0,00	p = 1,0000	
	2	30	2,40 ± 0,40	30	2,20 ± 0,20	p = 0,8836	
	3	30	3,60 ± 0,24	30	3,80 ± 0,20	p = 0,9611	
	4	30	4,40 ± 0,40	30	4,40 ± 0,40	p = 0,9222	
	5	30	4,80 ± 0,58	30	5,60 ± 0,40	p = 0,8452	
	6	30	6,40 ± 1,17	30	7,00 ± 0,71	p = 0,8836	
Estresse Hídrico	7	20	17,90 ± 1,87	20	18,30 ± 2,82	p = 0,8902	
	8	20	18,60 ± 2,25	20	28,10 ± 4,05	p = 0,0013	**
	9	20	26,10 ± 2,84	20	20,70 ± 2,95	p = 0,0639	
	10	20	28,40 ± 2,66	20	6,60 ± 2,61	p < 0,0001	***
Recuperação	11	10	34,90 ± 2,31	10	0,00 ± 0,00	p < 0,0001	***
	12	10	46,00 ± 4,09	5 †	41,8 ± 4,16	p = 0,2377	

Valores são médias ± erro padrão. Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos em cada mês (Tukey): *: p < 0,05; **: p < 0,005; ***: p < 0,0005. (†) n = 5 no mês 12 para o grupo déficit hídrico devido à mortalidade de metade dos indivíduos.

Tabela D. Número de perfilhos de *Schizachyrium sanguineum* ao longo de 12 meses.

NÚMERO DE PERFILHOS							
Período	Mês	Controle		Seca		Teste T	Significância
		n	Média	n	Média		
Germinação e Crescimento Inicial	1	30	3,00 ± 0,00	30	2,80 ± 0,20	p = 0,9293	
	2	30	5,20 ± 0,20	30	5,20 ± 0,37	p = 1,0000	
	3	30	6,20 ± 0,37	30	6,40 ± 0,40	p = 0,9293	
	4	30	7,60 ± 0,75	30	8,00 ± 0,63	p = 0,8591	
	5	30	11,60 ± 2,16	30	13,40 ± 1,75	p = 0,4249	
	6	30	14,80 ± 2,97	30	17,00 ± 2,66	p = 0,3297	
Estresse Hídrico	7	20	16,90 ± 1,57	20	14,80 ± 1,24	p = 0,1888	
	8	20	17,60 ± 1,38	20	12,40 ± 1,51	p = 0,0013	**
	9	20	18,10 ± 1,29	20	8,60 ± 1,05	p < 0,0001	***
	10	20	18,40 ± 1,37	20	8,00 ± 1,15	p < 0,0001	***
Recuperação	11	10	20,30 ± 0,75	10	0,00 ± 0,00	p < 0,0001	***
	12	10	21,90 ± 0,84	5 †	15,00 ± 1,52	p = 0,0005	**

Valores são médias ± erro padrão. Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos em cada mês (Tukey): *: p < 0,05; **: p < 0,005; ***: p < 0,0005. (†) n = 5 no mês 12 para o grupo déficit hídrico devido à mortalidade de metade dos indivíduos.

Tabela E. Resultados dos testes estatísticos para teores de açúcares solúveis totais (AST), amido, biomassa seca, parâmetros de arquitetura radicular, área foliar total e área foliar específica de *Schizachyrium sanguineum*.

Variável	Idade das plantas	Controle		Seca		Teste T	Significância
		n	Média	n	Média		
Açúcares Solúveis Totais (AST) Parte Aérea (%)	6 meses	10	2,45 ± 0,62	10	2,49 ± 0,58	p = 0,8352	
	10 meses	10	3,57 ± 0,31	10	2,95 ± 0,44	p = 0,2779	
	12 meses	10	4,16 ± 0,09	5 †	3,66 ± 0,10	p = 0,0131	*
Açúcares Solúveis Totais (AST) Parte Radicular (%)	6 meses	10	2,84 ± 0,49	10	2,73 ± 0,37	p = 0,8304	
	10 meses	10	4,48 ± 0,38	10	3,26 ± 0,23	p = 0,0283	*
	12 meses	10	3,41 ± 0,32	5 †	3,13 ± 0,28	p = 0,5474	
Amido Parte Aérea (%)	6 meses	10	0,37 ± 0,11	10	0,39 ± 0,13	p = 0,7992	
	10 meses	10	1,27 ± 0,22	10	1,48 ± 0,12	p = 0,3902	
	12 meses	10	1,72 ± 0,11	5 †	2,40 ± 0,26	p = 0,0278	*
Amido Parte Radicular (%)	6 meses	10	0,44 ± 0,09	10	0,43 ± 0,09	p = 0,9314	
	10 meses	10	0,18 ± 0,06	10	1,44 ± 0,07	p = 0,0075	**
	12 meses	10	1,57 ± 0,03	5 †	1,60 ± 0,05	p = 0,3596	
Biomassa Seca Parte Aérea (BSPA) (g)	6 meses	10	0,74 ± 0,08	10	0,88 ± 0,22	p = 0,88095	
	10 meses	10	1,13 ± 0,25	10	0,35 ± 0,06	p = 0,0013	**
	12 meses	10	2,50 ± 0,26	5 †	0,84 ± 0,17	p = 0,0003	***
Biomassa Seca Parte Radicular (BSPR) (g)	6 meses	10	0,26 ± 0,05	10	0,23 ± 0,04	p = 0,8412	
	10 meses	10	0,27 ± 0,05	10	0,22 ± 0,04	p = 0,4423	
	12 meses	10	0,77 ± 0,08	5 †	0,44 ± 0,09	p = 0,0339	*
BSR/BSPA	6 meses	10	0,38 ± 0,07	10	0,46 ± 0,04	p = 0,4131	
	10 meses	10	0,29 ± 0,04	10	0,86 ± 0,15	p = 0,0110	*
	12 meses	10	0,32 ± 0,03	5 †	0,68 ± 0,18	p = 0,0499	*
Comprimento das raízes (profundidade) (cm)	6 meses	10	47,30 ± 4,21	10	47,12 ± 5,03	p = 0,7023	
	10 meses	10	42,84 ± 2,40	10	48,86 ± 3,69	p = 0,2978	
	12 meses	10	53,37 ± 3,70	5 †	46,62 ± 4,88	p = 0,2857	
Diâmetro (base) das raízes	6 meses	10	0,29 ± 0,02	10	0,31 ± 0,03	p = 0,7532	
	10 meses	10	0,21 ± 0,01	10	0,18 ± 0,01	p = 0,1866	

Variável	Idade das plantas	Controle		Seca		Teste T	Significância
		n	Média	n	Média		
(mm)	12 meses	10	0,25 ± 0,05	5 †	0,35 ± 0,05	p = 0,2940	
Extensão total do sistema radicular (cm)	6 meses	10	850,9 ± 296,4	10	842,6 ± 109,8	p = 0,9882	
	10 meses	10	3412,1 ± 562,3	10	1978,5 ± 316,2	p = 0,0363	*
	12 meses	10	1833,8 ± 180,2	5 †	346,9 ± 90,1	p = 0,0002	***
Área máxima projetada no solo (m²)	6 meses	10	0,78 ± 0,18	10	0,68 ± 0,09	p = 0,6094	
	10 meses	10	0,59 ± 0,07	10	0,82 ± 0,18	p = 0,2692	
	12 meses	10	0,93 ± 0,13	5 †	0,71 ± 0,16	p = 0,2816	
Volume máximo de solo ocupado (m³)	6 meses	10	0,28 ± 0,09	10	0,21 ± 0,04	p = 0,5489	
	10 meses	10	0,18 ± 0,03	10	0,32 ± 0,11	p = 0,2501	
	12 meses	10	0,36 ± 0,07	5 †	0,24 ± 0,08	p = 0,2793	
Área da superfície radicular total (cm²)	6 meses	10	81,12 ± 24,70	10	78,45 ± 14,45	p = 0,9474	
	10 meses	10	232,07 ± 43,21	10	119,41 ± 21,87	p = 0,0299	*
	12 meses	10	144,09 ± 30,02	5 †	33,33 ± 6,63	p = 0,0190	*
Área Foliar Total (cm²)	6 meses	10	83,55 ± 9,97	10	93,79 ± 4,66	p = 0,6269	
	10 meses	10	149,22 ± 35,85	10	0,00 ± 0,00	p < 0,0001	***
	12 meses	10	233,16 ± 33,67	5 †	76,33 ± 21,66	p = 0,0119	*
Área Foliar Específica (cm²)	6 meses	10	110,72 ± 24,12	10	134,52 ± 31,74	p = 0,9246	
	10 meses	10	238,69 ± 83,30	10	0,00 ± 0,00	p < 0,0001	***
	12 meses	10	78,82 ± 2,55	5 †	89,43 ± 13,25	p = 0,4881	

Valores são médias ± erro padrão. Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (teste t): * p < 0,05; ** p < 0,005; *** p < 0,001. (†) n = 5 no mês 12 para o grupo déficit hídrico devido à mortalidade de metade dos indivíduos.

Tabela F. Resultados dos testes estatísticos para altura (cm), número de folhas verdes e número de perfilhos de *Schizachyrium sanguineum* ao longo de 12 meses (aos 6 meses n = 30; aos 10 meses n = 20; aos 12 meses n = 10 para o grupo controle e n = 5 para o grupo submetido ao estresse hídrico).

Mês	Altura (cm)		Número de folhas		Número de perfilhos	
	Controle (cm)	Seca (cm)	Controle	Seca	Controle	Seca
1	3,2 ± 0,3 Aa	2,4 ± 0,5 Aa	1,0 ± 0,0 Aa	1,0 ± 0,0 Aa	3,0 ± 0,0 Aa	2,8 ± 0,2 ABa
2	11,0 ± 0,6 ABa	8,6 ± 1,4 ABa	2,0 ± 0,4 Aa	2,6 ± 0,2 Aa	5,2 ± 0,2 ABa	5,2 ± 0,4 ABa
3	20,1 ± 2,4 Ba	19,4 ± 2,2 BCa	3,6 ± 0,2 Aa	3,8 ± 0,2 Aa	6,2 ± 0,4 ABa	6,4 ± 0,4 BCa
4	38,3 ± 6,3 Ca	38,8 ± 4,4 Da	4,2 ± 0,4 Aa	4,6 ± 0,4 Aa	7,6 ± 0,8 ABCa	8,0 ± 0,6 BCDA
5	39,8 ± 6,7 Ca	41,8 ± 3,1 Da	4,8 ± 0,6 ABa	5,6 ± 0,4 Aa	11,6 ± 2,2 BCDA	13,4 ± 1,8 CDEa
6	40,3 ± 6,8 Ca	42,3 ± 2,9 Da	6,4 ± 1,2 ABCa	7,0 ± 0,7 Aa	14,8 ± 3,0 CEDa	17,0 ± 2,7 Ea
7	46,2 ± 1,6 CDa	40,7 ± 3,7 Da	17,9 ± 1,9 BCDA	18,3 ± 2,8 Ba	16,9 ± 1,6 DEFa	14,8 ± 1,2 Ea
8	48,7 ± 1,7 CDa	41,4 ± 3,6 Db	18,6 ± 2,3 CDa	28,1 ± 4,1 Cb	17,6 ± 1,4 DEFa	12,4 ± 1,5 CDEb
9	51,0 ± 1,9 CDEa	32,7 ± 5,0 CDb	26,1 ± 2,8 DEa	20,7 ± 3,0 BCa	18,1 ± 1,3 DEFa	8,6 ± 1,1 BCb
10	56,1 ± 1,6 DEa	11,2 ± 3,5 ABb	28,4 ± 2,7 DEa	6,6 ± 2,6 Ab	18,4 ± 1,4 DEFa	7,0 ± 1,2 Bb
11	62,1 ± 1,2 EFa	0,0 ± 0,0 Ab	34,9 ± 2,3 Ea	0,0 ± 0,0 Ab	20,3 ± 0,8 EFa	0,0 ± 0,0 Ab
12	72,8 ± 2,1 Fa	43,2 ± 7,0 Db	46,0 ± 4,1 Fa	41,8 ± 4,2 Da	21,9 ± 0,8 Fa	15,0 ± 1,5 DEb

Valores são médias ± erro padrão. Letras minúsculas indicam diferenças significativas entre todas as combinações de tratamento e mês (ANOVA Tipo III seguida de teste de Tukey, $p \leq 0,05$). As letras comparam todas as 24 combinações (2 tratamentos × 12 meses).

Tabela G. Análise de variância fatorial (ANOVA Tipo III) para os efeitos do déficit hídrico (D), do tempo (T) e de sua interação (D×T) sobre as variáveis de crescimento de *Schizachyrium sanguineum*.

Variável	Fonte de variação	gl	SQ	QM	F	p-valor
Altura	Tratamento (D)	1	7558	7558	133,47	< 0,001
	Tempo (T)	11	31573	2870	50,68	< 0,001
	D × T	11	20099	1827	32,27	< 0,001
	Residual	151	8551	57		
Número de folhas	Tratamento (D)	1	782	782	18,70	< 0,001
	Tempo (T)	11	21737	1976	47,23	< 0,001
	D × T	11	7463	678	16,22	< 0,001
	Residual	151	6318	42		
Número de perfilhos	Tratamento (D)	1	703	703	55,55	< 0,001
	Tempo (T)	11	3091	281	22,21	< 0,001
	D × T	11	2004	182	14,39	< 0,001
	Residual	151	1911	13		

gl = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio.

Fonte: Elaborado pela autora com base nos resultados da ANOVA Tipo III.

Tabela H. Comparações entre tratamentos (Controle vs. Déficit Hídrico) em cada mês para altura, número de folhas e número de perfilhos de *Schizachyrium sanguineum*.

Mês	Altura (cm)			Número de folhas			Número de perfilhos		
	Estimativa	p-valor	Signif.	Estimativa	p-valor	Signif.	Estimativa	p-valor	Signif.
1	0,74	0,8767		0,0	1,0000		0,2	0,9293	
2	2,38	0,6178		-0,6	0,8836		0,0	1,0000	
3	0,74	0,8767		-0,2	0,9611		-0,2	0,9293	
4	-0,46	0,9231		-0,4	0,9222		-0,4	0,8591	
5	-2,00	0,6749		-0,8	0,8452		-1,8	0,4249	
6	-1,94	0,6841		-0,6	0,8836		-2,2	0,3297	
7	5,50	0,1043		-0,4	0,8902		2,1	0,1888	
8	7,22	0,0335	*	-9,5	0,0013	**	5,2	0,0013	**
9	18,38	< 0,0001	***	5,4	0,0639		9,5	< 0,0001	***
10	44,90	< 0,0001	***	21,8	< 0,0001	***	11,4	< 0,0001	***
11	62,09	< 0,0001	***	34,9	< 0,0001	***	20,3	< 0,0001	***
12	29,68	< 0,0001	***	4,2	0,2377		6,9	0,0005	**

Estimativas negativas indicam que o grupo controle teve média menor que o grupo déficit hídrico. Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tukey): *: $p < 0,05$; **: $p < 0,005$; ***: $p < 0,0001$.

Tabela I. Comparações entre meses consecutivos para altura (cm) nos tratamentos Controle e Déficit Hídrico de *Schizachyrium sanguineum*.

Período	Controle			Déficit Hídrico		
	Estimativa	p-valor	Signif.	Estimativa	p-valor	Signif.
m2 - m1	7,82	0,6277		6,18	0,8603	
m3 - m2	9,16	0,4181		10,80	0,2158	
m4 - m3	18,20	0,0020	**	19,40	0,0008	**
m5 - m4	1,48	1,0000		3,02	0,9989	
m6 - m5	0,50	1,0000		0,44	1,0000	
m7 - m6	5,84	0,7887		-1,60	1,0000	
m8 - m7	2,49	0,9960		0,77	1,0000	
m9 - m8	2,38	0,9972		-8,78	0,0955	
m10 - m9	5,07	0,7282		-21,45	< 0,0001	***
m11 - m10	5,99	0,5238		-11,20	0,0116	*
m12 - m11	10,75	0,0176	*	43,16	< 0,0001	***

Valores negativos indicam redução na variável entre os meses consecutivos. Ajuste de p-valor pelo método mvt para 11 comparações. Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tukey): *: $p < 0,05$; **: $p < 0,005$; ***: $p < 0,0001$.