



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA
DE SANTANA**



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS
GENÉTICOS VEGETAIS**

VITOR OLIVEIRA DOS SANTOS

**RESPOSTAS BIOQUÍMICAS, FISIOLÓGICAS E
MORFOAGRONÔMICAS DE *Stylosanthes* spp. SOB
CONDIÇÕES DE DÉFICIT HÍDRICO**

VITOR OLIVEIRA DOS SANTOS

**RESPOSTAS BIOQUÍMICAS, FISIOLÓGICAS E
MORFOAGRONÔMICAS DE *Stylosanthes* spp. SOB
CONDIÇÕES DE DÉFICIT HÍDRICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, da Universidade Estadual de Feira de Santana como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Genéticos Vegetais.

Orientador: Profa. Dra. Marilza Neves do Nascimento Ribeiro

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Lucas Santos Dias

Coorientadora: Profa. Dra. Claudineia Regina Pelacani Cruz

Ficha catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteadó - UEFS

Santos, Vitor Oliveira dos
S239r Respostas bioquímicas, fisiológicas e morfoagronômicas de *Stylosanthes*
spp. sob condições de déficit hídrico / Vitor Oliveira dos Santos. - 2025.
126f. : il.

Orientadora: Marilza Neves do Nascimento Ribeiro

Coorientador: Daniel Lucas Santos Dias

Coorientadora: Claudinéia Regina Pelacani Cruz

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Feira de Santana.
Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, 2025.

1. Leguminosa forrageira. 2. Estresse hídrico. 3. Estilosantes.
4. Semiárido. I. Ribeiro, Marilza Neves do Nascimento, orient. II. Dias,
Daniel Lucas Santos, coorient. III. Cruz, Claudinéia Regina Pelacani,
coorient. IV. Universidade Estadual de Feira de Santana. Programa de Pós-
Graduação em Recursos Genéticos Vegetais. V. Título.

CDU: 582.737

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente

ANGEL AMARAL SEIXAS

Data: 01/08/2025 11:05:38-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Angel Amaral Seixas
(Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB)



Documento assinado digitalmente

LUCAS KENNEDY SILVA LIMA

Data: 01/08/2025 14:15:56-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Lucas Kennedy Silva Lima
(Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS)



Documento assinado digitalmente

MARILZA NEVES DO NASCIMENTO RIBEIRO

Data: 01/08/2025 17:00:40-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Marilza Neves do Nascimento Ribeiro
(Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS)
Orientadora e Presidente da banca

Feira de Santana - BA
2025

Dedico este trabalho ao meu sobrinho Henry, que nasceu enquanto eu atravessava os caminhos desafiadores desta jornada. Sua chegada trouxe luz aos meus dias mais escuros e preencheu meu coração com um amor leve e sereno. Mesmo tão pequeno, você foi abrigo, respiro e renovação. Que a vida lhe seja tão generosa quanto o amor que você me trouxe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores, professores, familiares, colegas do Horto e amigos, que, de diferentes formas, contribuíram para a concretização deste trabalho. Sou imensamente grato pelo apoio, pelas parcerias construídas ao longo dessa trajetória e, sobretudo, pela confiança depositada em meu potencial e pelo constante incentivo na busca por minha melhor versão. <3

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

RESUMO

Stylosanthes Sw. é um gênero com espécies consideradas recursos genéticos vegetais devido ao seu potencial forrageiro, alta produção de biomassa, elevado teor de proteína bruta e tolerância ao déficit hídrico. Este estudo objetivou avaliar o efeito do déficit hídrico nas respostas bioquímicas, fisiológicas e morfoagronômicas de *Stylosanthes* spp. O experimento foi conduzido na Unidade Experimental Horto Florestal, com disponibilidades hídricas de 60%, 40% e 20% da capacidade do vaso. Dois genótipos foram avaliados: o acesso BGF 11-001 e a cultivar BRS-Bela, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3×2. O déficit hídrico afetou o desenvolvimento vegetativo e a morfologia das plantas, com destaque para o BGF 11-001, que apresentou maior razão folha/caule e superioridade na oferta de forragem. Ademais, o BGF 11-001 manteve maior estabilidade sob estresse severo, com teores elevados de clorofilas, acúmulo de aminoácidos livres e prolina, e ativação significativa das enzimas antioxidantes, indicando mecanismos eficientes de proteção celular e ajuste osmótico. A cultivar BRS-Bela, embora tenha acumulado solutos compatíveis, mostrou maior sensibilidade ao estresse, sem incremento das enzimas antioxidantes e degradação significativa da clorofila diante do déficit hídrico. Na análise bromatológica e de biomassa, o déficit reduziu a produção de biomassa e os teores de fibra, mas o BGF 11-001 manteve melhor qualidade de forragem, com menores teores de FDN e FDA e maior proteína bruta sob seca severa. Os resultados evidenciam a importância da interação genótipo × ambiente e destacam o potencial do acesso BGF 11-001 como material promissor para programas de melhoramento voltados à adaptação de leguminosas forrageiras ao Semiárido.

Palavras-chave: Leguminosa forrageira; Estresse hídrico; Estilosantes; Semiárido.

ABSTRACT

Stylosanthes Sw. is a genus that includes species considered valuable plant genetic resources due to their forage potential, high biomass production, elevated crude protein content, and tolerance to water deficit. This study aimed to evaluate the effect of drought stress on the biochemical, physiological, and morpho-agronomic responses of *Stylosanthes* spp. The experiment was conducted at the Horto Florestal Experimental Unit under water availability levels of 60%, 40%, and 20% of pot capacity. Two genotypes were assessed: the accession BGF 11-001 and the cultivar BRS-Bela, using a completely randomized design in a 3×2 factorial arrangement. Water deficit affected vegetative development and plant morphology, with BGF 11-001 standing out by exhibiting a higher leaf-to-stem ratio and superior forage yield. Additionally, BGF 11-001 demonstrated greater stability under severe stress conditions, maintaining higher chlorophyll content, greater accumulation of free amino acids and proline, and a significant increase in antioxidant enzyme activity, indicating effective cellular protection mechanisms and osmotic adjustment. In contrast, although BRS-Bela accumulated compatible solutes, it showed greater sensitivity to drought stress, with no increase in antioxidant activity and significant chlorophyll degradation. Bromatological and biomass analyses revealed that drought reduced biomass production and fiber content; however, BGF 11-001 maintained better forage quality under severe drought, with lower neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) levels, and higher crude protein content. These results emphasize the importance of genotype × environment interaction and highlight the potential of the BGF 11-001 accession as a promising candidate for breeding programs aimed at improving the adaptation of forage legumes to semiarid environments.

Keywords: Forage legume; Water stress; BGF-UEFS; Estilosantes; Semiarid.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1. Localização geográfica do acesso BGF 11-001 (*Stylosanthes viscosa*). 48
- Figura 2. Microclima formado no interior do telado..... 50
- Figura 3. Fenofases vegetativas acompanhadas durante a execução experimental. A, B e C: Brotamento foliar, Folha madura, Queda foliar, respectivamente, da cultivar Bela; D, E e F: Brotamento foliar, Folha madura, Queda foliar, respectivamente do BGF 11-001. 51
- Figura 4. Intensidade de brotamento foliares em *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. A – Acesso BGF 11-001 (*S. viscosa*); B – Cultivar BRS-Bela (*S. guianensis*). 54
- Figura 5. Intensidade de folhas maduras de *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. A – Acesso BGF 11-001 (*S. viscosa*); B – cultivar BRS-Bela (*S. guianensis*). 55
- Figura 6. Intensidade da queda foliar de *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. A – Acesso BGF 11-001 (*S. viscosa*); B – cultivar BRS-Bela (*S. guianensis*). 55
- Figura 7. Correlação de *Spearman* (rs) entre a disponibilidade hídrica e as fenofases vegetativas de genótipos de *Stylosanthes* spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade de hídrica. A – Acesso BGF 11-001 (*S. viscosa*); B – cultivar BRS-Bela (*S. guianensis*). “X” indica não significância na correlação de *Spearman* ($p \leq 0,05$). 56
- Figura 8. Desdobramento da interação para a espessura foliar de genótipos de *Stylosanthes* spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. Letras diferentes (maiúsculas para o fator genótipo e minúsculas para o fator disponibilidade hídrica) indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). 57
- Figura 9. Comparação de médias para o efeito individual do genótipo sobre características morfofuncionais de *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes disponibilidades hídricas. Letras diferentes indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Suculência; B – Densidade da folha; C- Densidade da madeira. 57

Figura 10. Comparação de médias para o efeito individual do fator disponibilidade hídrica sobre a Suculência das folhas de <i>Stylosanthes</i> spp. cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidades hídricas. Letras diferentes indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).	58
Figura 11. Desdobramento da interação para a produção de biomassa de <i>Stylosanthes</i> spp. cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. Letras diferentes indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Massa seca do caule; B – Porcentagem de massa seca da queda foliar.	59
Figura 12. Comparação das médias para o efeito individual do genótipo na produção de biomassa de <i>Stylosanthes</i> spp. cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. Letras diferentes indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Massa seca da folha; B – Relação folha/caule.	59
Figura 13. Comparação das médias para o efeito individual da disponibilidade hídrica na produção de biomassa de <i>Stylosanthes</i> spp. cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. Letras diferentes indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Massa seca da folha; B – Massa seca total.	59
Figura 14. Desdobramento da interação para o Comprimento do Ramo Primário de <i>Stylosanthes</i> spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. Letras diferentes (maiúsculas para o fator genótipo e minúsculas para o fator disponibilidade hídrica) indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).	60
Figura 15. Comparação das médias para o efeito individual do genótipo nas características morfológicas de <i>Stylosanthes</i> spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. Letras diferentes indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Diâmetro do coleto; B – Comprimento do eixo central; C – Estatura da planta; D- Número de ramos; E – Comprimento do folíolo central; F – Largura do folíolo central; G – Comprimento do folíolo lateral.	61
Figura 16. Comparação das médias para o efeito individual da disponibilidade hídrica nas características morfológicas de <i>Stylosanthes</i> spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. Letras diferentes indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Diâmetro do coleto; B – Comprimento do eixo central; C – Estatura da planta; D- Número de ramos; E – Área foliar.	62

Figura 17. Análise de componentes principais das variáveis mensuradas em *Stylosanthes* spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. EF: espessura da folha; SUC: suculência; DFA: densidade foliar; DMA: densidade do caule. MSF: Massa Seca da Folha; MSC: Massa Seca do Caule; MST: Massa Seca Total; F/C: razão Folha/Caule; MSQ%: Porcentagem de massa seca da queda foliar. DC: Diâmetro do coleto; CEC: Comprimento do eixo central; CRP: Comprimento do ramo primário; AE: Estatura da planta; NR: Número de ramos; CFC: Comprimento do folíolo central; LFC: Largura do folíolo central; CFL: Comprimento do folíolo lateral; LFL: Largura do folíolo lateral; AF: Área foliar. 63

CAPÍTULO 2

Figura 1. Localização geográfica do acesso BGF 11-001 (*Stylosanthes viscosa*). 80

Figura 2. Microclima formado no interior do telado. 82

Figura 3: Desdobramento da interação do Potencial Hídrico (A), Clorofila a (B) e Clorofila total (C) em *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes condições de disponibilidade hídrica. Médias seguidas por letras distintas (maiúsculas para o fator genótipo e minúsculas para o fator disponibilidade hídrica) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). 87

Figura 4: Médias do conteúdo de Clorofila b de genótipos de *Stylosanthes* spp. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). 87

Figura 5: Médias do desempenho de genótipos de *Stylosanthes* spp. em diferentes condições de disponibilidade hídrica. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). 88

Figura 6: Desdobramento da interação do conteúdo de Proteínas Solúveis Totais (A), e Açúcares Redutores (B) em *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes condições de disponibilidade hídrica. Médias seguidas por letras distintas (maiúsculas para o fator genótipo e minúsculas para o fator disponibilidade hídrica) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). 89

Figura 7: Médias da avaliação individual dos fatores genótipo (A) e disponibilidade hídrica (B) no cultivo de *Stylosanthes* spp. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). 90

Figura 8: Desdobramento da interação da atividade da Superóxido dismutase (A), e Guaiacol

Peroxidase (B) em *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes condições de disponibilidade hídrica. Médias seguidas por letras distintas (maiúsculas para o fator genótipo e minúsculas para o fator disponibilidade hídrica) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). 91

CAPÍTULO 3

Figura 1. Localização geográfica do acesso BGF 11-001 (*Stylosanthes viscosa*). 109

Figura 2. Microclima formado no interior do telado. 111

Figura 3. Desdobramento da interação da massa seca do caule de *Stylosanthes* spp. cultivadas em condições de déficit hídrico. Médias seguidas por letras distintas (maiúsculas para o fator genótipo e minúsculas para o fator disponibilidade hídrica) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). 114

Figura 4. Avaliação individual do fator genótipo na produção de biomassa entre genótipos de *Stylosanthes* spp. produção de biomassa de *Stylosanthes* spp. cultivadas em condições de déficit hídrico. A - Massa seca da folha; B - Relação folha/caule. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). 114

Figura 5. Efeito individual do fator disponibilidade hídrica na produção de biomassa de *Stylosanthes* spp. cultivadas em condições de déficit hídrico. A – Massa seca foliar; B – Massa seca total. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). 115

Figura 6 Desdobramento da interação das variáveis bromatológicas de *Stylosanthes* spp. cultivadas em condições de déficit hídrico. Médias seguidas por letras distintas (maiúsculas para o fator genótipo e minúsculas para o fator disponibilidade hídrica) diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Fibra em detergente neutro; B – Hemicelulose; C – Celulose; D – Lignina. 116

Figura 7. Avaliação individual do fator genótipo na produção de biomassa entre genótipos de *Stylosanthes* spp. produção de biomassa de *Stylosanthes* spp. cultivadas em condições de déficit hídrico. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Fibra em detergente ácido; B – Fibra em detergente neutro indigestível. 117

Figura 8. Efeito individual do fator disponibilidade hídrica na produção de biomassa de *Stylosanthes* spp. cultivadas em condições de déficit hídrico. Médias seguidas por letras distintas

diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Cinzas; B – Fibra em detergente ácido; C – Fibra em detergente neutro indigestível. 118

Figura 9. Análise de Componentes Principais das variáveis experimentais mensuradas em *Stylosanthes* spp. sob condições de déficit hídrico. LDF: Massa seca foliar; MSC: Massa seca do caule; MST: Massa seca total; F/C: Relação folha/caule; CIN: Cinzas; PB: Proteína bruta; FDN: Fibra em detergente neutro; FDA: Fibra em detergente ácido; HEM: Hemicelulose; CEL: Celulose; LIG: Lignina; FDNi: Fibra em detergente neutro indigestível. 119

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Resumo da análise de variância para características morfofuncionais de genótipos de <i>Stylosanthes</i> spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.	56
Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis de produção de biomassa de genótipos de <i>Stylosanthes</i> spp. cultivados sob diferentes condições de disponibilidade hídrica.	58
Tabela 3. Resumo da análise de variância para os caracteres morfológicos de genótipos de <i>Stylosanthes</i> spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.	60

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Resumo da análise de variância para resposta fisiológica de genótipos de <i>Stylosanthes</i> spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.	86
Tabela 2. Resumo da análise de variância para as respostas bioquímicas de genótipos de <i>Stylosanthes</i> spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.	88
Tabela 3. Resumo da análise de variância para a atividade enzimática de genótipos de <i>Stylosanthes</i> spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.	90

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Resumo da análise de variância para as variáveis avaliadas no cultivo de <i>Stylosanthes</i> spp. sob déficit hídrico.	113
---	-----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 Recursos Genéticos Vegetais.....	20
2.2 O gênero <i>Stylosanthes</i> SW.....	22
2.3 Estresse hídrico e suas alterações fisiológicas nas plantas	24
2.4 Plantas forrageiras sob condições de estresse hídrico	28
3 REFERÊNCIAS	32
CAPÍTULO 1: DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO E ASPECTOS MORFOLÓGICOS DE <i>Stylosanthes</i> spp. (FABACEAE) EM CONDIÇÕES DE DÉFICIT HÍDRICO	43
1 INTRODUÇÃO	46
2 MATERIAL E MÉTODOS	47
2.1 Local de execução e obtenção do material vegetal.....	47
2.2 Coleta do substrato e determinação da capacidade máxima de retenção de água/capacidade de vaso	48
2.2.1 Coleta do substrato e adubação	48
2.2.2 Determinação da capacidade de vaso	48
2.3 Condução experimental	49
2.3.1 Tratamentos pré-germinativo e germinação das sementes	49
2.3.2 Corte de uniformização, e aplicação e manutenção da disponibilidade hídrico.....	49
2.3.3 Tratos culturais	50
2.3.4 Obtenção das variáveis climáticas	50
2.4 Determinações experimentais.....	51
2.4.1 Acompanhamento do desenvolvimento vegetativo.....	51
2.4.2 Aspectos morfológicos e traços morfofuncionais	51
2.5 Análise de dados	53
3 RESULTADOS	54
3.1 Desenvolvimento vegetativo.....	54
3.2 Aspectos morfológicos e traços morfofuncionais.....	56
4 DISCUSSÃO	63
5 CONCLUSÃO	67
6 REFERÊNCIAS	69
CAPÍTULO 2: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE <i>Stylosanthes</i> spp. EM CONDIÇÕES DE DÉFICIT HÍDRICO	75

1 INTRODUÇÃO	78
2 MATERIAL E MÉTODOS	79
2.1 Local de execução e obtenção do material vegetal.....	79
2.2 Coleta do substrato e determinação da capacidade máxima de retenção de água/capacidade de vaso	80
2.2.1 Coleta do substrato e adubação	80
2.2.2 Determinação da capacidade de vaso	80
2.3 Condução experimental	81
2.3.1 Tratamentos pré-germinativo e germinação das sementes	81
2.3.2 Corte de uniformização, e aplicação e manutenção da disponibilidade hídrico.....	81
2.3.3 Tratos culturais	82
2.3.4 Obtenção das variáveis climáticas	82
2.4 Determinações experimentais.....	82
2.4.1 Potencial hídrico.	82
2.4.2 Eficiência do uso da água	83
2.4.3 Determinação do índice de clorofila.....	83
2.4.4 Preparação dos extratos.	83
2.4.5 Açúcares solúveis totais, açúcares redutores e sacarose	83
2.4.6 Proteínas solúveis totais	84
2.4.7 Aminoácidos	84
2.4.8 Prolina	84
2.4.9 Atividade da super óxido dismutase	85
2.4.10 Atividade da Guaiacol Peroxidase.....	85
2.5 Análise de dados	85
3 RESULTADOS	86
3.1 Avaliações fisiológicas	86
3.2 Avaliações bioquímicas	88
3.3 Atividade enzimáticas	90
4 DISCUSSÃO	91
5 CONCLUSÃO	96
6 REFERÊNCIAS	97
CAPÍTULO 3: PRODUÇÃO DE BIOMASSA E COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA DE <i>Stylosanthes</i> spp. SUBMETIDOS AO DÉFICIT HÍDRICO	104
1 INTRODUÇÃO	107
2 MATERIAL E MÉTODOS	108

2.1 Local de execução e obtenção do material vegetal.....	108
2.2 Coleta do substrato e determinação da capacidade máxima de retenção de água/capacidade de vaso	109
2.2.1 Coleta do substrato e adubação	109
2.2.2 Determinação da capacidade de vaso	109
2.3 Condução experimental	110
2.3.1 Tratamentos pré-germinativo e germinação das sementes	110
2.3.2 Corte de uniformização, e aplicação e manutenção da disponibilidade hídrico.....	111
2.3.3 Tratos culturais	111
2.3.4 Obtenção das variáveis climáticas	111
2.4 Determinações experimentais.....	111
2.4.1 Produção de biomassa	111
2.4.2 Determinações bromatológicas.....	112
2.5 Análise de dados	112
3 RESULTADOS	113
4 DISCUSSÃO	119
5 CONCLUSÃO	122
6 REFERÊNCIAS	123

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o país que abriga a maior biodiversidade do planeta, apresentando regiões com distintas características edafoclimáticas e fisionômicas de vegetação dentro da extensão do seu território (IBGE, 2022). Dentre essas regiões, encontra-se o Semiárido brasileiro (SAB) que é contemplado com 1.262 municípios, localizando-se a maior parte deles na região Nordeste, e uma pequena porção no estado de Minas Gerais (IBGE, 2022).

Nessa faixa territorial dois tipos de vegetação dominam a flora local: as espécies florestais e as não florestais, sendo as não florestais representadas em sua maioria por espécies lenhosas e caducifólias espinhosas, denominadas regionalmente de “Caatinga”, encraves de cerrado e vegetação arbustiva (LOIOLA *et al.*, 2012). Ademais, o SAB ainda é notoriamente conhecido por apresentar um clima seco, quente e regime pluviométrico de grande irregularidade e, nesse sentido, a escassez de água e distribuição desuniforme de chuvas durante o ano são uns dos principais fatores que afetam o desenvolvimento socioeconômico da região (SIMÕES *et al.*, 2022). São justamente essas características climáticas que tornam limitada a produção de plantas forrageiras no SAB.

Tendo em vista os desafios impostos pelo clima da região faz-se necessário a busca por Recursos Genéticos Vegetais (RGV) tolerantes à seca visando diminuir os impactos causados pela irregularidade pluviométrica na disponibilidade de alimentos empregados na dieta animal (Voltolini, 2010). Dentre as espécies que apresentam tal característica, destacam-se o capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.), gliricídia (*Gliricidia sepium* Jacq.) e espécies do gênero *Stylosanthes* Sw.

Stylosanthes Sw. é um gênero pertencente à família Fabaceae Lindl. e apresenta uma ampla distribuição pelas Américas, sendo o Brasil o país que abriga o maior centro de diversidade, com 38 espécies descritas no Flora e Funga do Brasil (FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2025). Ademais, muitas dessas espécies são caracterizadas como RGV, pois são plantas potenciais forrageiros e elevados níveis de biomassa e proteína, que variam entre 12 e 20%, e ainda conseguem apresentar uma boa adaptação a solos ácidos e tolerar condições de déficit hídrico (GONZALEZ *et al.*, 2000; LIU *et al.*, 2019; HABERMANN *et al.*, 2021). Ainda, cabe salientar a utilização do gênero também como espécies que condicionam os solos à melhora das suas características físico-químicas e biológicas (HUANG *et al.*, 2023).

Nesse viés, essas características conferem ao gênero relevância para a utilização como plantas forrageiras em pastos, sobretudo em consórcio com gramíneas, principalmente em

condições de escassez de forragem durante períodos de estiagem, tornando-a um dos gêneros de maior relevância econômica dentre as leguminosas forrageiras (SILVA-NETO *et al.*, 2024).

O que concerne ao papel da água no organismo vegetal, destaca-se o seu envolvimento em diversos processos fisiológicos, de modo é considerada o principal agente regulador do desenvolvimento desses indivíduos, tornando a habilidade de tolerância à sua falta um fator de grande importância para a manutenção do ciclo de vida das plantas (BHATLA; LAL, 2018). Nesse viés, a redução na disponibilidade dessa substância pode levar esses organismos ao estresse hídrico, e, quando prolongado, esse estresse resulta em alterações moleculares bioquímicas, fisiológicas e morfológicas, levando a reduções no desempenho produtivo, na reprodução ou até mesmo levando-as à morte (BARTELS; SUNKARS, 2005; TAIZ *et al.*, 2017; BHATLA; LAL, 2018; KERBAUY, 2019).

Devido a essas alterações, os organismos vegetais desenvolveram durante os seus processos de evolução estratégias que lhes permitem tolerar tais condições, como, por exemplo, o fechamento estomático e a redução da área foliar por meio da aceleração da abscisão (TAIZ *et al.*, 2017; BHATLA; LAL, 2018). Não obstante, os autores salientam que, consequentemente, as alterações supracitadas promovem a diminuição da produção de fotoassimilados. Sob essa perspectiva, no cultivo plantas forrageiras, tais condições de déficit hídrico tendem a ocasionar reduções na produção de massa da matéria seca (GUIMARÃES-BEELLEN *et al.*, 2006), resultando em uma menor oferta de alimento para os animais durante o pastejo.

Outrossim, tal condição de restrição hídrica desencadeia mudanças no equilíbrio da produção das espécies reativas do oxigênio (EROS), resultando na ocorrência do estresse oxidativo e assim aumentando a concentração desses radicais livres nas células vegetais, o que ocasiona danos como a oxidação irreversível do DNA, lipídios e proteínas (BHATLA; LAL, 2018; HUANG *et al.*, 2019; MITTLER *et al.*, 2022). Para se defender dos danos provocados pelas EROS as plantas apresentam mecanismos de defesa enzimáticos não enzimáticos, com o propósito de manter a homeostase redox e reduzir os prejuízos causados por essas moléculas (BHATLA; LAL, 2018).

A complexidade das respostas das plantas quanto à tolerância hídrica, ou à sensibilidade delas à seca, depende principalmente da espécie e do seu genótipo (BARTELS; SUNKARS, 2005). Já foi identificado por Gonçalves Neto (2021) que os acessos *Stylosanthes capitata* Voguel. do Banco de Germoplasma de Forrageiras da Universidade Estadual de Feira de Santana (BGF-UEFS) apresentam mecanismos fisiológicos que conferem adaptação ao déficit hídrico. Esse mesmo banco ainda conta com mais de 370 acessos de espécies do gênero,

conservados em forma de sementes, coletadas entre os anos de 2007 e 2019 no semiárido do estado da Bahia (SILVA *et al.*, 2023).

Contudo, ainda é necessário realizar a avaliação desses materiais quanto à tolerância ao déficit hídrico – de forma que seus mecanismos bioquímicos, fisiológicos e morfológicos que conferem tolerância ao estresse hídrico possam ser elucidados – para que futuramente haja um direcionamento mais assertivo na escolha dos genótipos a serem submetidos a programas de melhoramento genético que visem desenvolver cultivares de forrageiras com maior resiliência às condições climáticas do SAB, tendo em vista que trabalhos relacionados ao desenvolvimento de cultivares forrageiras adaptadas à localidade ainda são escassos.

Portanto, levando em consideração a baixa quantidade de trabalhos com *Stylosanthes* spp. relacionados à tolerância de espécies do gênero ao déficit hídrico, e também à disponibilidade reduzida de genótipos de plantas forrageiras adaptadas ao Semiárido brasileiro, objetivou-se avaliar as respostas bioquímicas, fisiológicas e morfoagronômicas de *Stylosanthes* spp. em condições de déficit hídrico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Recursos Genéticos Vegetais

Os Recursos Genéticos Vegetais (RGV) são fundamentais para a segurança alimentar e agrícola em todo o mundo, pois englobam cultivares modernas, variedades tradicionais, parentes silvestres e raças locais, sendo todas essas essenciais para o desenvolvimento de culturas mais resilientes por meio do melhoramento genético vegetal (MGV) (PATERNIANI *et al.*, 2000; FERREIRA, 2006). Ademais, a conservação dos RGV possui uma característica singular em relação a outros métodos de conservação, pois busca não apenas preservar a biodiversidade, mas também promover o uso dos recursos conservados (MAXTED *et al.*, 1997). Nesse sentido, esse processo envolve diversas etapas: a identificação da diversidade genética entre as espécies vegetais, a definição de prioridades entre os táxons-alvo, o planejamento e a execução de ações de conservação, além da caracterização, avaliação e uso dos recursos por agricultores, melhoristas ou pesquisadores (LAWRENCE, 2002; MAXTED *et al.*, 2025).

Dessa forma, iniciativas internacionais têm desempenhado um papel crucial para assegurar a conservação e o uso sustentável dos RGV, sendo o Tratado Internacional sobre os Recursos Fitogenéticos para a Alimentação e a Agricultura um dos principais instrumentos legais nesse campo. Estabelecido sob a coordenação da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, esse tratado visa garantir o acesso facilitado a esses recursos e promover a repartição justa e equitativa dos benefícios derivados de sua utilização, especialmente no enfrentamento dos desafios globais relacionados à segurança alimentar (FAO, 2001). Além disso, nele ainda há a preservação dos direitos dos agricultores através da valorização dos conhecimentos tradicionais associados à biodiversidade agrícola, e também estimula a cooperação internacional, aspectos esses essenciais para a continuidade das ações de conservação e o fortalecimento do melhoramento genético vegetal em escala global. Todavia, a trajetória da conservação dos recursos genéticos no Brasil teve início bem antes da adoção do tratado mencionado, em 1974, quando a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) criou o Centro Nacional de Pesquisa em Recursos Genéticos, que atualmente é denominada Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia e encontra-se sediada em Brasília, desempenhando papel fundamental na pesquisa e na preservação da diversidade genética no país (KNUDSEN, 2000).

A conservação dos RGV emprega duas estratégias principais: a conservação *in-situ* – na qual os recursos são preservados em seus habitats naturais; e a conservação *ex-situ* – que envolve a transferência dos recursos para ambientes mais seguros, visando sua conservação e

maior acessibilidade (MAXTED *et al.*, 2025). A estratégia de conservação *ex situ* emprega a remoção do material genético de sua área de origem para ser armazenado em bancos de germoplasma ou câmaras frias, geralmente vinculados a instituições governamentais de pesquisa (FACHINI *et al.*, 2024). Em contraste, esses autores definem a conservação *in situ* através da priorização da manutenção do material genético em seu habitat natural, especialmente em áreas protegidas e reservas, permitindo a continuidade da evolução das populações no ambiente original.

Nesse viés, a conservação *ex-situ* recebe destaque por ser a mais amplamente praticada como forma de se conservar o patrimônio genético vegetal, tendo em vista que se trata de um método mais economicamente viável, sobretudo para espécies com sementes de classificação ortodoxa (JOSÉ, 2010). As coleções *ex situ* de recursos genéticos vegetais incluem diferentes modalidades de bancos, como os de sementes, os bancos de ativos e as coleções *in vitro* (NAGEL *et al.*, 2009; CONDÓN; ROSSI, 2018).

A manutenção da diversidade genética em prazos curtos e intermediários acontecem por meio desses Bancos Ativos de Germoplasma (BAGs), que reúnem o que se denomina de coleção ativa — um conjunto de acessos mantidos com o objetivo de fornecer suporte imediato a iniciativas de melhoramento genético e ao intercâmbio de germoplasma entre instituições e programas de pesquisa (JOSÉ, 2010; COSTA *et al.*, 2011). Esse método de conservação se dá, principalmente devido a duas principais características: ou porque a forma mais viável de propagação é a vegetativa ou então suas sementes são do tipo recalcitrante — ou seja, que não toleram a secagem e o armazenamento prolongado (NAGEL *et al.*, 2009).

Os bancos de germoplasma armazenam materiais genéticos de diferentes origens, sendo que cada uma dessas unidades é denominada acesso. Um acesso corresponde a uma amostra distinta e identificável de sementes, tecidos ou outros materiais vegetais, representando uma variedade tradicional, uma população silvestre, uma cultivar ou uma linha de melhoramento (FAO, 2025). Cada acesso é registrado individualmente, com um código único, e mantido como unidade funcional para fins de conservação, caracterização e uso em pesquisa e programas de melhoramento genético (FAO, 2025).

O uso eficiente de um banco de germoplasma depende diretamente do conhecimento detalhado sobre os materiais ali conservados (FERREIRA, 2006). Nesse contexto, a caracterização dos acessos conservados, assim como a análise das relações genéticas entre eles, representa uma etapa estratégica. O conhecimento da diversidade genética presente em bancos de germoplasma é essencial para a conservação sustentável e para ampliar seu aproveitamento em programas de melhoramento genético, tendo em vista que a ausência de informações

detalhadas sobre esses materiais tem sido um dos principais entraves à sua utilização efetiva, o que limita significativamente seu potencial nos processos de seleção e desenvolvimento de novas cultivares (PATERNIANI *et al.*, 2000; FERREIRA, 2006).

2.2 O gênero *Stylosanthes* Sw.

Fabaceae Lindl. constitui a terceira maior família de plantas angiospermas do mundo abrigando cerca de 23.000 espécies e 800 gêneros, com distribuição global e alta importância econômica e ecológica, sendo encontradas em diversos ecossistemas como florestas tropicais, desertos e regiões alpinas (LPWG, 2024). No Brasil mais de 3.110 espécies já foram catalogadas e encontram-se distribuídas em 264 gêneros botânicos (FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2025) assumindo diferentes tipos de hábitos, a exemplo da árvore conhecida popularmente como Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), subarbusto como *Stylosanthes viscosa* (L.) Sw., arbustos como a *Calliandra aeschynomoides* Benth. e lianas como o Mangalô (*Lablab purpureus* L.). Outrossim, na família Fabaceae diversas espécies são caracterizadas como recursos genéticos vegetais, a exemplo de plantas do gênero *Stylosanthes* Sw.

Stylosanthes Sw. apresenta espécies distribuídas no continente africano e, principalmente, pelas Américas, desde os Estados Unidos à Argentina, sendo o Brasil o país que abriga o maior centro de diversidade, com 38 espécies descritas no Flora e Funga Brasil, 17 dessas endêmicas no país (FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2025). Ademais, ainda podem ser encontradas na Ásia e na Austrália, uma vez que foram introduzidas nessas regiões (VANNI, 2017). Embora o gênero seja de fácil reconhecimento visual devido às suas características morfológicas, a identificação a nível de espécie é dificultada por conta da sobreposição de caracteres (FERREIRA *et al.*, 2022). Nesse sentido, essas são agrupadas em duas seções distintas, considerando características como a presença e a ausência do eixo plumoso na base das flores e/ou dos frutos, e o número de bractéolas (CALLES; SCHULTZE-KRAFT, 2010).

Outrossim, algumas espécies desse gênero se caracterizam como RGV devido à sua aplicabilidade na forragicultura (COOK; SCHULTZE-KRAFT, 2020), sendo uma pastagem de excelente qualidade por conta de sua composição nutricional (DINIZ *et al.*, 2024), com conteúdo proteico variando entre 12% e 20% (GONZALEZ *et al.*, 2000). Além dessas características, são plantas adaptadas a solos ácidos, de baixa fertilidade, toleram condições de estresse hídrico (GONZALEZ *et al.*, 2000; LIU *et al.*, 2019; COOK; SCHULTZE-KRAFT, 2020; HABERMANN *et al.*, 2021), e também são capazes de estabelecer interações com bactérias diazotróficas, realizando, nesse sentido, a fixação biológica de nitrogênio através da

simbiose com esses microrganismos (LÜSCHER *et al.*, 2014; SCHULTZE-KRAFT *et al.*, 2018; HABERMANN *et al.*, 2021; DINIZ *et al.*, 2024). Dessa forma, espécies do gênero *Stylosanthes* são consideradas promissoras para programas de melhoramento genético vegetal (MUIR *et al.*, 2019).

Depreende-se, portanto, que a soma dessas características supracitadas se mostra de grande relevância para utilização dessas espécies como pastagens, podendo ser uma alternativa em períodos de escassez de forragens durante a estiagem, principalmente em regiões que apresentam baixa pluviosidade ou chuvas irregulares ao longo do ano, a exemplo do Semiárido brasileiro (SAB).

Musco *et al.* 2016, em *Stylosanthes hamata* (L.) e *Stylosanthes scabra* Vogel, identificaram que durante o período de desenvolvimento vegetativo foram reportadas qualidades nutricionais atreladas a um alto teor de carboidratos estruturais e baixa degradabilidade da matéria orgânica. Todavia, uma questão que torna os produtores menos adeptos ao uso de leguminosas como fonte de alimento na pecuária está ligado ao teor de fibras encontrado nesses materiais (SANTOS *et al.*, 2019), uma vez que esse fator pode comprometer diretamente a degradabilidade no rúmen e, portanto, a disponibilidade de proteínas (CASTRO-MONTOYA; DICKHOEFER, 2020). Nesse viés, é de grande valia a compreensão dessas características, uma vez que estudar os fatores envolvidos nessas variações é de suma importância para o desenvolvimento de estratégias na produção animal, tanto econômica quanto ambientalmente sustentáveis (DINIZ *et al.*, 2024).

No entanto, poucos programas de melhoramento genético envolvendo espécies do gênero *Stylosanthes* foram conduzidos no Brasil, resultando no lançamento de um número reduzido de cultivares no mercado nacional (GONÇALVES NETO, 2021). Dentre os materiais superiores já lançados no mercado, destaca-se a cultivar Campo Grande. Esse genótipo é resultante da mistura de sementes em proporções de 80% de *S. capitata* e 20% de *Stylosanthes macrocephala* M. B. Ferr. et S. Costa, advindas da seleção de acessos coletados em Campo Grande, no estado do Mato Grosso do Sul, e lançada pela Embrapa Gado de Corte (EMBRAPA, 2007). Suas recomendações de cultivo são para regiões de clima tropical que apresentem pluviosidade anual mínima de 700 mm e máxima de 1800 mm, sem a presença de elevadas temperaturas e umidade relativa (EMBRAPA, 2007).

Outra cultivar de considerável relevância no Brasil é a BRS Bela, resultante de uma mistura física de proporção igual das cultivares de *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw. BRS GROF 1463 e BRS GROF 1480, desenvolvida em parceria entre a Embrapa Cerrados e a Embrapa Gado de Corte (EMBRAPA, 2019). A avaliação dessa cultivar foi conduzida em

regiões de bioma Cerrado, onde ela recebeu destaque pela resistência à antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) e a elevada produção de sementes, além da sua produtividade de massa seca (FERNANDES, 2004; BRAGA *et al.*, 2020). As recomendações de cultivo desse material são direcionadas para áreas de biomas do tipo Mata Atlântica e de Cerrado (EMBRAPA, 2019).

Fora do Brasil, diversos países já realizaram trabalhos voltados ao melhoramento de espécies do gênero *Stylosanthes*. A Colômbia, por exemplo, fez o desenvolvimento e o lançamento da cultivar Capica (CIAT 10280, CPAC 1618), oriunda da espécie *S. capitata* (ALZATE-MARIN *et al.*, 2019). No continente europeu, a Austrália se destaca como um dos países que mais desenvolveu trabalhos com espécies do gênero, uma vez que desde a década de 70 materiais superiores foram desenvolvidos e lançados comercialmente no mercado, a exemplo da cv. Gharam (CPI 40255, *S. guianensis*). Já no continente asiático, tanto a China quanto a Tailândia também já desenvolveram estudos com *Stylosanthes* spp., e cultivares como cv. Ubon stylo (*S. guianensis*) e cv. Reyan No. 25 (*S. guianensis*) já foram lançadas comercialmente nesses países.

Todavia, para o SAB poucos estudos foram desenvolvidos com o gênero, principalmente na busca de genótipos produtivos adaptados às peculiaridades climáticas da região. Oliveira (2015) e Santana (2010) realizaram expedições de coleta de genótipos de *Stylosanthes* spp. no Semiárido baiano e nesse sentido identificaram uma grande ocorrência de populações naturais. Os autores, através da união desses materiais, concretizaram a criação do Banco de Germoplasma de Forrageira da Universidade Estadual de Feira de Santana (BGF-UEFS), que conta com cerca de 370 acessos armazenados hodiernamente (SILVA *et al.*, 2023).

Ademais, Oliveira *et al.* (2015) através do seu estudo pôde concluir que os materiais coletados apresentam uma variabilidade para os caracteres avaliados de massa produzida, sendo esses de possíveis interesses para programas de melhoramento genético. Todavia, é necessário realizar estudos mais aprofundados que busquem maior entendimento acerca do desempenho desses materiais sob condições de restrição hídrica, visando o desenvolvimento de genótipos adaptados ao SAB, uma vez que os fatores ambientais e fenológicos, como o estágio vegetativo, fertilidade do solo e disponibilidade hídrica exercem influência direta nas características nutritivas e na disponibilidade de forragens (SOLONTSI *et al.* 2019).

2.3 Estresse hídrico e suas alterações fisiológicas nas plantas

De acordo com Taiz *et al.* (2017), considera-se estresse toda condição ambiental adversa que limita a capacidade das plantas de manifestar plenamente seu potencial genético. Fatores

estressantes podem ter origem biótica — como a ação de microrganismos, animais ou atividades humanas — ou abiótica, incluindo temperatura, radiação, presença de minerais, gases e disponibilidade de água, sendo esta última relacionada tanto ao excesso (inundações) quanto à escassez (déficit hídrico) de recursos hídricos (BIANCHI; GERMINO; ALMEIDA, 2016).

O aquecimento global, promovido pela emissão de gases de efeito estufa, tem ocasionado o aumento da temperatura média no planeta (KEHINDE, 2021) de modo que eventos climáticos severos, como grandes períodos de estiagem, têm se tornado cada vez mais frequentes e rigorosos. Tais eventos interferem diretamente na produção mundial de alimentos, considerando que a disponibilidade hídrica é um fator essencial para a manutenção da vida das plantas (TAIZ *et al.*, 2017; KERBAUY, 2019; BATOOL *et al.*, 2024).

A escassez hídrica afeta principalmente agricultores de baixo poder aquisitivo devido às condições de vulnerabilidade social na qual esses estão inseridos (KEHINDE, 2021). Nesse contexto, torna-se cada vez mais urgente investigar os impactos que são promovidos pela falta d'água, considerando a importância dessa molécula para a manutenção da vida das plantas (CONTI *et al.*, 2023), bem como desenvolver alternativas que possam atenuar os impactos decorrentes da baixa disponibilidade desse recurso.

Ademais, o que concerne ao papel da água no organismo vegetal, essa substância está envolvida em diversos processos fisiológicos das plantas (OO *et al.*, 2020; PODDAR *et al.*, 2023) de modo que é considerada como o principal agente regulador do metabolismo desses indivíduos, o que torna a habilidade de tolerância à sua falta um fator de grande importância para a continuidade ciclo de vida das plantas (BHATLA; LAL, 2018). Nesse contexto, o déficit hídrico, promovido pela redução na disponibilidade de água, culmina em alterações morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares no organismo vegetal (TÁTRAJ *et al.*, 2016; SALLAMAN *et al.*, 2019). Tais alterações podem ser manifestadas por meio da redução do potencial hídrico foliar (PODDAR *et al.*, 2023), fechamento estomático, diminuição da atividade fotossintética, redução vegetativa, aceleração da senescência, abscisão foliar e aumento da produção de EROS (espécies reativas ao oxigênio) (BARTELS; SUNKARS, 2005; TAIZ *et al.*, 2017; BHATLA; LAL, 2018; KERBAUY, 2019; WANG *et al.*, 2021; CRUZ *et al.*, 2023), ou até mesmo em modificações morfofuncionais que permitem adaptações à seca (FREITAS *et al.*, 2024; PEREIRA *et al.*, 2024).

Além disso, sabe-se que atividade fotossintética e alguns processos metabólicos resultam naturalmente na produção de EROS (LEE *et al.*, 2023; BATOOL *et al.*, 2024). Essas EROS são derivadas do oxigênio molecular (O_2), no qual há a transferência de 1, 2 ou 3 elétrons da molécula que culmina na formação do radical superóxido ($O_2^{\bullet-}$), peróxido de hidrogênio

(H₂O₂), ou radical hidroxila (•OH), respectivamente (BHATLA; LAL, 2018; MÖLLER *et al.*, 2019). Além disso, há ainda outra forma de oxigênio resultante da excitação, denominada de oxigênio singlete (¹O₂) (BHATLA; LAL, 2018). No metabolismo vegetal essas moléculas podem atuar na sinalização de diversas reações ligadas ao desenvolvimento da planta (HUANG *et al.*, 2019).

Todavia, condições de estresses bióticos ou abióticos, como a limitação da disponibilidade de água, podem desencadear mudanças no equilíbrio das EROS (HALLIWELL; WHITEMAN, 2004; BHATLA; LAL, 2018), provocando assim o estresse oxidativo – resultante do aumento da concentração desses radicais livres nas células vegetais –, o que ocasiona, principalmente, danos em membranas celulares, DNA, lipídeos e proteínas (AZEVEDO NETO *et al.*, 2015; AHMAD *et al.*, 2018; BHATLA; LAL, 2018; HUANG *et al.*, 2019; MITTLER *et al.*, 2022).

A tolerância das plantas submetidas ao estresse hídrico relaciona-se à capacidade de adaptação dessas à falta d'água, de maneira que numerosos mecanismos, ligados a alterações fisiológicas, morfológicas e bioquímicas, sejam ativados para reduzir danos passíveis de serem provocados diante de tal situação (BATOOL *et al.*, 2024), permitindo a manutenção do metabolismo vegetal em condições de potencial hídrico reduzido.

A produção e acumulação de moléculas antioxidantes, clorofila, hormônios, metabólitos secundários e solutos compatíveis, como a prolina e açúcares, são consideradas respostas bioquímicas (BATOOL *et al.*, 2024). Já as respostas fisiológicas estão relacionadas ao fechamento dos estômato, ajustamento osmótico, transporte de água na planta e outros diversos mecanismos (CONESA *et al.*, 2016). Respostas morfológicas podem promover mudanças como a redução da área foliar e o aumento do comprimento de raízes (BATOOL *et al.*, 2024), ou até mesmo redução na densidade da madeira (PEREIRA *et al.*, 2024), de maneira que permite maior acúmulo de água.

Esses mesmos mecanismos são decorrentes de modificações sofisticadas no seu metabolismo vegetal (PAMUNGKAS *et al.*, 2022) resultando na atenuação do efeito do fator estressante. Dessa forma, essas alterações desenvolvidas podem ser oriundas de modificações genéticas (CRUZ *et al.*, 2023; BATOOL *et al.*, 2024), originadas a partir do processo de evolução que, de maneira geral, apresentam diferentes respostas ao déficit hídrico, sejam essas por escape, tolerância ou evitamento da escassez de água (RIJAL *et al.*, 2021, CRUZ *et al.*, 2023).

A maneira como as plantas respondem a esse estresse promovido pela redução na disponibilidade de água é dependente principalmente da espécie e do genótipo (BARTELS;

SUNKARS, 2005; BATOOL *et al.*, 2024). Todavia, outros fatores como o estágio fenológico, o tempo e a intensidade de perda de água, exercem influência direta na tolerância apresentada por esses indivíduos (BARTELS; SUNKARS, 2005).

A percepção das condições estressantes devido à restrição hídrica começa inicialmente nas raízes (CRUZ *et al.* 2023). Posteriormente, uma série de respostas é desencadeada devido à sinalização química realizada pelo ácido abscísico (ABA), uma vez que esse hormônio atua como mediador na comunicação entre a parte aérea e a raiz, controlando assim a resposta das plantas ao estresse (TAIZ *et al.*, 2017; BHATALA; LAL, 2018; CRUZ *et al.*, 2023).

Nessa perspectiva, a redução da área foliar e da condutância estomática são estratégias utilizadas pelas plantas para diminuir os impactos ocasionados pela restrição hídrica, tendo em vista que esses mecanismos reduzem a perda de água para a atmosfera (BHATLA; LAL, 2018; CRUZ *et al.*, 2023). No entanto, os mesmos autores destacam que essas estratégias diminuem a produção de fotoassimilados, pois a perda das folhas implica em menor área fotossintetizante, e o fechamento dos estômatos culmina na redução da absorção de CO₂ (MEDRANO *et al.*, 2007; CRUZ *et al.*, 2023). Assim, quando se pensa em produtividade de plantas forrageiras sob condições de estresse hídrico, a eficiência do cultivo é severamente reduzida, já que a produção é focada, dentre alguns fatores de relevância, em otimizar o acúmulo de biomassa em pastos.

Outrossim, de acordo com TAIZ *et al.* (2017), no sistema solo-planta-atmosfera há um fluxo de água contínuo, dependente de uma diferença de potencial hídrico resultante desses componentes. Nesse viés, à medida que o potencial hídrico do solo sofre alterações devido à redução na disponibilidade desse recurso para a planta, essa reduz o seu potencial osmótico para manter o gradiente de fluxo de água (TAIZ *et al.*, 2017; KERBAUY, 2019). O processo supracitado é decorrente do acúmulo de íons e solutos orgânicos no citoplasma e no vacúolo, resultando na manutenção da pressão de turgor diante da diminuição da disponibilidade de água no solo (TAIZ *et al.*, 2017; BHATLA; LAL, 2018; CRUZ *et al.*, 2023). Leite *et al.* (2018) e Santos (2022) verificaram um acúmulo de açúcares solúveis e redutores em *Physalis angulata* L. e *Talinum fruticosum* (L.) Juss., respectivamente, cultivadas em ambientes com menores disponibilidades hídricas. Nesse contexto os autores puderam constatar o papel dessas moléculas na osmoproteção durante o estresse em plantas acometidas por restrição hídrica.

Ademais, a prolina – um aminoácido sintetizado no organismo vegetal –, tem mostrado efeitos relacionados à atenuação dos danos promovidos pelo déficit hídrico (LEITE *et al.*, 2022), sendo essa molécula popularmente conhecida por se acumular em grandes quantidades em plantas sob condições de estresse hídrico e salino (KAVI-KISHORE *et al.*, 2005). É justamente esse aumento no acúmulo de prolina, sob condições de restrição hídrica, que levou à hipótese

de que esse componente está ligado à diminuição de danos relacionados à seca (BHASKARA; YANG; VERSLUES, 2015), levando muitos pesquisadores considerarem a prolina como um indicador de extrema importância na seleção de cultivares tolerantes ao déficit hídrico (MWADZINGENI *et al.*, 2016).

Para se defender dos danos provocados pelo estresse oxidativo as plantas apresentam mecanismos de defesa, não enzimáticos e enzimáticos, que mantêm a homeostase redox e reduzem os danos causados pelas EROS (TAIZ *et al.*, 2017). As moléculas envolvidas no controle não enzimático consistem em glutamina, tocoferol, carotenoides, vitaminas (A, C, E), fenóis e taninos que agem diretamente sobre as EROS, levando-as à eliminação (HOSSAIN *et al.*, 2013; BHATLA; LAL, 2018, KUMAR *et al.*, 2020). O que concerne ao controle enzimático desses agentes que promovem toxicidade às células, reações de produção de enzimas antioxidantes são desencadeadas, as quais estão envolvidas na eliminação e neutralização das EROS dentro das células dos organismos vegetais (SCANDALIOS, 2005). Essas enzimas diminuem a ação do estresse oxidativo e atuando na proteção dos tecidos através da catalisação de reações que contribuem para a manutenção da homeostase celular (BARBOSA *et al.*, 2014). Dentre essas enzimas, destacam-se a ascorbato peroxidase (APX), superóxido dismutase (SOD) e a catalase (CAT) e a guaiacol peroxidase (POD) (TAIZ *et al.*, 2017; BHATLA; LAL, 2018).

2.4 Plantas forrageiras sob condições de estresse hídrico

O SAB ocupa cerca de 12% do território nacional e está localizado em sua maior parte na região Nordeste do Brasil, estendendo-se pelos seus nove estados e o norte de Minas Gerais, agrupando um total de 1262 municípios (IBGE, 2021). Dados divulgados pelo o censo realizado no ano de 2022 estimam que a população da região compreende aproximadamente 28 milhões de habitantes, sendo 62% desses residentes zonas urbanas e 38% de áreas rurais (IBGE, 2023). Nessa faixa territorial dois tipos fisionômicos de vegetação dominam a flora local: as espécies florestais e as não florestais, sendo as não florestais representadas em sua maioria por vegetação lenhosa e caducifólia espinhosa, denominada regionalmente “Caatinga”, encraves de cerrado e vegetação arbustiva (LOIOLA *et al.*, 2012).

Outrossim, a região é marcada por condições climáticas que favorecem a ocorrência de um balanço hídrico negativo devido ao registro de altas temperaturas, bem como a limitação sazonal de água ocasionada por uma pluviosidade irregular ao longo do ano (ANJOS *et al.*, 2022; NUNES *et al.*, 2022, SIMÕES *et al.*, 2022). Nesse sentido, a atividade agropecuária do local rotineiramente se apresenta propensa a condições de deficiência hídrica, limitando, assim, a produção vegetal e animal, em especial durante a estação seca do ano (CIRILO *et al.*, 2017).

É justamente na região Nordeste que se concentra cerca de 50% dos estabelecimentos da agricultura familiar do país e, nesse sentido, a maior parte desses produtores encontra-se em locais com clima seco com produção de forma convencional e pouco rentável, como agricultura de subsistência e pecuária extensiva (VILELA; CALLEGARO; FERNANDES, 2019). Além disso, a pecuária do SAB corresponde a 65% do rebanho de ovinos e 90 % do de caprinos do país e cerca de 40 milhões de bovinos são criados na região (IBGE, 2018), sendo a maior parte dessa criação conduzida de maneira extensiva, com utilização de pastagens de baixo suporte forrageiro, especialmente nos períodos de escassez de água (SOUZA *et al.*, 2020).

Nesse sentido, a realização de investigações por meio de estudos que contribuam para o desenvolvimento de genótipos resistentes, capazes de manter qualidade nutricional diante condição de deficiência hídrica, é necessária para aumentar a produtividade em pastos e maior estabilidade da produção dos agricultores do SAB.

A qualidade das plantas forrageiras sofre influência de diversas condições que determinam o valor nutritivo, fatores antinutricionais, digestibilidade e composição química (REIS *et al.*, 2016). Dentre as condições que podem determinar esses aspectos, o estresse promovido pelo déficit hídrico recebe destaque por ser uma condição comum em ecossistemas, ocasionando diversas modificações nas plantas, como decréscimos no turgor celular, além de alterações bioquímicas, fisiológicas e morfológicas (MONTEIRO *et al.*, 2014), bem como a promoção de impactos na perenidade do pasto (GOMES *et al.*, 2023).

Dessa forma, a disponibilidade reduzida de água interfere de forma direta no acúmulo de forragem (CALVALCANTE *et al.*, 2009), comprometendo a oferta de alimento para o pastejo, e, por conseguinte, refletindo em menor desempenho dos animais de criação (MOMBACH *et al.*, 2019), gerando assim uma redução no ganho produtivo.

Ainda são poucos os estudos desenvolvidos com objetivo de verificar o desempenho de plantas forrageiras sob condições de estresse hídrico, sobretudo para o Semiárido brasileiro. Dentre os trabalhos já desenvolvidos, Mattos, Gomide e Huaman (2005) avaliaram o desempenho de quatro espécies do gênero *Brachiaria* (Trin.) Griseb. (*Brachiaria. decumbens* Stapf, *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A.Rich.) Stapf, *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. e *Brachiaria mutica* (Forssk.) Stapf). Os autores verificaram que *B. brizantha* foi a espécie, dentre as estudadas, mais tolerante à condição de deficiência hídrica, atribuindo essa tolerância à menor sensibilidade dos seus estômatos à restrição hídrica, além da senescência reduzida e expressiva produção de raízes em comparação às demais espécies.

A produção da massa seca de plantas forrageiras sofre influência direta quando essas são submetidas a condições reduzidas na disponibilidade de água, uma vez que essa redução

resulta na menor eficiência fotossintética, e dessa forma há uma redução na assimilação total do carbono. Mezzomo *et al.*, (2020) observaram que houve um menor incremento massa de matéria seca do capim sudão (*Sorghum sudanense* (Piper)) cv. BRS Estribo, tendo em vista que produtividade por hectare dessa forrageira reduziu diante de condições de restrição hídrica.

No entanto, essas respostas produtivas são variáveis, uma vez que diferentes genótipos ou espécies podem responder de diferentes formas e proporções a condições ambientais adversas (BATOOL *et al.*, 2024). Mombach *et al.* (2019) relataram que o Capim-marandu (*B. brizantha*) obteve um maior acúmulo de forragem em comparação com o capim-mombaça (*Megathyrsus maximus* (Jacq.)) em cultivo sob déficit hídrico, sendo esse resultado atribuído à maior sensibilidade do capim-mombaça, classificado como espécie de sensibilidade média a alta à restrição hídrica. Nesse contexto, os autores concluíram que o capim-marandu apresenta melhor desempenho produtivo em períodos de seca, destacando-se como material genético mais adaptada às condições avaliadas no estudo.

Em condições de seca, plantas de *Sorghum bicolor* (L.), gramínea comumente utilizada na alimentação animal, exibem respostas que resultam em mudanças na alocação de nutrientes (JAHANZAD *et al.*, 2013). Tavazoh *et al.* (2024) reportaram em seu estudo incremento do conteúdo de proteína bruta quando a espécie supracitada foi submetida a tratamentos de estresse hídrico. Todavia, os autores relataram uma correlação negativa entre a qualidade nutricional e o rendimento de forragem, uma vez que os tratamentos de menores disponibilidades hídricas reduziram significativamente os níveis de produção de biomassa.

No que diz respeito ao comportamento de *Stylosanthes* spp. diante do estresse hídrico, algumas pesquisas apresentam resultados que indicam a necessidade de mais investigações sobre o desempenho desse gênero sob tais condições. Lima (2019) verificou que *S. scabra* demonstrou investimento na resposta ao déficit hídrico, uma vez que houve um aumento na produção de proteínas responsivas ao estresse, enzimas antioxidantes e proteínas envolvidas na glicólise, quando submetidas à condição abiótica supracitada. Ademais, Araújo (2019) pôde concluir com o seu estudo que as respostas fisiológicas e a expressão gênica diferencial de *S. scabra* revelaram estratégias para lidar com a exposição das suas plantas à seca.

Gonçalves Neto (2021) verificou que, sob a disponibilidade hídrica na capacidade de vaso de 20%, os acessos do BGF-UEFS e a cultivar Campo Grande não diferiram significativamente entre si no conteúdo de proteína bruta, demonstrando que os genótipos coletados no Semiárido baiano se mantiveram equiparados à cultivar diante das condições estressantes. Além disso, o estudo também mostrou que o conteúdo de FDN dos acessos foi

reduzido quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico, sendo essa diminuição favorável para uma melhor digestibilidade por animais ruminantes.

O BGF-UEFS possui número considerável de acessos de *Stylosanthes spp.* que ainda carecem de caracterização e avaliação, especialmente no que diz respeito ao comportamento desses em condições de déficit hídrico. Conhecer o desempenho desses materiais genéticos é de extrema importância na busca por genótipos adaptados às condições do Semiárido brasileiro devido às distintas características edafoclimáticas da região em relação ao restante do país. Nesse contexto, é fundamental uma atenção diferenciada em programas de melhoramento que visem o desenvolvimento de cultivares forrageiras adaptadas a essas condições e assim a produção agropecuária possa ser elevada na região.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, Z.; WARAICH, E. A.; AKHTAR, S.; ANJUM, S.; AHMAD, T.; MAHBOOB, W.; HAFEEZ, O. B. A.; TAPERA, T.; LABUSCHANGE, M.; RIZWAN, M. Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 40, p. 1-13, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2651-6>. Acesso em: 31 out. 2023.
- ALZATE-MARIN, A. L.; COSTA-SILVA, C.; RIVAS, P. M. S.; BONIFACIO-ANACLETO, F.; SANTOS, L. G.; MORAES FILHO, R. M. D.; MARTINEZ, C. A. Diagnostic fingerprints ISSR/SSR for tropical leguminous species *Stylosanthes capitata* and *Stylosanthes macrocephala*. **Scientia Agricola**. v. 77. e20180252, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0252>. Acesso em: 02 dez. 2024.
- ANJOS, F. A.; FERRAZ, R. L. S.; AZEVEDO, C. A. V.; COSTA, P. S.; MELO, A. S.; RAMALHO, V. R. Relationship between physiology and production of maize under different water replacements in the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 21-27, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n1p21>. Acesso em: 30 out. 2023.
- ARAÚJO, F. C. **Expressão diferencial e respostas fisiológicas de *Stylosanthes scabra* sob déficit hídrico**. 2019. 167 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Pernambuco, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/39525>. Acesso em: 28 out. 2023.
- AZEVEDO NETO, A. D.; SILVA, E. C. Physiology and biochemistry of salt stress tolerance in plants. **Abiotic stresses in crop plant**, p. 81-101, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0705776>. Acesso em: 31 out. 2023.
- BARTELS, D.; SUNKAR, R. Drought and Salt Tolerance in Plants. **Plant Sciences**, v. 24, ed. 1, p. 23-58, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07352680590910410>. Acesso em: 31 out. 2023.
- BATOOL, A.; YUE, D. X.; XIAO, Y. L.; LI, S. S.; DUAN, H. X.; HAQ, Z.; AHMED, K.; ZHAO, L. ZHU, L.; XIONG, Y. C. Plant tolerance to drought stress: Complexity and mechanism across physiological, molecular and biochemical scales. **International Journal of Applied and Experimental Biology**. v. 3, p. 159-175. Disponível em: <http://10.56612/ijaaeb.v1i1.92>. Acesso em: 04 dez. 2024.
- BHASKARA, G. B.; YANG, T. H.; VERSLUES, P. E. Dynamic proline metabolism: importance and regulation in water limited environments. **Frontier in Plant Science**, v. 6, p. 1-7, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00484>. Acesso em: 30 out. 2023.
- BHATLA, S. C.; LAL, M. A. **Plant physiology, development and metabolism**. Springer Singapore, 2018. 1237 p. v. 1. ISBN 978-981-13-2022-4. *E-book*.
- BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; ALMEIDA, S. M. Adaptação das Plantas ao Déficit Hídrico. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 4, p. 15-32, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v5i4.16006>. Acesso em: 27 out. 2023.
- BRAGA, G. J.; RAMOS, A. K. B.; CARVALHO, M. A.; FERNANDES, F. D.; FONSECA, C.

E. L.; FERNANDES, C. D. **Ganho de peso de bovinos nelore em pastagens consorciadas com replantio do estilosantes BRS Bela**. 1. ed. Embrapa Cerrados, 2020. 26 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1131615>. Acesso em: 30 out. 2023.

CALLES, T.; SCHULTZE-KRAFT, R. *Stylosanthes* (Leguminosae, Dalbergieae) of Venezuela. **Willdenowia**, v. 40, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.3372/wi.40.40211>. Acesso em: 30 out. 2023.

CALVACANTE, A. C. R.; CAVALLINI, M. C.; LIMA, N. R. C. B. **Estresse por Déficit Hídrico em Plantas Forrageiras**. 1. ed. Embrapa Cerrados, 2009. 46 p. v. 1. ISBN 1676-7659. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/748148/1/doc89.pdf>. Acesso em: 31 out. 2023.

CASTRO-MONTOYA, J. M.; DICKHOEFER, U. The nutritional value of tropical legume forages fed to ruminants as affected by their growth habit and fed form: a systematic review. **Animal Feed Science and Technology**. v. 269, p. 114641, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840120305459>. Acesso em: 02 dez. 2024.

CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CAMPOS, J. N. B. The Issue of Water in the Brazilian Semi-Arid Region. In: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTHUL, M. C. B. **Waters of Brazil: Strategic Analysis**. 1. ed. Springer, 2017. cap. 5, p. 59-71. ISBN 978-3319823362.

CONDÓN, F.; ROSSI, C. Banco de germoplasma INIA: conservando la diversidad de nuestras plantas. **Rev. INIA**, v. 52, p. 52–55, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Federico-Condón/publication/324042928_BANCO_DE_GERMOPLASMA_INIA_conservando_la_diversidad_de_nuestras_plantas/links/5c24c5d1a6fdccfc706c2552/BANCO-DE-GERMOPLASMA-INIA-conservando-la-diversidad-de-nuestras-plantas.pdf. Acesso em: 07 jul. 2025.

CONESA, M.R.; DE LA ROSA, J.M.; DOMINGO, R., BAÑON, S.; PÉREZ-PASTOR, A. Changes induced by water stress on water relations, stomatal behaviour and morphology of table grapes (Cv. Crimson Seedless) grown in pots. **Scientia Horticulturae**. v. 202, p. 9–16. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.002>. Acesso em: 04 dez. 2024.

CONTI, V.; PARROTTA, L.; ROMI, M.; DUCA, S. D.; CAI, G. Tomato Biodiversity and Drought Tolerance: A Multilevel Review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, p. 1-21, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms241210044>. Acesso em: 30 out. 2023.

COOK, B. G.; SCHULTZE-KRAFT, R. Clearing confusion in *Stylosanthes* taxonomy: 1. *S. seabrana* B.L. & Maass & 't Mannetje. **Tropical Grasslands-Tropicales**. v. 8, p. 40-47, 2020. Disponível em: <https://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/article/view/681>. Acesso em 02 dez. 2024.

COSTA, T. S.; SILVA, A. V. C. D.; LÉDO, A. D. S.; SANTOS, A. R. F. D.; SILVA JÚNIOR, J. F. D. Diversidade genética de acessos do banco de germoplasma de mangaba em Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 499–507, 2011. Disponível em:

<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000500007>. Acesso em: 07 jul. 2025.

CRUZ, N. T.; PORTO, E. M. V.; RAMOS, B. L. P.; SANTOS, H. P.; SEIXAS, A. A.; SANTOS, A. P. S. Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma breve revisão. **Revista Científica Rural**, v. 25, p. 1-19, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/246831.25.1-14>. Acesso em: 04 de. 2024.

DINIZ, W.P.S.; SANTOS, M.V.F.; CUNHA, M. V.; LIRA JUNIOR, M.A.; SIMÕES NETO, D.E.; OLIVEIRA, O.F.; LEAL, G.G.; MELLO, A.C.L; SANTOS, L.S. Yield and nutritive value of *Stylosanthes* spp. genotypes subjected to different harvest frequencies and seasons of the year. **The Journal of Agricultural Science**, v. 161, p. 808-816, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0021859624000029>. Acesso em: 02 dez. 2024.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo e uso do estilosantes-campo-grande**. 2007. 11 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/319150>. Acesso em: 1 nov. 2023.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Estilosantes Bela: novo aliado da agropecuária brasileira**. 2019. 5 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1106128/estilosantes-bela-novo-aliado-da-agropecuaria-brasileira>. Acesso em: 1 nov. 2023.

FACHINI, C.; VEIGA, J.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; DOMENE, M. P.; CURSI, P. R.; FACTOR, T. L. Aportes para discussão da conservação *on farm* e *ex-situ*. **Singular**, v. 1, especial, p. 20–31, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.33911/singular-maa.v1i3.193>. Acesso em: 07 jul. 2025.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Tratado internacional sobre os recursos fitogenéticos para a alimentação e a agricultura**. Roma: FAO, 2001. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i0510pt/i0510pt.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2025.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **WIEWS – World Information and Early Warning System on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture**. Disponível em: <https://www.fao.org/wiews/glossary/en/>. Acesso em: 7 jul. 2025.

FERREIRA, M. E. **The role of molecular markers for characterization and conservation of genetic resources**. In: RUANE, J.; SONNINO, A. (Ed.). *The Role of Biotechnology in Exploring and Protecting Agricultural Genetic Resources*. Roma: FAO, 2006. p. 11–23. Disponível em: <https://www.fao.org/3/a0399e/A0399E08.htm>. Acesso em: 07 jul. 2025.

FERREIRA, J. J. S.; PEREZ, A. P. F.; LEWIS, G. P.; SILVA, J. S. *Stylosanthes* (Leguminosae-Papilionoideae-Dalbergieae) in Northeast Brazil. **Rodriguésia**, v. 73, p. 1-28, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-7860202273079>. Acesso em: 30 out. 2023.

FLORA E FUNGA DO BRASIL. ***Stylosanthes***. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB115>. Acesso em: 30 jun. 2025.

FLORA E FUNGA DO BRASIL. **Fabaceae**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB29854>. Acesso em: 30 jun. 2025.

FREITAS, G. V.; CUNHA, M.; VITÓRIA, A. P. A systematic review of leaf and wood traits in the Neotropics: environmental gradients and functionality. **Trees**, v. 38, n. 3, p. 551–572, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00468-024-02508-7>. Acesso em: 28 jun. 2025.

GOMES, L. D.; LIMA, K. L. L.; SILVA, G.B.A.; BORGES, L. C. O.; RIGHI, R. S. M.; DUARTE, C. F. D.; CABRAL, C. H. A.; CABRAL, C. E. A. Tolerância de híbridos de braquiária ao estresse hídrico. **Scientific Electronic Archives**, v. 16, ed. 10, p. 1-7, 2023. Disponível em: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/1792>. Acesso em: 30 out. 2023.

GONÇALVES NETO, L. P. **Respostas fisiológicas, caracterização morfoagronômica e qualidade de forragem de *Stylosanthes* spp. em diferentes disponibilidades hídricas**. 2021. 60 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Estadual de Feira de Santana, 2021. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1L84vtkT_hc14vkMFI4IjHX5ke5HKU5aM/view. Acesso em: 27 out. 2023.

GONZALEZ, L. M.; LOPEZ, R. C.; FONSECA, I.; RAMIREZ, R. Growth, stomatal frequency, DM yield and accumulation of ions in nine species of grassland legumes grown under saline conditions, crecimiento, frecuencia estomatica, rendimiento de MS y acumulacion de iones en nueve especies de leguminosas pratenses cultivadas en condiciones salinas. **Pastos y Forrajes**, v. 23, p. 299-308, 2000. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20013029138>. Acesso em: 27 out. 2023.

GUIMARÃES-BEELLEN, P. M.; BERCHIELLI, T. T.; ARAÚJO FILHO, J.; OLIVEIRA, S. J. Characterization of condensed tannins from native legumes of the Brazilian northeastern semi-arid. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 6, p. 522-528, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000600002>. Acesso em: 27 out. 2023.

HABERMANN, E.; OLIVEIRA, E.A.D.; DELVECCHIO, G.; BELISÁRIO, R.; BARRETO, R.F.; VICIEDO, D.O.; ROSSINGNOLI, N.O.; COSTA, K.A.P.; PRADO, R.M.; GONZALEZ-MELER, M.; MARTINEZ, C.A. How does leaf physiological acclimation impact forage production and quality of a warmed managed pasture of *Stylosanthes capitata* under different conditions of soil water availability? **Science of the Total Environment**. v. 759, e143505, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143505>. Acesso em: 02 dez. 2024.

HALLIWELL, B.; WHITWMAN, M. Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean? **British Pharmacological Society**, v. 142, ed. 2, p. 231-255, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0705776>. Acesso em: 31 out. 2023.

HOSSAIN, M.A.; MOSTOFA, M.G.; FUJITA, M. Cross protection by cold-shock to salinity and drought stress induced oxidative stress in mustard (*Brassica campestris* L.) seedlings. **Molecular Plant Breeding**. v. 4, p.50–70, 2013. Disponível em: <http://10.5376/mpb.2013.04.0007>. Acesso em: 04 dez 2024.

HUANG, H.; ULLAH, F.; ZHOU, D. X.; YI, M.; ZHAO, Y. Mechanisms of ROS Regulation of Plant Development and Stress Responses. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1-10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00800>. Acesso em: 31 out. 2023.

HUANG, D.; LIU, X.; HUAN, H.; LIU, G.; HU, A. Intercropping of *Stylosanthes* green manure could improve the organic nitrogen fractions in a coconut plantation with acid soil. **PLoS ONE**, v. 18, n. 3, p. e0277944, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277944>. Acesso em: 1 set. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Brasil em síntese**. 2023. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>. Acesso em: 28 mai. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Novo Censo Agropecuário mostra crescimento de efetivo de caprinos e ovinos no Nordeste**. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cim-inteligencia-e-mercado-de-caprinos-e-ovinos/busca-de-noticias/-/noticia/36365362/novo-censo-agropecuário-mostra-crescimento-de-efetivo-de-caprinos-e-ovinos-no-nordeste>. Acesso em: 28 mai. 2023

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **O Semiárido Brasileiro**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiarido-brasileiro>. Acesso em: 01 nov 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Recorte das regiões do país**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=noticias-e-releases>. Acesso em: 28 mai 2023.

JAHANZAD, E.; JORAT, M.; MOGHADAM, H.; SADEGHPOUR, A.; CHAICHI, M. R.; DASHTAKI, M. Response of a new and a commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting density. **Agricultural Water Management**. v. 117, p. 62-69, 2013. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.001>. Acesso em: 05 dez. 2024.

JOSÉ, S. C. B. R. **Manual de curadores de germoplasma vegetal: conservação ex situ (Colbase-Sementes)**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/865003/manual-de-curadores-de-germoplasma-vegetal-conservacao-ex-situ-colbase-sementes>. Acesso em: 07 jul. 2025.

KEHINDE, A. J. The Impact of Climate Change on Maize (*Zea mays*) Production; Assessing the Biotic and Abiotic Stress. **International Journal of Science and Research**, v. 10, ed. 9, p. 1-7, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Kehinde-Afuye/publication/354438614_The_Impact_of_Climate_Change_on_Maize_Zea_mays_Production_Assessing_the_Biotic_and_Abiotic_Stress/links/61389395349f12090fef160c/The-Impact-of-Climate-Change-on-Maize-Zea-mays-Production-Assessing-the-Biotic-and-Abiotic-Stress.pdf. Acesso em: 31 out. 2023.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed: Guanabara Koogan, 2019. 420 p. ISBN 978-8527735339.

KAVI-KISHOR, P. B. K.; SANGAM, S.; AMRUTHA, R. N.; LAXMI, P. S.; RAO, K. R. S. S.; RAO, S.; REDDY, K. J.; THERIAPPAN, P.; SEREENIVASULU, N. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. **Current Science**, v. 88, p. 424-438, 2005. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/24110209>. Acesso em: 30 out. 2023.

KUMAR, A.; SHARMA, S.; CHUNDURI, V.; KAUR, A.; KAUR, S.; MALHOTRA, N. Genome-wide identification and characterization of heat shock protein family reveals role in development and stress conditions in *Triticum aestivum* L. **Scientific Reports**. v. 10, e.7858, 2020, Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64746-2%201>. Acesso em: 04 dez. 2024.

KNUDSEN, H. (Ed.). **Directorio de colecciones de germoplasma en América Latina y el Caribe**. Roma: IPGRI, 2000. 104 p. Disponível em: https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/migrated/uploads/tx_news/Diretorio_de_colecciones_de_germoplasma_en_America_Latina_y_el_Caribe_297.pdf. Acesso em: 07 jul. 2025.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. 1. ed. APGIQ, 2000. 550 p. ISBN 978-8586552038.

LAWRENCE, M. J. A comprehensive collection and regeneration strategy for *ex situ* conservation. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 49, n. 2, p. 199-209, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1014758325767>. Acesso em: 07 jul. 2025.

LEE, J.; HAN, M.; SHIN, Y.; LEE, J. M.; HEO, G.; LEE, Y. How Extracellular Reactive Oxygen Species Reach Their Intracellular Targets in Plants. **Molecules: abd Cells**, v. 46, ed. 6, p. 329-336, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.14348%2Fmolcells.2023.2158>. Acesso em: 30 out. 2023.

LEITE, R. S.; NASCIMENTO, M. N.; TANAN, T. T.; RAMOS, C. A. S.; GONÇALVES-NETO, L. P. Physiological responses of *Physalis angulata* plants to water déficit. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, p. 287-297, 2018. Disponível em: <https://ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/0/36826>. Acesso em: 27 out. 2023.

LEITE, R. S.; NAVARRO, S. H.; NASCIMENTO, M. N.; POTOSME, N. M. R.; SILVA, A. L.; SANTOS, R. J. Proline and sodium nitroprusside increase the tolerance of *Physalis peruviana* L. plants to water deficit through chemical priming. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 46, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-7054202246004622>. Acesso em: 30 out. 2023.

LIMA, S. C. B. S. **Caracterização proteômica e identificação de proteínas em *Stylosanthes scabra* sob déficit hídrico**. 2019. 167 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Pernambuco, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/39646>. Acesso em: 28 out. 2023.

LIU, P.; HUANG, R.; HU, X.; JIA, Y.; LI, J.; LUO, J.; LIU, Q.; LUO, L.; LIU, G.; CHEN, Z. Physiological responses and proteomic changes reveal insights into *Stylosanthes* response to manganese toxicity. **BMC Plant Biology**. V.19, p. 202–223, 2019. Disponível em: <https://bmcpplantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-019-1822-y>. Acesso em: 02 dez. 2024.

LOIOLA, M. I. B.; ROQUE, A. A.; OLIVEIRA, A. C. P. Caatinga: Vegetação do semiárido brasileiro. **Ecologia**, v. 4, p. 14-19, 2012. Disponível em: <https://docplayer.com.br/8530066-Caatinga-vegetacao-do-semiarido-brasileiro.html>. Acesso em: 28 out. 2023.

LPWG. **Fabaceae**. Legume Phylogeny Working Group. 2024. Disponível em:

<https://www.legumedata.org/about/>. Acesso em: 02 dez. 2024.

LÜSCHER, A.; MUELLER-HARVEY, I.; SOUSSANA, J.F.; REES, R.M.; PEYRAUD, J.L. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. **Grass and Forage Science**. v. 69, p. 206– 228, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gfs.12124>. Acesso em: 02 dez 2024.

MARTIM, S. A. **Pulverização do cafeeiro com açúcar: potencial de uso em mudas submetidas a deficiência hídrica e na recuperação de plantas atingidas por Glyphosate**. 2003. 67 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, 2003. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/36238>. Acesso em: 28 out. 2023.

MATTOS, J. L. S.; GOMIDE, J. A.; HUAMAN, C. A. M. Crescimento de espécies do gênero *Brachiaria*, sob déficit hídrico, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 35, p. 746-754, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000300005>. Acesso em: 1 nov. 2023.

MAXTED, N.; FORD-LLOYD, B. V.; HAWKES, J. G. **Complementary conservation strategies**. In: MAXTED, N.; FORD-LLOYD, B. V.; HAWKES, J. G. (Ed.). *Plant genetic conservation: the in situ approach*. London: Chapman & Hall, 1997. p. 20–55.

MAXTED, N.; ADAM-BLONDON, A.-F.; AGUILAR, C. H.; BARATA, A. M.; BARTHA, B.; BOCCI, R.; DE PAOLA, D.; FITZGERALD, H. S.; FRESTA, L. J.; FUSANI, P.; GIULIANO, G.; GUZZON, F.; HOLZHERR, P.; HOLUBEC, V.; IRIONDO ALEGRÍA, J. M.; LABOKAS, J.; MAGGIONI, L.; MAGOS BREHM, J.; PALMÉ, A.; PHILLIPS, J.; PROHENS, J.; RAGGI, L.; RALLI, P.; RUNGIS, D.; SARIKYAN, K.; ŠUŠTAR-VOZLIČ, J.; THORMANN, I.; ZDUNIĆ, G. A significantly enhanced role for plant genetic resource centres in linking in situ and *ex situ* conservation to aid user germplasm access. **Genetic Resources**, no. S2, p. 203–223, 2024. Disponível em: <https://www.genresj.org/index.php/grj/article/view/genresj.UNVV5571>. Acesso em: 07 jul. 2025.

MEDRANO, H.; BOTA, J.; CIFRE, J.; FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; GULÍAS, J. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. **Investigaciones Geográficas**, n. 43, p. 63–84, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.14198/INGEO2007.43.04>. Acesso em: 29 jun. 2025.

MEZZOMO, W.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; KIRCHNER, J. H.; TORRES, R. R.; PIMENTA, D. B. Produção forrageira e eficiência de utilização da água do capim sudão submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Irriga**. v.25, p. 143-159, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n1p143-159>. Acesso em 09 dez. 2024.

MITTLER, R.; ZANDALINAS, S. I.; FICHMAN, Y.; BREUSEGEM, F. V. Reactive oxygen species signalling in plant stress responses. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 23, p. 663-679, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41580-022-00499-2>. Acesso em: 31 out. 2023.

MÖLLER, M. N.; RIOS, N.; TRUJILLO, M.; RADI, R.; DENICOLA, A.; ALVAREZ, B. Detection and quantification of nitric oxide–derived oxidants in biological systems. **Journal of Biological Chemistry**, v. 294, ed. 40, p. 14776-14802, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1074/jbc.REV119.006136>. Acesso em: 31 out. 2023.

MOMBACH, M. A.; PEDREIRA, B. C.; SANTOS, M. L.; CABRAL, L. S.; SANTOS, C. S. A.; SILVA, A. M. P. Fator de resposta produtiva de mombaça e marandu ao déficit hídrico. **Nativa**, v. 7, n. 6, p. 807-812, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i6.7592>. Acesso em: 30 out. 2023.

MONTEIRO, J. G.; CRUZ, F. J. R.; NARDIN, N. M. B.; SANTOS, D. M. M. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, ed. 1, p. 18-25, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000100003>. Acesso em: 1 nov. 2023.

MUIR, J.P.; SANTOS, M.V.F.; CUNHA, M.V.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; LIRA JUNIOR, M.A.; SOUZA, R.T.A.; SOUZA, T.C. Value of endemic legumes for livestock production on Caatinga rangelands. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 14, e5648, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i2a5648>. Acesso em: 02 dez. 2024.

MUSCO, N; KOURA, I. B.; TUDISCO, R.; AWADJIHÈ, G.; ADJOLOHOUN, S.; CUTRIGNELLI, M. I.; CALABRÒ S. Nutritional characteristics of forage grown in south of Benin. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**. v. 29, p. 51–61, 2016. Disponível em: <https://www.animbiosci.org/journal/view.php?doi=10.5713/ajas.15.0200>. Acesso em: 02 dez. 2024.

MWADZINGENI, L.; SHIMELIS, H.; TESFAY, S.; TSILO, T.J. Screening of bread wheat genotypes for drought tolerance using phenotypic and proline analyses. **Frontiers in Plant Science**. v.7, e.1276, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01276>. Acesso em: 04 dez. 2024.

NAGEL, M.; VOGEL, H.; LANDJEVA, S.; BUCK-SORLIN, G.; LOHWASSER, U.; SCHOLZ, U.; BÖRNER, A. Seed conservation in *ex situ* genebanks—genetic studies on longevity in barley. **Euphytica**, v. 170, p. 5–14, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10681-009-9975-7>. Acesso em: 07 jul. 2025.

NUNES, K. G.; COSTA, R. N. T.; CALVACANTE, I. N; GONDIM, R. S.; LIMA, S. C. R. V.; MATEOS, L. Groundwater resources for agricultural purposes in the Brazilian semi-arid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 12, p. 915-923, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n12p915-923>. Acesso em: 30 out. 2023.

OLIVEIRA, R. S. **Coleta, Caracterização e Avaliação Preliminar de Acessos de *Stylosanthes* spp.** 2015. 91 p. Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Estadual de Feira de Santana, 2015. Disponível em: http://www.rgv.uefs.br/arquivos/File/Downloads/teses_e_dissertacoes/tese_final_ronaldo.pdf. Acesso em: 27 out. 2023.

OLIVEIRA, R. S.; QUEIRÓZ, M. A.; ROMÃO, R. L.; SILVA, G. C.; BRASILEIRO, B. P. Genetic diversity in accessions of *Stylosanthes* spp. using morphoagronomic descriptors. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 1, p. 101-112, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n112rc>. Acesso em: 28 jan. 2025.

OO, A.T.; VAN HUYLENBROECK, G.; SPEELMAN, S. Measuring the economic impact of climate change on crop production in the dry zone of Myanmar: A ricardian approach. **Climate**. v.8, p. 1-15, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cli8010009>. Acesso em: 04 dez.

2024.

PAMUNGKAS, S.S.T., SUPRAYOGI, S., FARID, N. Drought stress: Responses and mechanism in plants. **Reviews in Agricultural Science**. v. 10, p: 168–185. 2022. Disponível em: <http://10.168–185, 2022> https://doi.org/10.7831/ras.10.0_168. Acesso em: 04 dez. 2024.

PATERNIANI, E.; NASS, L. L.; SANTOS, M. X. **O valor dos recursos genéticos de milho para o Brasil: uma abordagem histórica da utilização do germoplasma. Uma história brasileira do milho: o valor dos recursos genéticos**, Brasília: Paralelo, v. 15, p. 11–41, 2000.

PEREIRA, V. A. M.; SANTOS, V. O.; NEVES, S. P. S.; VILLA, P. M.; ROSSATTO, D. R.; MIRANDA, L. A. P.; FUNCH, L. S. The role of functional traits on evergreen canopies maintenance of *Hancornia speciosa* (Apocynaceae) in Capitinga sandy areas. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. 1–6, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.286145>. Acesso em: 28 jun. 2025.

PODDAR, S.; CHAKRABORTI, S.; PODDAR, S.; NATH, S. Comprehensive review on the consequences and omics approaches for boosting wheat production under drought stress. **International Journal of Advanced Multidisciplinary Research**, v. 10, ed. 1, p. 139-162, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22192/ijamr.2023.10.01.013>. Acesso em: 30 out. 2023.

REIS, R. A.; BARBERO, R. P.; HOFFMANN, A. Impactos da qualidade da forragem em sistemas de produção de bovinos de corte. **Informe Agropecuário**, v. 37, p. 36-53, 2016. Disponível em: http://www.puntoganadero.cl/imagenes/upload/_5ccb0f58270dc.pdf. Acesso em: 28 out. 2023.

RIJAL, B. I.; CHAUDHARY, M.; CHAPAGAINA, S.; KHANAL, S.; KHANAL, S.; POUDEL, P. B. Drought Stress Impacts on Wheat And Its Resistance Mechanisms. **Malaysian Journal of Sustainable Agriculture**, v. 5, ed. 2, p. 67-76, 2021. Disponível em: https://www.academia.edu/download/66004193/2mjsa2021_67_76.pdf. Acesso em: 31 out. 2023.

SALLAM, A.; ALQUDAH, A. M.; DAWOOD, M. F. A.; BAENZIGER, P.S.; BÖRNER, A. Drought Stress Tolerance in Wheat and Barley: Advances in Physiology, Breeding and Genetics Research. **Molecular Sciences**, v. 20, ed. 13, p. 1-36, 2019. DOI. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/13/3137>. Acesso em: 31 out. 2023.

SANTANA, A. S. **Resgate, caracterização morfométrica e avaliação bromatológica de acessos de *Stylosanthes* spp. do Semiárido baiano**. 2010. 97 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Estadual de Feira de Santana, 2010. Disponível em: <http://www.rgv.uefs.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=29>. Acesso em: 1 nov. 2023.

SANTOS, M.V.F.; CUNHA, M.V.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; FERREIRA, R.L.C.; LIRA JUNIOR, M.A.; OLIVEIRA, O.F. Native shrub-tree legumes of tropical America with potential for domestication. **Legume Perspectives**. v. 17, p. 33-35, 2019. Disponível em: https://www.legumesociety.org/wpcontent/uploads/2019/12/legum_perspect_17.pdf. Acesso em: 02 dez. 2024.

SANTOS, R. J. **Aspectos fisiológicos de *Talinum fruticosum* (L.) Juss. em diferentes**

regimes hídricos. 2022. 70 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Estadual de Feira de Santana, 2022. Disponível em: <http://www.rgv.uefs.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=29>. Acesso em: 1 nov. 2023.

SCANDALIOS, J. G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defense. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 38, p. 995-1014, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-879X2005000700003>. Acesso em: 31 out. 2023.

SCHULTZE-KRAFT, R.; RAO, I.M.; PETERS, M.; CLEMENTS, R.J.; BAI, C.; LIU, G. Tropical forage legumes for environmental benefits: An overview. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 6, p. 1–14, 2018. Disponível em: [https://doi.org/10.17138/tgft\(6\)1-14](https://doi.org/10.17138/tgft(6)1-14). Acesso em: 02 dez. 2024.

SILVA-NETO, A.J.; SANTOS, M.V.F.; SILVA, V.J.; COELHO, J.J.; MELLO, A.C.L.; SIMÕES NETO, D.E.; CUNHA, M.V. Herbaceous forage legumes with diverse structural can display similar productive responses under different harvest frequencies. **Ciência Rural**, v. 54, e20220440, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220440>. Acesso em: 02 dez. 2024.

SILVA, A. A. D.; PELACANI, C. R.; GRILO, J. S. T. F.; PEREIRA, L. D. S.; OLIVEIRA, R. S. D. Analysis of dormancy and physiological quality of *Stylosanthes* spp. stored in FGB-UEFS. **Revista Ceres**, v. 71, e71012, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X2024710012>. Acesso em 02 dez. 2024.

SILVA, A. A. **Avaliação fisiológica de sementes de *Stylosanthes* spp. armazenadas no BGF-UEFS.** 2021. 86 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Estadual de Feira de Santana, 2021. Disponível em: <http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/1475>. Acesso em: 27 out. 2023.

SIMÕES, W. L.; OLIVEIRA, A. R.; GUIMARÃES, M. J. M.; SILVA, J. S.; OLIVEIRA, C. R. S.; VOLTOLINI, T. V.; BARBOSA, K. V. S. Arranjo populacional do sorgo forrageiro irrigado para um cultivo eficiente no Semiárido brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, ed. 3, p. 16305-16320, 2022. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=120399https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/44840/pdf>. Acesso em: 28 out. 2023.

SOLONTSI, M.; MAQUBELA, M. P.; NIEKERK, J. A. V.; SWANEPOEL, J.W.; JORDAAN, G.; GULWA, U.; TOKOZWAYO, S. Nutritive value of four Lucerne cultivars planted in two soil types at Bathurst research station, Eastern Cape Province, South Africa. **Journal of Agriculture Science**, v. 13, p. 1048–1056, 2022.

SOUZA, R.; HARTZELL, S.; FENG, X.; DANTAS, A. C.; SOUZA, E. S.; MENEZES, R. S. C.; PORPORATO, A. Optimal management of cattle grazing in a seasonally dry tropical forest ecosystem under rainfall fluctuations. **Journal of Hydrology**, v. 588, 2020. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125102>. Acesso em: 28 out. 2023.

TAIZ, L; ZEIGER, E; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal.** 6. ed. Artmed, 2017. 888 p. ISBN 8582713665.

VANNI, R.O. The genus *Stylosanthes* (Fabaceae, Papilionoideae, Dalbergieae) in South America. **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica**, v. 52, p. 549–585, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v52.n3.18033>. Acesso em: 02 dez. 2024.

TÁTRAI, Z.A., SANOUBAR, R., PLUHÁR, Z., MANCARELLA, S., ORSINI, F., GIANQUINTO, G. Morphological and physiological plant responses to drought stress in *Thymus citriodorus*. **International Journal of Agronomy**, v. 2016, p. 1-8, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/4165750>. Acesso em: 04 dez. 2024.

TAVAZOH, M.; HABIBI, D.; GOLZARDI, F.; ILKAEI, M. N.; PAKNEJAD, F. Effect of drought stress on morpho-physiological characteristics, nutritive value, and water-use efficiency of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] varieties under various irrigation systems. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, e286121, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.286121>. Acesso em: 05 dez. 2024.

VILELA, E. F.; CALLEGARO, G. M.; FERNANDES, G. W. **Biomass e agricultura: oportunidades e desafios**. 1. ed. Vertente edições, 2019. 304 p. ISBN 978-85-63100-15-3. Disponível em: <https://www.abc.org.br/wp-content/uploads/2019/11/Livro-Biomass-e-Agricultura-Site.pdf>. Acesso em: 31 out. 2023.

VOLTOLINI, T. V.; NEVES, A. L. A.; GUIMARÃES FILHO, C.; SA, I. B.; NOGUEIRA, D. M.; CAMPECHE, D. F. B.; ARAUJO, G. G. L.; SA, J. L.; MOREIRA, J. N.; VESCHI, J. L. A.; SANTOS, R. D.; MORAES, S. A. Alternativas alimentares e sistemas de produção animal para o Semiárido brasileiro. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. C. **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. EMBRAPA SEMIÁRIDO, 2010. cap. 6, p. 199-242. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/861895/semiarido-brasileiro-pesquisa-desenvolvimento-e-inovacao>. Acesso em: 28 out. 2023.

WANG, J.; LI, C.; LI, L.; REYNOLDS, M.; MAO, X.; JING, R. Exploitation of drought tolerance-related genes for crop improvement. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms221910265>. Acesso em: 04 dez. 2024

CAPÍTULO 1

DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO E ASPECTOS MORFOLÓGICOS DE *Stylosanthes* spp. (FABACEAE) EM CONDIÇÕES DE DÉFICIT HÍDRICO

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o desenvolvimento vegetativo e a morfologia de acessos de *Stylosanthes* spp. sob condições de déficit hídrico. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3×2, sendo três disponibilidades hídricas (60%, 40% e 20% da capacidade do vaso) e dois genótipos (BGF 11-001 e a cultivar BRS-Bela). O crescimento vegetativo foi monitorado com base na metodologia proposta por Fournier (1974), utilizada para observações fenológicas. Além disso, caracteres morfofuncionais e morfológicos foram mensurados ao final do experimento. Os tratamentos apresentaram respostas diferenciadas em relação às fenofases analisadas, tanto entre os acessos quanto entre os níveis de disponibilidade hídrica, especialmente no brotamento foliar e na maturação das folhas. A variável Massa Seca da Queda Foliar (MSQ%) permitiu melhor compreensão do comportamento da senescência foliar. Os genótipos de *Stylosanthes* spp. estudados apresentaram características morfofuncionais associadas à tolerância ao déficit hídrico. O acesso BGF 11-001 destacou-se por apresentar melhor desempenho em relação à oferta de alimento para pastejo, independentemente das condições de cultivo. No entanto, ambos os materiais genéticos demonstraram tendência à redução na produção de biomassa diante da restrição hídrica.

Palavras-chave: Leguminosa forrageira; traços morfofuncionais; Estilosantes; Recursos genéticos vegetais; Semiárido.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the vegetative development and morphology of *Stylosanthes* spp. accessions under water deficit conditions. The experiment was conducted in a completely randomized design, in a 3×2 factorial scheme, with three water availability levels (60%, 40%, and 20% of pot capacity) and two genotypes (BGF 11-001 and the cultivar BRS-Bela). Vegetative growth was monitored based on the methodology proposed by Fournier (1974), which is commonly used for phenological observations. In addition, morphofunctional and morphological traits were measured at the end of the experiment. The treatments showed differentiated responses regarding the analyzed phenophases, both between accessions and water availability levels, especially in leaf sprouting and leaf maturation. The variable Leaf Fall Dry Mass (LFDW%) provided a better understanding of the behavior related to leaf senescence. The evaluated *Stylosanthes* spp. genotypes exhibited morphofunctional traits associated with drought tolerance. The accession BGF 11-001 stood out by showing better performance in forage availability, regardless of the cultivation conditions. However, both genetic materials showed a tendency toward reduced biomass production under water restriction.

Keywords: Forage legume; morphofunctional traits; Estilosantes; Plant Genetic Resources; Semiarid.

1 INTRODUÇÃO

A água é uma molécula essencial para a manutenção da vida vegetal, por estar envolvida em diversos processos fisiológicos e na atuação como agente regulador do metabolismo desses organismos (OO *et al.*, 2020; PODDAR *et al.*, 2023). A redução na disponibilidade de água provocada pelo déficit hídrico desencadeia uma série de mudanças no organismo vegetal que podem refletir na morfologia e nos traços funcionais das plantas (VIOLLE *et al.*, 2015; NEVES *et al.*, 2022; SANTOS *et al.*, 2023). Essas alterações podem se manifestar, por exemplo, pela aceleração da senescência, abscisão foliar e redução no desenvolvimento vegetativo (WANG *et al.*, 2021; CRUZ *et al.*, 2023), bem como pela diminuição da densidade da madeira ou até mesmo das folhas, permitindo, assim, uma maior capacidade de acúmulo de água (FREITAS *et al.*, 2024; PEREIRA *et al.*, 2024).

Florestas tropicais e bosques sazonalmente secos (SDTFW) *sensu* Queiroz *et al.* (2017) são comuns em áreas áridas ou semiáridas da África e América do Sul (FERNANDES *et al.*, 2020), com solos férteis, baixa precipitação anual, longos períodos de seca e alta sazonalidade (PENNINGTON *et al.*, 2000). Um terço da área total de SDTFW na América do Sul está no Semiárido brasileiro (SAB), conhecido como Caatinga (QUEIROZ *et al.*, 2017), que ocupa principalmente o Nordeste do Brasil – cerca de 12% do território nacional (IBGE, 2021) –, onde agricultura e a pecuária são desafiadoras (MILES *et al.*, 2006), sobretudo pela ocorrência de balanços hídricos negativos ao longo do ano, provocados pelas altas temperaturas e pela má distribuição da chuva (NUNES *et al.*, 2022).

Nessa perspectiva, a atividade agropecuária, altamente dependente de água para sua manutenção, é diretamente prejudicada pelas condições climáticas do SAB, uma vez que tanto a produção vegetal quanto a animal são impactadas negativamente, especialmente durante os períodos secos do ano (CIRILO *et al.*, 2017). Ademais, a região concentra cerca de 50% dos estabelecimentos de agricultores familiares do país (VILELA *et al.*, 2019) e, como esses estão sujeitos às condições climáticas supracitadas, acabam enfrentando limitações produtivas, o que exerce uma influência negativa no crescimento socioeconômico da região.

A pecuária no SAB desempenha um papel importante na economia, pois a região concentra 65% do rebanho de ovinos e 90% do rebanho de caprinos do país, além de abrigar cerca de 40 milhões de bovinos (IBGE, 2018). A criação desses animais ocorre, em grande parte, de forma extensiva, utilizando áreas de pastagens com baixa capacidade de suporte, especialmente nos períodos de escassez hídrica (SOUZA *et al.*, 2020). Além disso, há poucos estudos voltados ao desenvolvimento de cultivares forrageiras adaptadas ao SAB. Nesse

contexto, torna-se essencial à identificação de genótipos tolerantes ao déficit hídrico e capazes de manter um satisfatório desempenho produtivo sob essas condições ambientais.

O gênero *Stylosanthes* Sw. (Fabaceae Lindl.) inclui espécies de destaque como Recursos Genéticos Vegetais (RGV) na forragicultura (COOK; SCHULTZE-KRAFT, 2020), por apresentarem alto valor nutricional, com teores de proteína bruta variando entre 12% e 20% (GONZALEZ *et al.*, 2000). Além disso, essas espécies são adaptadas a solos ácidos, de baixa fertilidade e a condições de estresse hídrico (GONZALEZ *et al.*, 2000; LIU *et al.*, 2019; Cook; SCHULTZE-KRAFT, 2020), o que as torna promissoras na seleção de genótipos forrageiros para regiões como o Semiárido brasileiro (SAB). Parte dessa variabilidade genética está armazenada no Banco de Germoplasma da Universidade Estadual de Feira de Santana (BGF-UEFS) (SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2022), embora sua expressão em caracteres morfológicos ainda seja pouco investigada (OLIVEIRA *et al.*, 2016), sobretudo em condições de déficit hídrico, tornando necessário elucidar os mecanismos que esses genótipos apresentam que os condicionam tolerância à restrição hídrica.

Considerando a importância de estudos aprofundados sobre a expressividade de atributos produtivos de *Stylosanthes* no SAB, sobretudo sob condições de déficit hídrico, o estudo focado especificamente na tolerância à seca, condição de grande relevância para futuros programas de melhoramento genético vegetal voltado a regiões semiáridas. Nesse contexto, realizaram-se avaliações do desenvolvimento vegetativo e da morfologia de acessos de *Stylosanthes* spp. sob condições de déficit hídrico, afim de elucidar os mecanismos envolvidos na tolerância ao estresse.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de execução e obtenção do material vegetal

O experimento foi conduzido em telado na Unidade Experimental Horto Florestal da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), localizados nas coordenadas: 12°16'7,2"S e 38°56'21,6"W e altitude de 258 m.

Foi empregado o delineamento inteiramente ao acaso (DIC), em esquema fatorial 3x2, composto por três regimes hídricos e dois genótipos. Ambos os fatores foram considerados qualitativos, dado que as disponibilidades hídricas de 20%, 40% e 60% correspondem a déficit hídrico severo, déficit hídrico moderado e ausência de déficit hídrico, respectivamente.

Duas espécies foram utilizadas para a condução experimental, sendo uma delas *Stylosanthes viscosa* (L.) Sw., acesso BGF 11-001 – coletado nas coordenadas de 11°36'20"S e 39°09'52,1"W (Conceição do Coité, BA) (Figura 1). O segundo material genético utilizado foi

a cultivar BRS-Bela (*Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw.), desenvolvida através de parcerias entre as unidades da Embrapa Gado de Corte e Embrapa Cerrados.

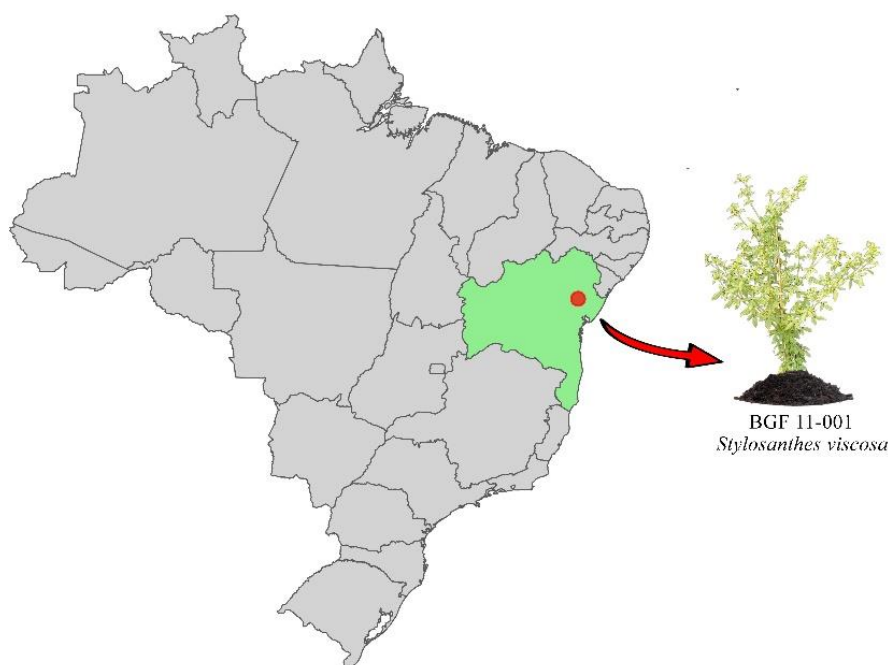


Figura 1. Localização geográfica do acesso BGF 11-001 (*Stylosanthes viscosa*).

2.2 Coleta do substrato e determinação da capacidade máxima de retenção de água/capacidade de vaso

2.2.1 Coleta do substrato e adubação

O substrato utilizado foi proveniente do solo da Unidade Experimental Horto Florestal, coletado na camada de 0-20 cm. Para a caracterização de seus atributos químicos e físicos, amostras simples do solo peneirado foram coletadas e, após homogeneização, compuseram uma amostra composta que foi enviada para análise laboratorial. As seguintes características foram obtidas através da análise: pH= 6,1 em H₂O; P= 32,0 mg/dm³; K= 140,0 mg/dm³; S= 11,0 mg/dm³; Fe= 57,0 mg/dm³; Zn= 6,2 mg/dm³; Cu= 0,8 mg/dm³; Mn= 13,9 mg/dm³; B= 0,27 mg/dm³; Ca= 2,6 cmol c/dm³; Mg= 0,7 cmol c/dm³; H+Al= 1,8 cmol c/dm³; M.O.=2,95 dag/kg, V= 66%. Já os componentes físicos (frações granulométricas) correspondem a: areia= 660 g kg⁻¹; silte= 85 g kg⁻¹; argila= 288 g kg⁻¹, sendo sua classificação textural de franco argiloso arenoso.

De acordo com as recomendações do Manual de Adubação e Calagem do Estado de Minas Gerais (5ª aproximação), não houve necessidade de calagem. Além disso, para adequar

os parâmetros nutricionais à necessidade da cultura, 0,7g de super simples foi aplicado em cada unidade experimental para atender a demanda de fósforo.

2.2.2 Determinação da capacidade de vaso

A determinação da capacidade de vaso foi realizada no Laboratório de Germinação (LAGER), utilizando vasos com capacidade de 8 litros. Foram colocados 8 kg de terra fina, seca ao ar, em três vasos, que foram posteriormente posicionados em bandejas contendo água até atingir dois terços do volume máximo. Dessa forma, o substrato foi saturado por capilaridade, garantindo que todos os poros ficassem preenchidos com água. Em seguida, os vasos foram retirados das bandejas, cobertos com plástico PVC e colocados sobre um suporte para permitir a drenagem do excesso de água. A pesagem dos vasos foi realizada após 24, 48 e 72 horas de drenagem, com o auxílio de uma balança eletrônica (precisão de 0,02 g). Após a obtenção do peso constante, foi calculada a capacidade máxima de retenção de água do solo. A partir desse valor, determinaram-se os níveis de 60%, 40% e 20% da capacidade de retenção hídrica, conforme proposto por Bonfim-Silva et al. (2011).

2.3 Condução experimental

2.3.1 Tratamentos pré-germinativo e germinação das sementes

Devido à presença de dormência tegumentar, o acesso BGF 11-001 foi submetido ao processo de escarificação mecânica com o auxílio de lixa (n.º 150), realizada de forma manual. Após essa etapa, tanto as sementes do acesso BGF 11-001 quanto as da cv. Bela foram desinfestadas em hipoclorito de sódio (0,5%) por um período de 10 minutos e posteriormente foram lavadas em água destilada para a retirada do excesso da solução. As sementes foram colocadas em placas de Petri contendo duas folhas de papel germitest ao fundo, e adicionadas volumes de água correspondente a 2,5 vezes o peso do papel. Em seguida, os conjuntos foram levados para câmara de germinação do tipo B.O.D. (*Biochemical oxygen demand*) com ajuste de temperatura a 30 °C e fotoperíodo de 12 horas, onde permaneceram por um período de 3 dias. As sementes que apresentaram emissão da radícula foram transferidas para os respectivos vasos utilizados na condução experimental. Em cada um dos vasos foi semeado um quantitativo de 5 sementes.

2.3.2 Corte de uniformização, aplicação e manutenção da disponibilidade hídrica

Durante os 55 dias iniciais de cultivo, as plantas foram mantidas à capacidade de vaso de 60%, com a finalidade de se realizar a aclimatação, com irrigação sendo realizada sempre que necessário. Após o período mencionado, houve o desbaste, mantendo apenas o indivíduo que

se mostrou mais vigoroso dentro de cada unidade experimental. Dessa forma, foi procedido o corte de uniformização a uma altura de 15 cm.

Após a etapa mencionada, as plantas foram mantidas em 60% da capacidade de retenção de água por um período adicional de 50 dias, antes da imposição dos tratamentos hídricos. Em seguida, os níveis de disponibilidade hídrica foram ajustados para 60% (sem déficit hídrico), 40% (déficit hídrico moderado) e 20% (déficit hídrico severo). O cultivo foi encerrado após 55 dias sob esses diferentes regimes hídricos. Ademais, os níveis de disponibilidade hídrica foram escolhidos com base em testes realizados previamente (dados não publicados), tendo em vista que em disponibilidades hídricas maiores que 60% ocasionaram nas plantas sintomas característicos de excesso de água.

2.3.3 Tratos culturais

Observações diárias foram realizadas para identificar presença de plantas daninhas nas parcelas experimentais. Nesse sentido, com propósito de evitar a competição por luz, nutrientes e água, e por ventura amenizar interferências ambientais durante a execução do experimento, realizou-se a retirada manual das plantas invasoras.

2.3.4 Obtenção das variáveis climáticas

Os dados do microclima foram obtidos através da utilização de um termo-higrômetro posicionado no interior do telado. Foram procedidas observações diárias e os dados referentes a tais observações encontram-se apresentados na Figura 2.

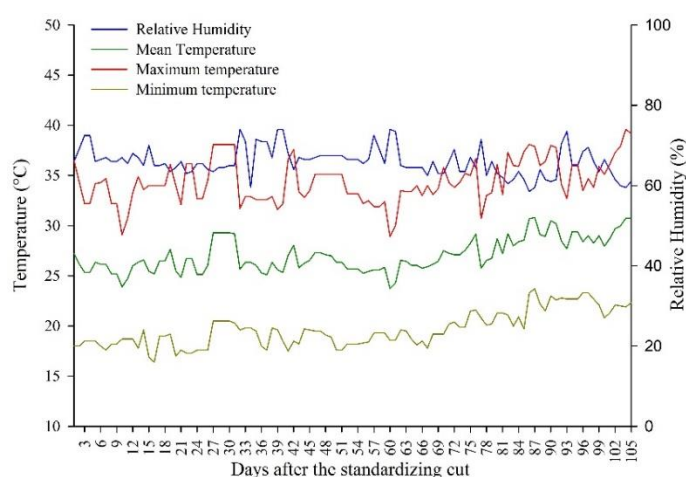


Figura 2. Microclima formado no interior do telado.

2.4 Determinações experimentais

2.4.1 Acompanhamento do desenvolvimento vegetativo

Ao terceiro dia após o corte de uniformização, iniciou-se o acompanhamento do crescimento vegetativo de 12 indivíduos por tratamento, realizado no período de 20/07/2024 a 28/10/2024, com intervalos de três dias entre as observações. Para o acompanhamento das fenofases (Figura 3) foi utilizada a metodologia proposta por Fournier (1974), baseada em escalas semiquantitativas de 0 a 4, correspondendo a: 0 = ausência da fenofase; 1 = 1% a 25% de presença; 2 = 26% a 50% de presença; 3 = 51% a 75% de presença; e 4 = 76% a 100% de presença. O brotamento foi registrado pela presença de folhas novas e pouco desenvolvido. As folhas maduras foram definidas como aquelas completamente expandidas, enquanto a queda foliar foi identificado pela degradação visível da clorofila e do desprendimento das folhas da planta.

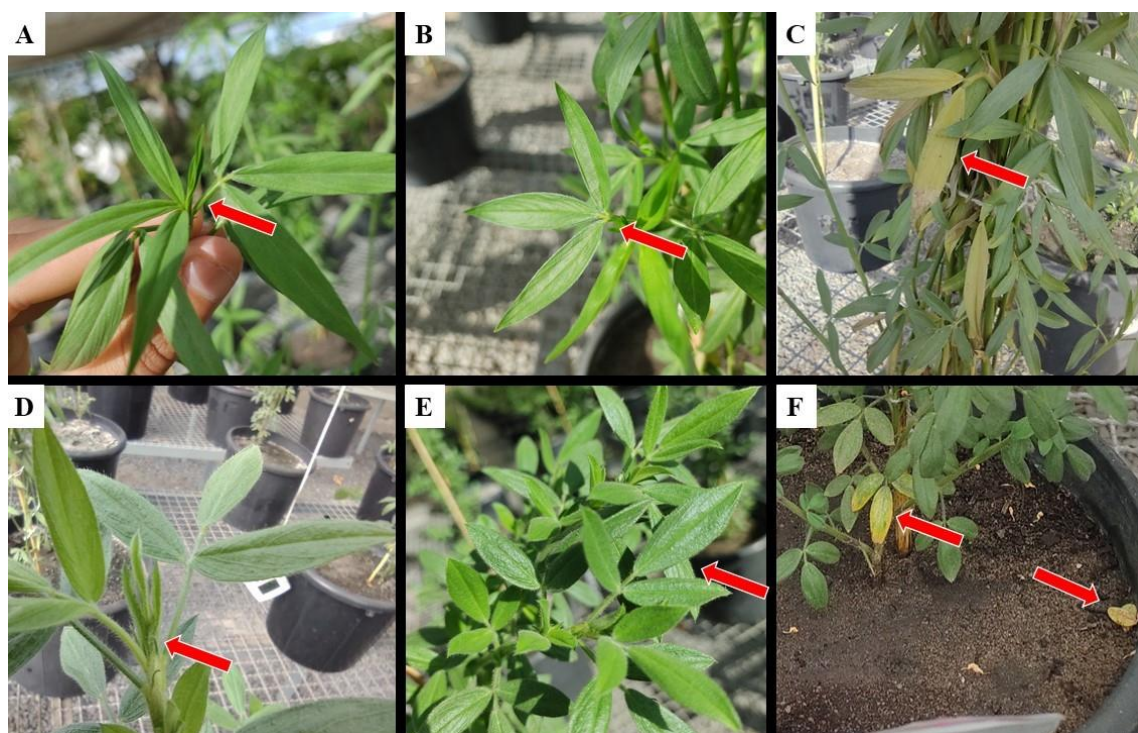


Figura 3. Fenofases vegetativas acompanhadas durante a execução experimental. A, B e C: Brotamento foliar, Folha madura, Queda foliar, respectivamente, da cultivar Bela; D, E e F: Brotamento foliar, Folha madura, Queda foliar, respectivamente do BGF 11-001.

2.4.2 Aspectos morfológicos e traços morfofuncionais

As demais análises experimentais foram realizadas ao final do experimento, em um total de 6 indivíduos por tratamento selecionados aleatoriamente.

A quantificação do diâmetro do coleto (DC, mm) foi obtida por meio de um paquímetro digital posicionado logo acima do nível do solo. O comprimento do ramo primário (CRP, cm), o comprimento do eixo central (CEC, cm) e a estatura da planta (EP, cm) foram mensurados com uma régua milimetrada, sendo esta última variável obtida pela medida realizada desde o nível do solo até a última folha localizada no ponto mais alto do indivíduo. O número de ramos

(NR, unidade) foi determinado por contagem direta. O comprimento do folíolo central (CFC, mm), largura do folíolo central (LFC, mm), comprimento do folíolo lateral (CFL, mm) e largura do folíolo lateral (LFL, mm) foram mensurados com auxílio de um paquímetro digital, estabelecendo como padrão a décima folha do ramo primário, contada a partir da interseção desse ramo com o eixo central.

A área foliar foi calculada a partir da coleta de 10 folhas por indivíduo, que foram submetidas a um leitor de área foliar (Modelo LI-3100C) e, posteriormente, secas em estufa a 55 °C por 72 horas. Após a secagem, determinou-se a massa seca (g) em balança analítica (MARTE AY220, com precisão de 0,0001 g), e a área foliar foi calculada indiretamente a partir da relação com a massa seca foliar.

Os descritores de massa seca do caule (MSC, g) e das folhas (MSF, g) foram obtidos pela segmentação das partes, seguida de secagem em estufa com ventilação forçada a 55 °C por 72 horas e posterior pesagem em balança analítica. A massa seca total (MST, g) foi calculada pela soma de MSC e MSF. A relação folha/caule (F/C) foi determinada pela divisão entre MSF e MSC. Durante todo o período de imposição dos regimes hídricos realizou-se a coleta do material foliar senescente e, ao final do experimento, determinou-se a massa da queda foliar (MQF, g). Com esses dados, calculou-se a porcentagem de queda foliar (MQF%) em relação ao total de folhas produzidas.

Para a mensuração dos atributos foliares, 10 folhas completamente expandidas foram coletadas de cada indivíduo. Foi retirado um disco foliar com auxílio de um perfurador metálico ($DD = 0,1063 \text{ cm}^2$), de maneira que a nervura central fosse desprezada. Após o procedimento, os discos foram submersos em um recipiente contendo água destilada e, após um período de 24 horas, foram colocados sobre papel toalha para que o excesso de água fosse retirado, e assim fosse procedida a pesagem do disco para a obtenção do peso saturado (PSA) em balança analítica, e com posterior medição da espessura da folha (EF, mm) com auxílio de um paquímetro digital. Em seguida, os discos foliares foram acondicionados em sacos de papel e levados à estufa de secagem a 55 °C por 72 horas, sendo posteriormente realizada nova pesagem para determinação do peso seco (PSE). Com os dados obtidos, calcularam-se: a massa foliar por unidade de área ($MFA = PS/DD, \text{ mg} \cdot \text{mm}^{-2}$), a suculência ($SUC = (PSA - PSE)/DD, \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$) e a densidade foliar ($DFA = MFA/EF, \text{ mg} \cdot \text{mm}^{-3}$).

A densidade do caule (DMA, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) foi determinada em triplicata. Foram coletadas porções do caule localizadas no terço médio das plantas, com aproximadamente 5 cm de comprimento. Então, submergiu-se essas amostras em água destilada por 72 horas para que houvesse a saturação do material. Após esse período, para que se determinasse o volume das

amostras através do princípio de Arquimedes, cada seção de caule foi submersa em um béquer, sobre uma balança eletrônica de precisão, contendo água destilada (TRUGILHO *et al.*, 1990). Uma vez que o peso deslocado corresponde ao volume das amostras do caule, anotou-se esse valor. Posteriormente, os caules foram colocados em estufa de secagem a uma temperatura de 55 °C por um período de 5 dias, e em seguida foi determinada a massa seca (BARBOSA; FERREIRA, 2004). Portanto, realizou-se o cálculo da densidade por meio da divisão entre a massa e o volume para que o valor da densidade pudesse ser obtido (ILICH *et al.*, 2000) e classificado de acordo com Borchert (1994).

2.5 Análise de dados

Inicialmente, para o tratamento dos dados, foram procedidos testes para verificar as pressuposições necessárias à análise de variância (ANOVA). O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para avaliar a normalidade dos resíduos, enquanto o teste de Bartlett verificou a homoscedasticidade das variâncias, realizados por meio das funções “shapiro.test” e “bartlett”, respectivamente, utilizando o pacote ExpDes.pt. Devido ao não atendimento dos pressupostos supracitados para a variável MSQ%, os dados foram transformados para $\arcsin \sqrt{x/100}$.

Atendidas as pressuposições, a ANOVA foi conduzida com a função “fat2.dic” do mesmo pacote supracitado, adotando-se um nível de significância de ($p \leq 0,05$). Quando houve interação significativa entre os fatores, os desdobramentos foram realizados pelo teste de comparações múltiplas de Tukey ($p \leq 0,05$), também utilizando a função “fat2.dic” (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2021). Os resultados foram apresentados em gráficos do tipo *boxplot*, construídos com a função “geom_boxplot”, disponível no pacote ggplot2 (WICKHAM *et al.*, 2022).

O teste de correlação foi realizado para avaliar a relação entre a intensidade das fenofases vegetativas e as disponibilidades hídrica. Nesse sentido, foi utilizado o teste não paramétrico de correlação de *Spearman*, tendo em vista ao não atendimento dos pressupostos de normalidade dos resíduos das fenofases.

Adicionalmente, realizou-se uma análise de componentes principais (PCA) para investigar as relações entre os tratamentos e as variáveis analisadas. A análise foi realizada por meio da função “prcomp” do pacote factoextra, e os resultados foram visualizados em gráfico *biplot*, gerados com a função “fviz_pca_biplot” (KASSAMBARA; MUNDT, 2020).

Todas as análises foram realizadas usando o software estatístico R (versão 2024.12.0+467) (R CORE TEAM, 2024).

3. RESULTADOS

3.1 Desenvolvimento vegetativo

Observa-se variação na intensidade do brotamento foliar entre genótipos e os regimes hídricos (Figura 4). O acesso BGF 11-001 (Figura 4A) apresentou redução no brotamento em todos os tratamentos após o início das restrições hídricas, sendo essa redução mais acentuada sob déficit hídrico severo (20%) (52,08%), ocorrendo de forma mais precoce em comparação aos demais regimes. Em contraste, a cultivar Bela (Figura 4B) mostrou pouca variação sob 40% e 60%, entretanto, sob 20%, houve redução na fenofase, atingindo 75% de intensidade.

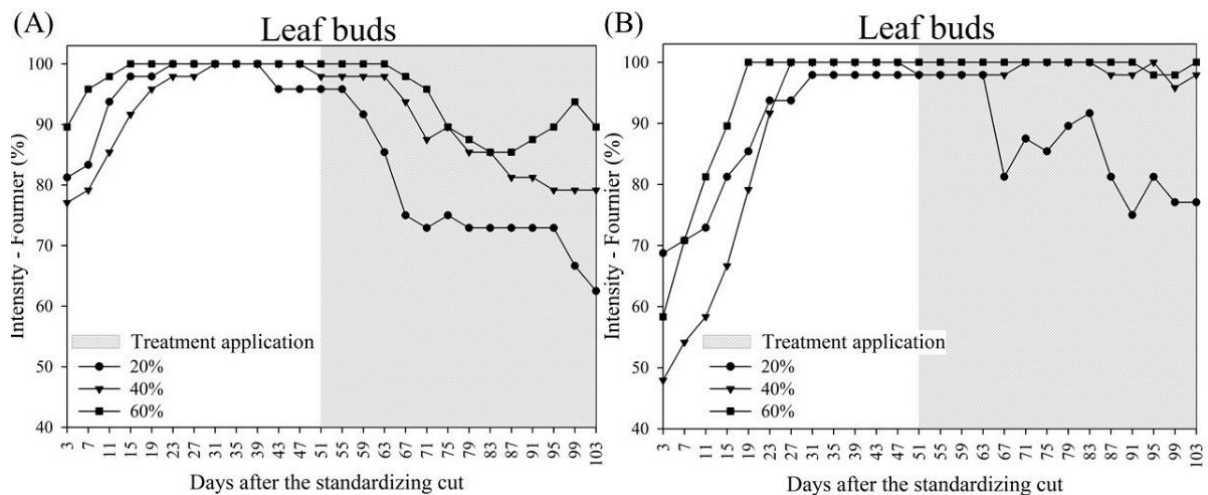


Figura 4. Intensidade de brotamento foliares em *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. A – Acesso BGF 11-001 (*S. viscosa*); B – Cultivar BRS-Bela (*S. guianensis*).

Já na fenofase de folha madura (Figura 5), o acesso BGF 11-001 (Figura 5A) manteve uma consistência na intensidade em ambos os regimes hídricos, permanecendo, ao longo do período de imposição dos tratamentos, majoritariamente com 100% de intensidade. Em contraste, a cultivar Bela (Figura 5B) apresentou variações na intensidade dessa fenofase ao longo do período de observação, independentemente do regime hídrico, sendo essas variações mais acentuadas nas plantas submetidas ao déficit hídrico severo (20%).

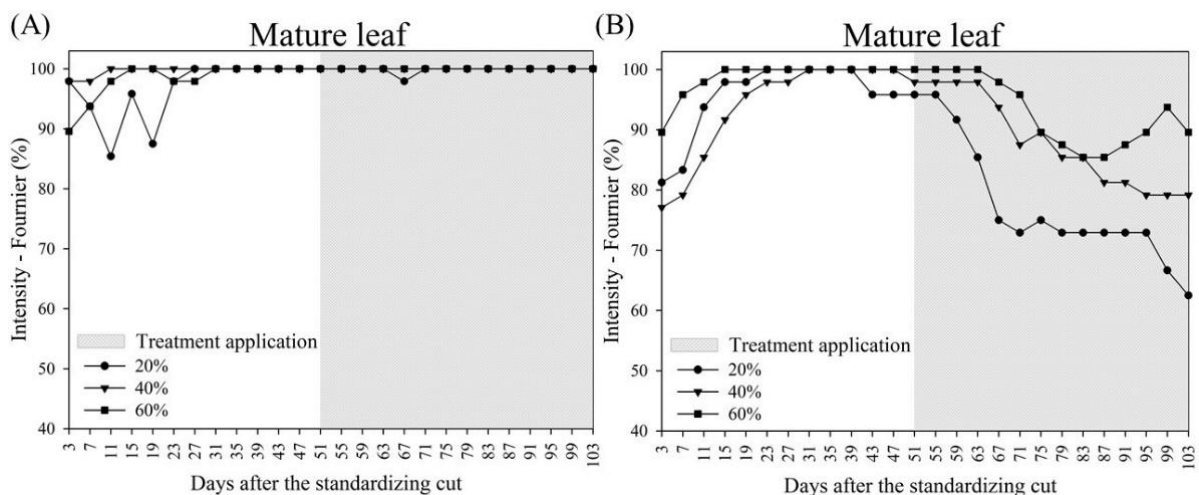


Figura 5. Intensidade de folhas maduras de *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. A – Acesso BGF 11-001 (*S. viscosa*); B – cultivar BRS-Bela (*S. guianensis*).

No que diz respeito à queda foliar (Figura 6), ambos os genótipos apresentaram baixa intensidade dessa fenofase em todos os regimes hídricos. Todavia, observou-se que a cultivar Bela (Figura 6B) apresentou uma leve diferença na intensidade da queda foliar em comparação ao acesso BGF 11-001 (Figura 6A). Para ambos os genótipos, não foi possível identificar grandes diferenças entre os regimes hídricos dentro de cada material, uma vez que os regimes hídricos apresentaram variações na intensidade ao longo da condução experimental.

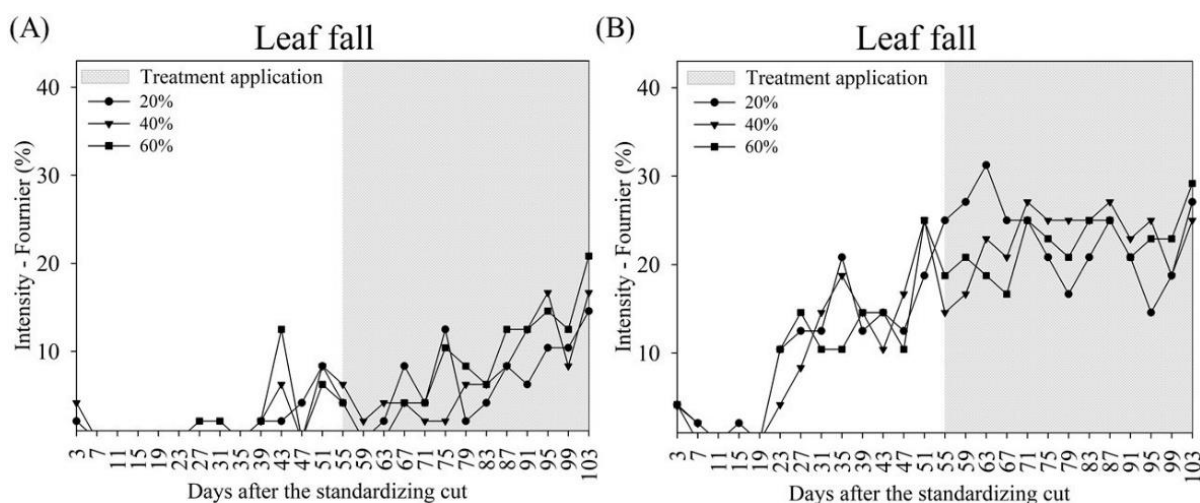


Figura 6. Intensidade da queda foliar de *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. A – Acesso BGF 11-001 (*S. viscosa*); B – cultivar BRS-Bela (*S. guianensis*).

A análise de correlação (Figura 7) revelou padrões distintos de associação entre as fenofases e a disponibilidade hídrica nos genótipos avaliados. Para o genótipo BGF 11-001 (Figura 7A), o brotamento teve correlação positiva fraca com a disponibilidade hídrica ($r_s = 0,34$, $p \leq 0,01$), enquanto as fenofases de folha madura e queda foliar não mostraram correlação significativa com os níveis de disponibilidade ($p > 0,05$). Na cultivar Bela (Figura 7B), o brotamento apresentou forte correlação positiva ($r_s = 0,81$, $p \leq 0,01$) com a disponibilidade de água, enquanto a folha madura apresentou correlação moderada ($r_s = 0,65$, $p \leq 0,01$). Assim como no BGF 11-001, a queda foliar não apresentou correlação significativa ($p > 0,05$) com os níveis hídricos.

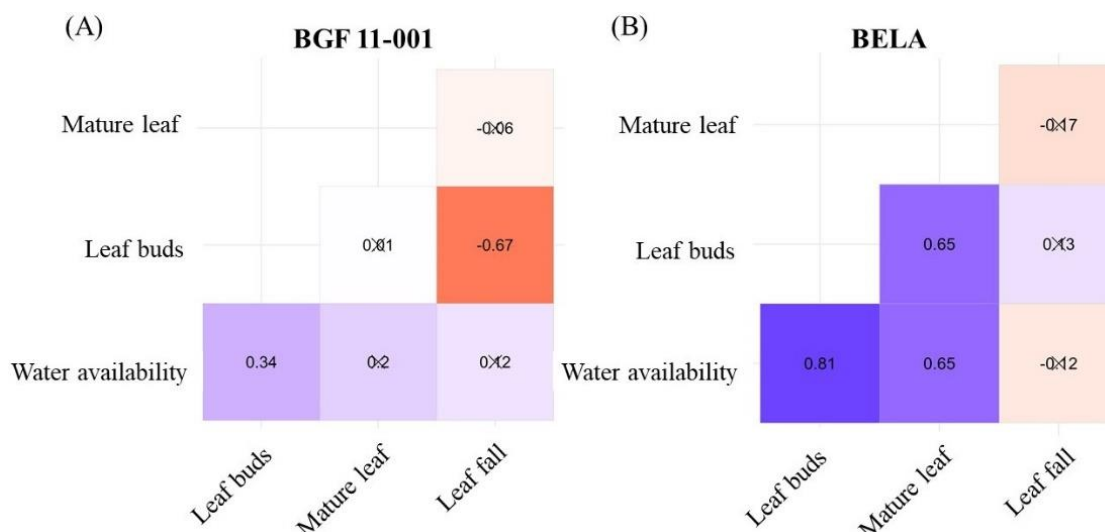


Figura 7. Correlação de *Spearman* (rs) entre a disponibilidade hídrica e as fenofases vegetativas de genótipos de *Stylosanthes* spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade de hídrica. A – Acesso BGF 11-001 (*S. viscosa*); B – cultivar BRS-Bela (*S. guianensis*). “X” indica não significância na correlação de *Spearman* ($p \leq 0,05$).

3.2 Aspectos morfológicos e traços morfofuncionais

A análise de variância dos traços morfofuncionais (Tabela 1) revelou que a interação entre genótipo e regime hídrico foi significativa para EF ($p \leq 0,05$), não apresentando efeito significativo sobre SUC, DFA e DMA ($p > 0,05$). O efeito isolado do fator genótipo foi significativo ($p \leq 0,01$) sobre as variáveis SUC, DFA e DMA. Por sua vez, a disponibilidade hídrica influenciou significativamente apenas SUC ($p \leq 0,05$), sem afetar significativamente as demais variáveis nas quais a interação entre os fatores não foi constatada.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para características morfofuncionais de genótipos de *Stylosanthes* spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.

Fonte de variação	EF	SUC	DFA	DMA
Genótipo	122,723**	18,013**	10,528**	498,16**
Disponibilidade Hídrica	0,263 ^{ns}	3,729*	1,005 ^{ns}	1,56 ^{ns}
Interação	4,106*	0,948 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,99 ^{ns}
CV(%)	9,3	11,05	6,29	8,21

CV: Coeficiente de variação; *, **, ^{ns}: significativo a p -valor $\leq 0,01$, p -valor $\leq 0,05$ e não significativo pelo teste F, respectivamente. EF: espessura da folha; SUC: suculência; DFA: densidade foliar; DMA: densidade do caule.

Ao realizar o desdobramento da interação para a variável EF (Figura 8) verificou-se que, dentro do fator genótipo, o acesso BGF 11-001 apresentou médias de espessuras de folha significativamente maiores em todos os níveis de disponibilidade hídrica quando comparado a cultivar Bela. Por outro lado, ao avaliar o desdobramento do fator disponibilidade hídrica, observou-se esse fator não exerceu influência em ambos os genótipos, indicando que estes não apresentaram respostas para a variável em questão diante do cultivo em diferentes regimes hídricos.

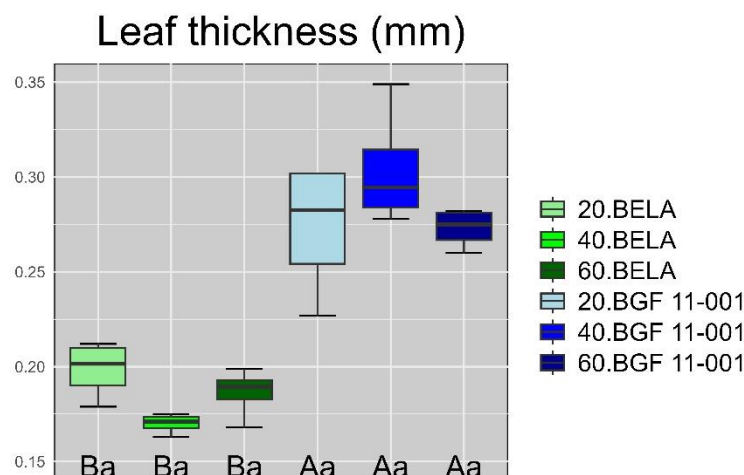


Figura 8. Desdobramento da interação para a espessura foliar de genótipos de *Stylosanthes* spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. Letras diferentes (maiúsculas para o fator genótipo e minúsculas para o fator disponibilidade hídrica) indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Ao comparar de maneira independente os genótipos (Figura 9), observou-se que para suculência (Figura 9A) o acesso BGF 11-001 apresentou maior valor médio em relação à cultivar Bela. Na densidade da folha (Figura 9B), a cultivar Bela exibiu valores superiores em comparação ao BGF 11-001. Já para a densidade da madeira (Figura 9C), o genótipo BGF 11-001 apresentou valores médios maiores do que os da cultivar Bela.

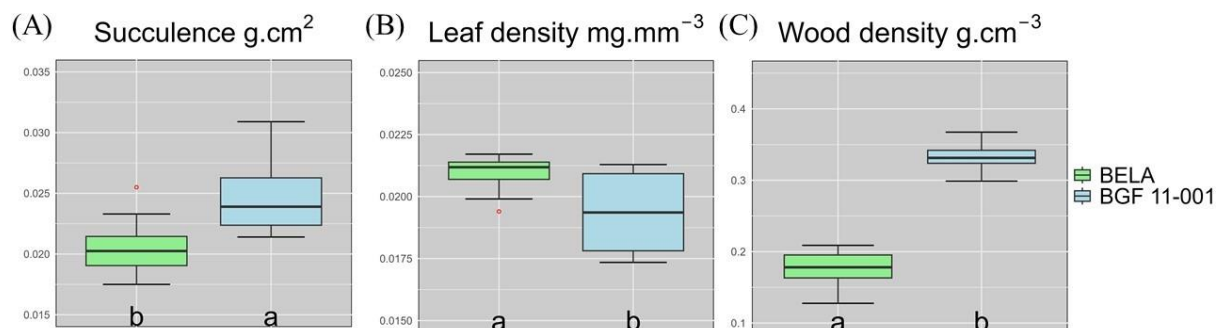


Figura 9. Comparação de médias para o efeito individual do genótipo sobre características morfofuncionais de *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes disponibilidades hídricas. Letras diferentes indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Suculência; B – Densidade da folha; C- Densidade da madeira.

A Figura 10 apresenta a comparação de médias para o fator disponibilidade hídrica na variável SUC. Observa-se que o nível de 20% de disponibilidade hídrica apresentou a maior suculência média, sendo significativamente superior ao de 60%. Já o nível de 40% apresentou um valor intermediário, não diferindo significativamente dos de 20% e 60%.

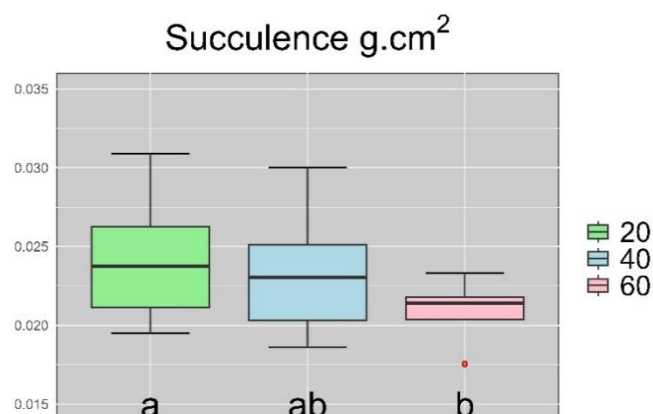


Figura 10. Comparação de médias para o efeito individual do fator disponibilidade hídrica sobre a Suculência das folhas de *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidades hídricas. Letras diferentes indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A análise de variância para a produção de biomassa (Tabela 2) indicou que a interação entre os fatores não foi significativa ($p > 0,05$) para MSF, MST e F/C. No entanto, houve interação significativa ($p \leq 0,05$) para MSC e MSQ%, indicando que o efeito da disponibilidade hídrica depende do genótipo. Isoladamente, o fator genótipo teve efeito altamente significativo sobre MSF e F/C ($p \leq 0,01$), revelando diferenças entre materiais genéticos. Para MST, o efeito do genótipo não foi significativo, sugerindo variação aleatória. Já a disponibilidade hídrica influenciou significativamente o MST ($p \leq 0,01$) e o MSF ($p \leq 0,05$), sem efeito sobre F/C.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis de produção de biomassa de genótipos de *Stylosanthes* spp. cultivados sob diferentes condições de disponibilidade hídrica.

Fonte de variação	MSF	MSC	MST	F/C	MSQ%
Genótipo	9,54**	14,66**	1,01 ^{ns}	300,89**	84,37**
Disponibilidade Hídrica	11,53**	21,69**	17,71**	2,01 ^{ns}	2,12 ^{ns}
Interação	0,94 ^{ns}	3,49*	1,33 ^{ns}	1,13 ^{ns}	4,18*
CV(%)	33,37	31,07	32,06	12,64	26,35

CV: Coeficiente de Variação; **, *, ^{ns}: significativos (valor- $p \leq 0,01$), (valor- $p \leq 0,05$) e não significativos pelo teste F, respectivamente. MSF: Massa Seca da Folha; MSC: Massa Seca do Caule; MST: Massa Seca Total; F/C: razão Folha/Caule; MSQ%: Porcentagem de massa seca da queda foliar.

O desdobramento das variáveis MSC e MSQ% encontra-se apresentado na Figura 11. Em 60% de disponibilidade hídrica, a cultivar Bela teve maior MSC (Figura 11A) em comparação ao BGF 11-001, enquanto nos demais níveis, não houve diferença entre os genótipos. O BGF 11-001 também apresentou desempenho similar, porém de forma menos acentuada. Para MSQ% (Figura 11B), o BGF 11-001 foi superior à Bela em todos os níveis, indicando menor queda foliar. Nas disponibilidades hídricas em cada genótipo, o BGF 11-001 não apresentou variação significativa, enquanto a cultivar Bela teve aumento da MSQ% sob déficit hídrico severo (20%), diferindo nível do tratamento sem déficit hídrico (60%). O déficit hídrico moderado (40%) não diferiu significativamente dos demais regimes para essa cultivar.

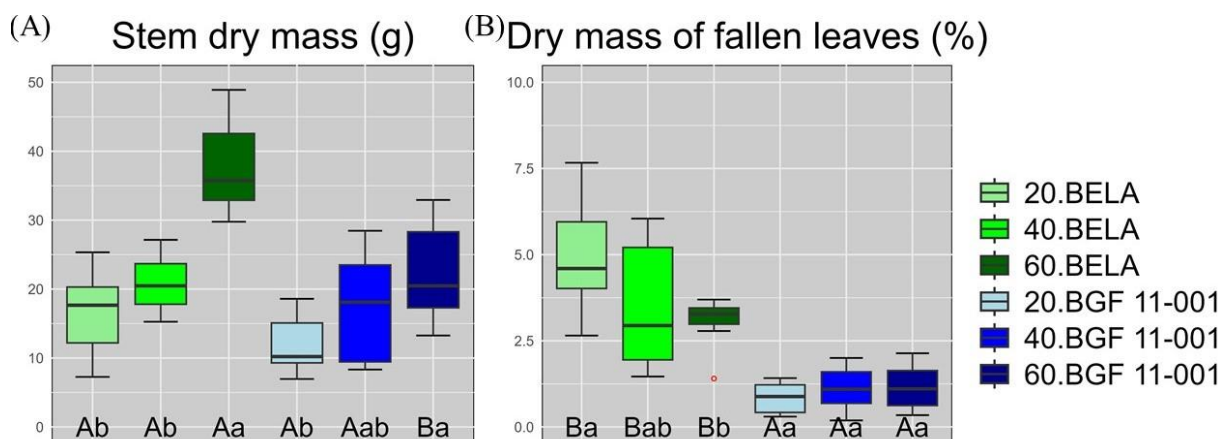


Figura 11. Desdobramento da interação para a produção de biomassa de *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. Letras diferentes indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Massa seca do caule; B – Porcentagem de massa seca da queda foliar.

Na comparação entre os genótipos o BGF 11-001 apresentou valores significativamente superiores aos da cultivar Bela para MSF e F/C (Figura 12A-B). Já a comparação de médias isoladamente para o fator disponibilidade hídrica, para as variáveis MSF (Figura 13A) e MST (Figura 13B) nota-se que em 60% de disponibilidade hídrica houve maiores valores médios, sendo significativamente superior aos de 20% e 40%, que não diferiram entre si.

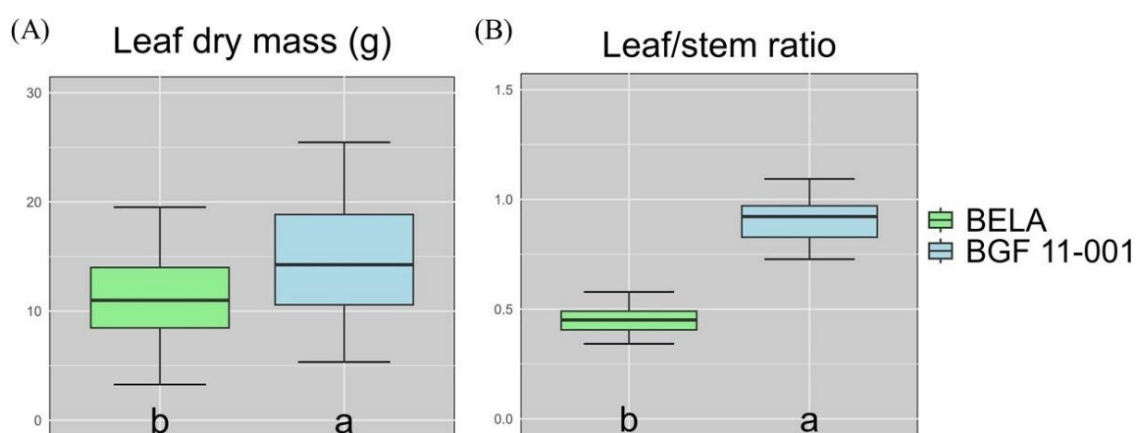


Figura 12. Comparação das médias para o efeito individual do genótipo na produção de biomassa de *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. Letras diferentes indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Massa seca da folha; B – Relação folha/caule.

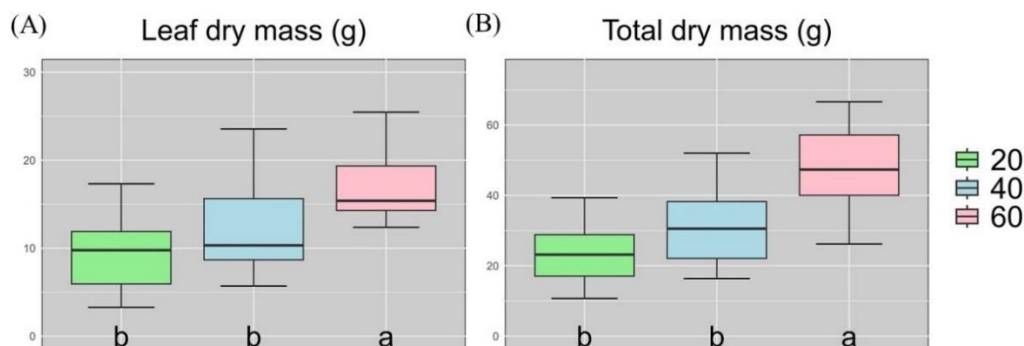


Figura 13. Comparação das médias para o efeito individual da disponibilidade hídrica na produção de biomassa de *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. Letras diferentes indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Massa seca da folha; B – Massa seca total.

A análise de variância para os caracteres morfológicos (Tabela 3) indicou interação significativa entre genótipo e disponibilidade hídrica apenas para CRP ($p \leq 0,05$), sugerindo que essa variável depende da combinação entre genótipo e regime hídrico. De forma independente, o fator genótipo foi significativo ($p \leq 0,01$) para DC, CEC, EP, NR, CFC, LFC e CFL, indicando diferenças genéticas entre os genótipos. A disponibilidade hídrica influenciou significativamente ($p \leq 0,01$) DC, CEC, EP, NR e AF, evidenciando o efeito das condições hídricas sobre essas variáveis.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para os caracteres morfológicos de genótipos de *Stylosanthes* spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.

Fonte de variação	DC	CEC	CRP	EP	NR
Genótipo	30,69**	47,86**	40,95**	40,52**	98,95**
Disponibilidade Hídrica	11,24**	20,76**	2,82*	18,44**	7,21**
Interação	0,27 ^{ns}	2,15 ^{ns}	4,73*	0,47 ^{ns}	0,86 ^{ns}
CV(%)	14,93	10,48	23,17	10,23	17,06
	CFC	CFL	LFC	LFL	AF
Genótipo	105,45**	17,18**	113,96**	0,75 ^{ns}	1,14 ^{ns}
Disponibilidade Hídrica	0,25 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,42 ^{ns}	11,62**
Interação	0,21 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,148 ^{ns}
CV(%)	17,09	11,37	15,19	14,18	37,27

CV: Coeficiente de Variação; **, *, ^{ns}: significativos (valor de $p \leq 0,01$), (valor de $p \leq 0,05$) e não significativos pelo teste F, respectivamente. DC: Diâmetro do coleto; CEC: Comprimento do eixo central; CRP: Comprimento do ramo primário; AE: Estatura da planta; NR: Número de ramos; CFC: Comprimento do folíolo central; LFC: Largura do folíolo central; CFL: Comprimento do folíolo lateral; LFL: Largura do folíolo lateral; AF: Área foliar.

O desdobramento da variável CRP (Figura 14) mostrou que a cultivar Bela obteve maior média em 60% de disponibilidade hídrica, diferindo dos níveis de 40% e 20%, que foram estatisticamente iguais. Diferentemente, para o BGF 11-001 os níveis de disponibilidade hídrica não variaram de forma significativa. Ao comparar os genótipos, a Bela apresentou valores superiores ao BGF 11-001 em 20% e 60% de disponibilidade, e sem diferença entre eles no nível de 40%.

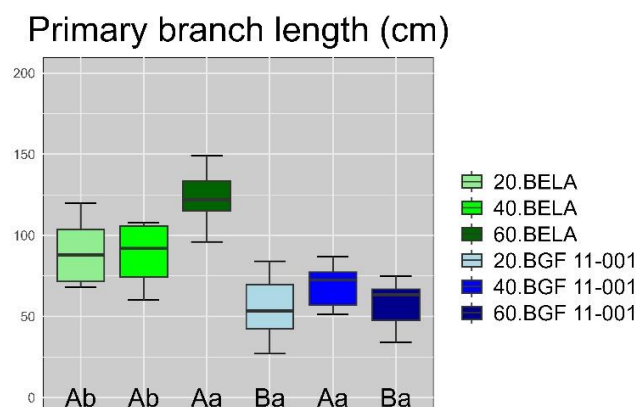


Figura 14. Desdobramento da interação para o Comprimento do Ramo Primário de *Stylosanthes* spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. Letras diferentes (maiúsculas para o fator genótipo e minúsculas para o fator disponibilidade hídrica) indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A Figura 15 apresenta a comparação de médias para o fator genótipo nas variáveis DC, CEC, EP, NR, CFC, LFC e CFL. A cultivar Bela teve maiores valores de DC (15A), CEC (15B) e EP (15C) que o BGF 11-001. Em contrapartida, o NR foi superior no BGF 11-001 (15D). Para características foliares, a Bela apresentou maior CFC (15E) e CFL (15G), enquanto BGF 11-001 destacou-se em LFC (15F).

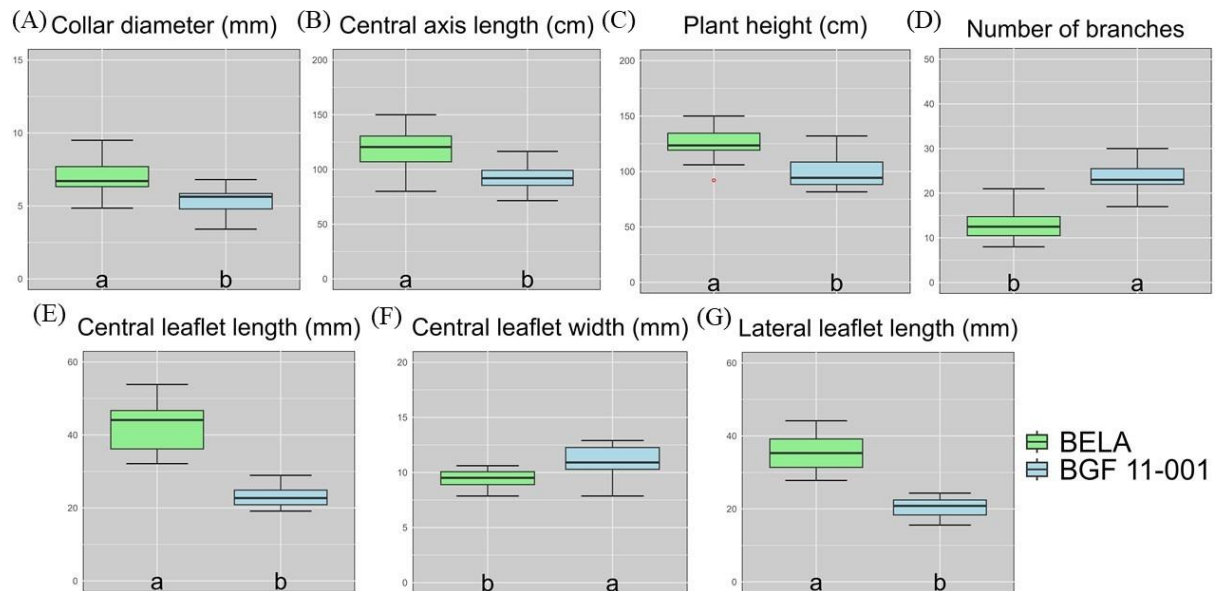


Figura 15. Comparação das médias para o efeito individual do genótipo nas características morfológicas de *Stylosanthes* spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. Letras diferentes indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Diâmetro do coleto; B – Comprimento do eixo central; C – Estatura da planta; D- Número de ramos; E – Comprimento do folíolo central; F – Largura do folíolo central; G – Comprimento do folíolo lateral.

A avaliação independente da disponibilidade hídrica revelou que DC foi maior em 60%, em comparação a 20% e 40%, que não apresentaram diferenças (Figura 16A). Para CEC e EP, os níveis de 40% e 60% apresentaram resultados superiores ao regime de 20%, sem diferença entre eles (Figuras 16B e 16C, respectivamente). NR e AF foram superiores em 60% frente a 20% e 40%, que foram iguais estatisticamente (Figura 16D).

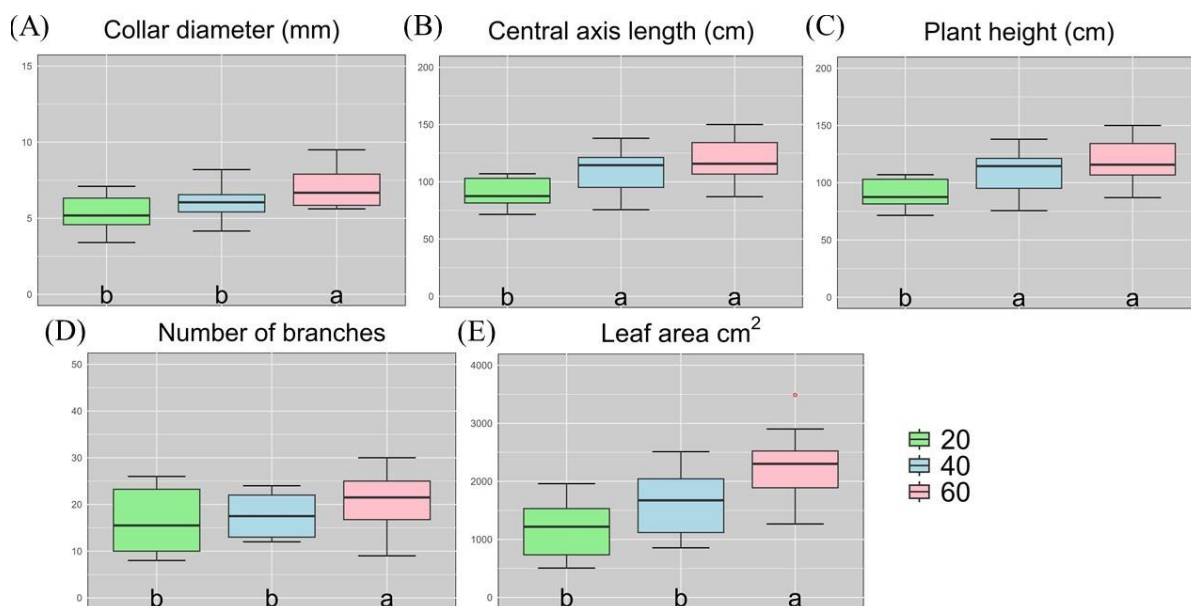


Figura 16. Comparação das médias para o efeito individual da disponibilidade hídrica nas características morfológicas de *Stylosanthes* spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. Letras diferentes indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Diâmetro do coleto; B – Comprimento do eixo central; C – Estatura da planta; D- Número de ramos; E – Área foliar.

O *biplot* da PCA (Figura 17) apresenta a relação entre os tratamentos e as variáveis analisadas. Os dois primeiros componentes principais (PCA1 e PCA2, respectivamente, explicaram 94,1% da variação total (68,5% PCA1 e 25,6% PCA2). O PCA1 correlacionou-se negativamente com LFL, SUC, LFC, EF e DMA, e positivamente com CFL, CPC, CRP, CFC, DC e CP. O PCA2 teve correlação negativa com MSF, MST e AF. O acesso BGF 11-001 sob 60% de disponibilidade hídrica foi fortemente relacionado com a MSF e NR, e negativamente com MSQ%. Já a cultivar Bela a 60% relacionou-se fortemente com MSC, EP, CEC, DC, AF e MST, e negativamente com LFL e SUC. O BGF 11-001 a 40% mostrou relação positiva com LFC, EF e DMA, e negativa com DFA, CFL e CFC, enquanto a Bela sob as mesmas condições apresentou o oposto. Sob déficit hídrico severo (20%), BGF 11-001 apresentou relação positiva com LFC e SUC, e negativa com CFC, EP e DC.

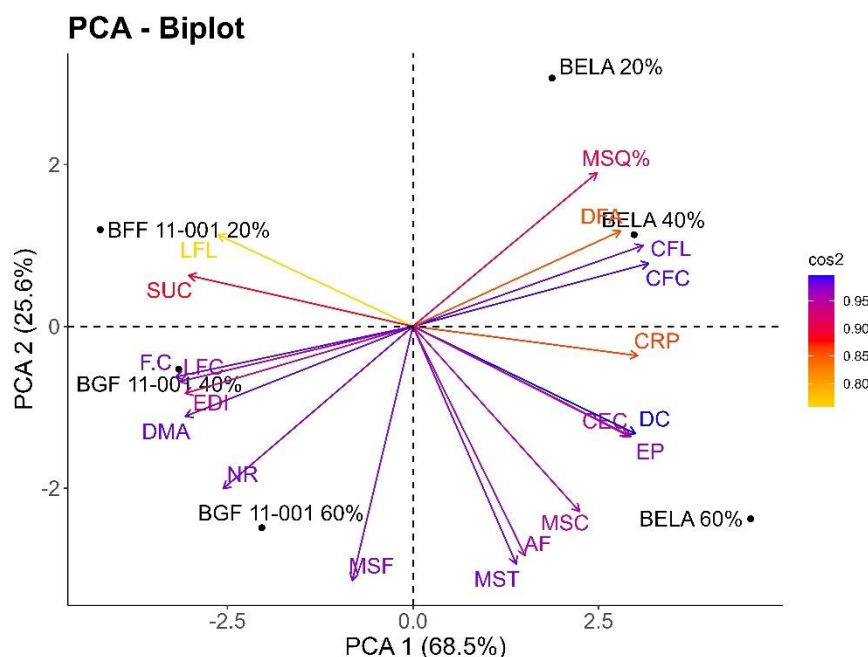


Figura 17. Análise de componentes principais das variáveis mensuradas em *Stylosanthes* spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. EDI: espessura da folha; SUC: suculência; DFA: densidade foliar; DMA: densidade do caule. MSF: Massa Seca da Folha; MSC: Massa Seca do Caule; MST: Massa Seca Total; F/C: razão Folha/Caule; MSQ%: Porcentagem de massa seca da queda foliar. DC: Diâmetro do coleto; CEC: Comprimento do eixo central; CRP: Comprimento do ramo primário; AE: Estatura da planta; NR: Número de ramos; CFC: Comprimento do folíolo central; LFC: Largura do folíolo central; CFL: Comprimento do folíolo lateral; LFL: Largura do folíolo lateral; AF: Área foliar.

4. DISCUSSÃO

A troca foliar é fortemente influenciada por fatores climáticos, especialmente em ambientes sazonais (NEVES *et al.*, 2022). Nos ecossistemas tropicais sazonais, os padrões de precipitação e disponibilidade hídrica determinam as características de uso da água, selecionando espécies com estratégias variadas para enfrentar a seca sazonal (BUTZ *et al.*, 2017). Nesse contexto, investigar plantas forrageiras adaptadas ao SAB é fundamental, já que a pecuária local depende majoritariamente da precipitação pluviométrica (CIRILO *et al.*, 2017). Assim, o estudo do crescimento vegetativo de genótipos sob condições de baixa disponibilidade hídrica é essencial para a seleção de materiais genéticos mais adaptados à região.

Os resultados indicaram redução no brotamento foliar do acesso BGF 11-001 mesmo em condições ideais de disponibilidade hídrica, sugerindo que esse genótipo naturalmente limita a emissão de novas folhas. Além disso, a menor intensidade observada em déficit hídrico severo (20%) confirma sensibilidade do genótipo à restrição hídrica. Por sua vez, a cultivar Bela apresentou redução no brotamento apenas sob menor disponibilidade hídrica, indicando maior sensibilidade ao déficit severo (20%), conforme reforçado pela análise de correlação, indicando uma resposta mais intensa ao déficit via restrição do crescimento vegetativo. A água desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de comunidades vegetais, sendo o

crescimento vegetativo e a produção de biomassa fortemente influenciada pela quantidade em que esse recurso está disponível para as plantas (SALLAMAN *et al.*, 2019).

O BGF 11-001 não apresentou variações na fenofase da folha madura, mesmo sob condições de déficit hídrico severo (20%), evidenciando maior tolerância à redução na disponibilidade de água em relação a cultivar Bela, que apresentou maior sensibilidade à escassez hídrica. No contexto sazonal de déficit hídrico de regiões semiáridas, que resulta em menor disponibilidade de alimento para o pastejo (AGHAJANI *et al.*, 2023), a redução de massa foliar seria mais acentuada na cultivar Bela em comparação ao BGF 11-001.

A variável MSQ% evidenciou de forma clara as diferenças entre os genótipos quanto à perda foliar por abscisão. O acesso BGF 11-001 apresentou maior estabilidade, sem aumento significativo na queda foliar sob déficit hídrico. Em contraste a cultivar Bela demonstrou maior sensibilidade, com aumento expressivo na condição de déficit severo (20%). A redução da disponibilidade hídrica comumente resulta em diminuição da quantidade de folhas (SILVA *et al.*, 2019), sendo a abscisão uma estratégia adaptativa ligada à redução da transpiração (CRUZ *et al.*, 2023).

Os resultados para DMA e DFA não indicaram diferenças significativas entre os níveis de disponibilidades hídricas. Apesar de haver diferença entre os genótipos para DMA, segundo a classificação de Borchert (1994), ambos apresentam baixa densidade da madeira ($\leq 0,5 \text{ g/cm}^3$). Tecidos com menor lignificação e baixa densidade tendem a armazenar mais água, fator importante para a adaptação a regiões semiáridas sujeitas à seca (LIU *et al.*, 2020). Ademais, o teste de médias mostrou que a cultivar Bela apresenta valores superiores em relação ao acesso BGF 11-001 para essa variável, sendo evidenciado pela análise de PCA que apresentou uma maior associação da DMA com o BGF 11-001. Outrossim, é importante destacar que baixos valores de DMA indicam maior suscetibilidade à cavitação (LIU *et al.*, 2020) e nesse sentido, em condições de baixa disponibilidade hídrica – comuns em regiões semiáridas (NUNES *et al.*, 2022) –, esse processo pode comprometer o desenvolvimento das plantas ao bloquear o fluxo de seiva, causado pela formação de bolhas de gás nos vasos condutores e dificultando a translocação de solutos (LIU *et al.*, 2020; REN *et al.*, 2023).

Os resultados de DFA indicaram que a cultivar Bela apresentou valores maiores para essa variável, o que pode representar desvantagem em relação ao acesso BGF 11-001. Essa desvantagem está associada à correlação negativa entre DFA e capacidade fotossintética, resultante da redução dos espaços intercelulares devido ao aumento de fibras, esclereídeos e espessamento das paredes celulares (WITKOWSKI; LAMONT, 1991; SUGIURA *et al.*, 2020).

Tais características limitam a difusão de CO₂, reduzindo assim a capacidade fotossintética da planta (TERASHIMA *et al.*, 2011).

A maior ESP e SUC observadas no BGF 11-001, em comparação a cultivar Bela, indicam uma possível vantagem adaptativa desse genótipo ao Semiárido — região caracterizada por alta radiação luminosa durante o ano (NIHAD *et al.*, 2019) e déficit hídrico sazonal (NUNES *et al.*, 2022). Folhas mais espessas oferecem maior proteção contra danos causados pelo excesso de luz, em comparação às folhas mais finas (LIU *et al.*, 2019), além de apresentarem maior acúmulo de água (GUO *et al.*, 2023) – característica importante em condições de estresse hídrico. A tendência de aumento da SUC em ambos os genótipos sob baixa disponibilidade hídrica sugere plasticidade fenotípica associada a essa variável, possivelmente mediada por mecanismos que favorecem o acúmulo de água, relacionando-se diretamente à tolerância ao déficit hídrico (CHIN; SILLETT, 2016).

Estudos recentes indicam que a restrição hídrica pode alterar características morfofuncionais das plantas, levando ao desenvolvimento de estratégias adaptativas ao estresse (SANTOS *et al.*, 2021; FREITAS *et al.*, 2024; PEREIRA *et al.*, 2024). Contudo, neste estudo, a maioria das variáveis morfofuncionais analisadas (DFA, DMA e EF) não apresentaram variações significativas em ambos os genótipos em função da disponibilidade hídrica. Essa ausência de resposta pode estar relacionada ao curto período de exposição aos tratamentos de déficit hídrico, possivelmente insuficiente para evidenciar plasticidade fenotípica nesses atributos morfofuncionais.

A redução significativa na produção de MSF sob restrição hídrica reforça a sensibilidade dos genótipos ao déficit, indicando que a limitação de água compromete diretamente o desenvolvimento foliar. Esse efeito ocorreu de forma homogênea entre os genótipos avaliados, sendo que o desempenho médio do BGF 11-001 em comparação a cultivar Bela sugere que, independentemente da condição hídrica, ele mantém maior produção proporcional de MSF. Resultados semelhantes foram encontrados por Gomes *et al.* (2023) em *Brachiaria* spp., onde a redução na disponibilidade hídrica ocasionou diminuição da produção de massa seca foliar.

Adicionalmente, a AF apresentou desempenho semelhante ao da MSF sob diferentes disponibilidades hídricas. Dessa forma, plantas sob condições de déficit hídrico, devido à necessidade de reduzir a condutância estomática, tendem a diminuir a área foliar e, consequentemente, a superfície de absorção de energia solar (CRUZ *et al.*, 2023). Essa estratégia reduz a perda de água, permitindo que esse recurso permaneça disponível por mais tempo para a manutenção das atividades metabólicas (MEDRANO *et al.*, 2007; CRUZ *et al.*, 2023). No entanto, apesar de essas variáveis serem geralmente correlacionadas, a análise de

PCA não indicou forte associação entre elas, sendo a AF mais relacionada a cultivar Bela. Esse resultado pode estar ligado aos valores de EF, superiores no BGF 11-001 em relação à Bela, o que resultou em maior acúmulo de massa seca por área foliar nesse genótipo — padrão também observado por LI *et al.* (2022) em espécies herbáceas.

A constatação da inexistência de diferenças estatísticas no fator disponibilidade hídrica para os caracteres morfológicos de CFC, CFL, LFC. LFL indica que possivelmente a diminuição da área foliar dos indivíduos se associa à redução na brotação de novas folhas e no aumento da queda foliar, e não especificamente na diminuição da área média do limbo foliar dos indivíduos submetidos ao déficit hídrico.

Outrossim, condições de déficit hídrico resultaram em desempenhos semelhantes para MSC e MST em relação à variável MSF, evidenciando que ambas foram impactadas pela redução na disponibilidade de água. Esses resultados corroboram os reportados por Gomes *et al.* (2023) e Tavazoh *et al.* (2024), que constataram redução na produção de massa seca em *Brachiaria spp.* e *Sorghum bicolor* (L.) Moench, respectivamente, sob condições de estresse hídrico. Além disso, a ausência de diferença significativa para a MST entre os genótipos indicaram que a produção de massa seca total foi estatisticamente equivalente entre os ambos, independentemente da disponibilidade hídrica. Essa ausência de diferença pode estar relacionada à forte associação entre a cultivar Bela e a MSC, conforme evidenciado na análise de PCA, sugerindo que essa variável contribuiu substancialmente para a produção de biomassa nesse genótipo.

Atrelado a isso, o BGF 11-001 apresentou valores superiores para a variável F/C em relação à cultivar Bela. A relação folha/caule é um parâmetro importante em leguminosas forrageiras, pois valores mais altos estão comumente associados a melhor qualidade da forragem, uma vez que essa relação é especialmente relevante devido ao impacto no consumo durante o pastejo, já que os animais tendem a preferir materiais mais tenros e com maior valor nutritivo, como as folhas (ALMEIDA *et al.*, 2019). Nesse viés, a digestibilidade é favorecida por menor proporção de tecidos ricos em lignina, como o caule, já que esse polímero reduz a degradabilidade da fibra no rúmen ao dificultar a ação de microrganismos e enzimas, comprometendo o aproveitamento do alimento (MENEZES *et al.*, 2021).

Já os resultados de CRP indicaram maior sensibilidade da cultivar Bela ao déficit hídrico, com redução significativa sob menores disponibilidades, embora ainda com desempenho superior ao BGF 11-001 em ambas as condições hídricas. Por outro lado, para NR, o BGF 11-001 apresentou maior número de ramificações que a Bela em todos os níveis hídricos. Ainda

assim, a redução na disponibilidade de água diminuiu as ramificações laterais em ambos os genótipos, corroborando os achados de Hussain *et al.* (2022) em *Cicer arietinum* L.

Nosso estudo indicou que, sob déficit hídrico, as variáveis DC, CEC e EP foram significativamente afetadas em ambos os genótipos, evidenciando que a limitação de água comprometeu tanto o crescimento primário quanto o secundário. O crescimento vegetal resulta de processos como divisão, expansão e diferenciação celular, influenciados por fatores genéticos, fisiológicos, ecológicos e morfológicos (HUSSAIN *et al.*, 2022).

Nesse contexto, a deficiência hídrica pode prejudicar o alongamento celular devido à limitação do fluxo de água pelo xilema até as células em expansão, afetando diretamente o crescimento (AWARI *et al.*, 2017; TORRES *et al.*, 2023). Nagaich *et al.* (2014), ao avaliarem características morfológicas de acessos de *S. scabra*, observaram reduções expressivas na estatura de plantas sob estresse hídrico, com decréscimos entre 10% e 70% em relação aos tratamentos irrigados. Resultados semelhantes foram relatados por Hamidi *et al.* (2022) em *Ocimum basilicum* L. sob déficit hídrico moderado (40%) e severo (20%). De forma compatível com este estudo, Zaina e Gai (2020) também registraram redução no diâmetro do coleto de *Fagopyrum esculentum* Moench L. sob limitação hídrica, evidenciando a sensibilidade desse caractere à restrição de água.

Os resultados deste estudo evidenciam avanços relevantes na compreensão das respostas morfofisiológicas das espécies avaliadas quanto às condições de déficit hídrico. A identificação de características adaptativas no acesso BGF 11-001, como maior estabilidade foliar, maior espessura de folhas, superior relação folha/caule e maior número de ramificações, destaca seu potencial para uso em sistemas de produção pecuária em regiões sujeitas à escassez de água. Como principais implicações, os dados reforçam a importância da seleção de materiais genéticos mais resilientes ao estresse hídrico, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias voltadas à produção forrageira no Semiárido. Perspectivas futuras incluem a ampliação do tempo de exposição ao déficit hídrico para melhor avaliação da plasticidade fenotípica, além da análise de parâmetros fisiológicos e bioquímicos complementares que possam elucidar mecanismos de tolerância e auxiliar em programas de melhoramento genético voltados à resiliência climática.

5. CONCLUSÃO

Os genótipos de *Stylosanthes* spp. avaliados apresentaram características morfofuncionais associadas à tolerância ao déficit hídrico.

O acesso BGF 11-001 destacou-se com resultados superiores a cultivar BRS-Bela em relação à oferta de alimento para o pastejo em ambas as condições de cultivo. Contudo, esses materiais genéticos demonstraram tendência à redução na produção de biomassa em condições de menor disponibilidade hídrica.

6. REFERÊNCIAS

- AGHAJANI, S. D.; ALAVIFAZEL, M.; NURMOHAMMADI, G.; ARDAKANI, M. R.; SARAJUGHI, M. Drought responsive biomarkers of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) as affected by biochar, planting arrangement and alternate furrow irrigation. **Plant Physiology Reports**, v. 28, n. 2, p. 247–258, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40502-023-00727-7>. Acesso em: 28 jun. 2025.
- AWARI, V. R.; DALVI, U. S.; LOKHANDE, P. K.; PAWAR, V. Y.; MATE, S. N.; NAIK, R. M.; MHASE, L. B. Physiological and biochemical basis for moisture stress tolerance in chickpea under pot study. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 5, p. 1447–1459, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.145>. Acesso em: 28 jun. 2025.
- ALMEIDA, J. C. C.; MORAIS, L. F. D.; ARAÚJO, R. P.; MORENZ, M. J. F.; ABREU, J. B. R. D.; SOARES, F. A. Dry matter production and chemical composition of tropical forage legumes under different shading levels. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 41, n. 1, p. 1–7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.43526>. Acesso em: 28 jun. 2025.
- BARBOSA, R. I.; FERREIRA, C. A. C. Densidade básica da madeira de um ecossistema de “campina” em Roraima, Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 4, p. 587–591, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672004000400010>. Acesso em: 28 jun. 2025.
- BORCHERT, R. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. **Ecology**, v. 75, n. 5, p. 1437–1449, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1937467>. Acesso em: 28 jun. 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/1871>. Acesso em: 28 jun. 2025.
- BUTZ, P.; RAFFELSBAUER, V.; GRAEFE, S.; PETERS, T.; CUEVA, E.; HOLSCHE, D.; BRAUNING, A. Tree responses to moisture fluctuations in a neotropical dry forest as potential climate change indicators. **Ecological Indicators**, v. 83, p. 559–571, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.021>. Acesso em: 28 jun. 2025.
- CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CAMPOS, J. N. B. The issue of water in the Brazilian semi-arid region. In: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTHUL, M. C. B. (ed.). **Waters of Brazil: strategic analysis**. Springer, 2017. cap. 5, p. 59–71.
- CHIN, A. R. O.; SILLETT, S. C. Phenotypic plasticity of leaves enhances water-stress tolerance and promotes hydraulic conductivity in a tall conifer. **American Journal of Botany**, v. 103, n. 5, p. 796–807, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3732/ajb.1600110>. Acesso em: 28 jun. 2025.
- COOK, B. G.; SCHULTZE-KRAFT, R. Clearing confusion in *Stylosanthes* taxonomy: 1. *S. seabrana* B.L. Maass & ‘t Mannetje. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 8, n. 1, p. 40–47, 2020. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.17148/TGFT\(8\)40-47](http://dx.doi.org/10.17148/TGFT(8)40-47). Acesso em: 28 jun. 2025.

CRUZ, N. T.; PORTO, E. M. V.; RAMOS, B. L. P.; SANTOS, H. P.; SEIXAS, A. A.; SANTOS, A. P. S. Estresse hídrico em plantas forrageiras: uma breve revisão. **Revista Científica Rural**, v. 25, n. 1, p. 1–19, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/246831.25.1-14>. Acesso em: 28 jun. 2025.

FERNANDES, M. F.; CARDOSO, D.; QUEIROZ, L. P. An updated plant checklist of the Brazilian Caatinga seasonally dry forests and woodlands reveals high species richness and endemism. **Journal of Arid Environments**, v. 174, p. 104079, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.104079>. Acesso em: 28 jun. 2025.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portuguese)**. R package version 1.2.2, 2021. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>. Acesso em: 16 jan. 2025.

FREITAS, G. V.; CUNHA, M.; VITÓRIA, A. P. A systematic review of leaf and wood traits in the Neotropics: environmental gradients and functionality. **Trees**, v. 38, n. 3, p. 551–572, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00468-024-02508-7>. Acesso em: 28 jun. 2025.

FOURNIER, L. A. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. **Turrialba**, v. 24, p. 422–423, 1974.

GOMES, L. D.; LIMA, K. L. L.; SILVA, G. B. A.; BORGES, L. C. O.; RIGHI, R. S. M.; DUARTE, C. F. D.; CABRAL, C. H. A.; CABRAL, C. E. A. Tolerância de híbridos de braquiária ao estresse hídrico. **Scientific Electronic Archives**, v. 16, n. 10, p. 1–7, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.36560/161020231792>. Acesso em: 28 jun. 2025.

GONZALEZ, L. M.; LOPEZ, R. C.; FONSECA, I.; RAMIREZ, R. Growth, stomatal frequency, DM yield and accumulation of ions in nine species of grassland legumes grown under saline conditions. **Pastos y Forrajes**, v. 23, p. 299–308, 2000.

GUO, B.; ARNDT, S. K.; MILLER, R. E.; SZOTA, C.; FARRELL, C. How does leaf succulence relate to plant drought resistance in woody shrubs? **Tree Physiology**, v. 43, n. 9, p. 1501–1514, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpad066>. Acesso em: 28 jun. 2025.

HAMIDI, M.; MOGHADAM, H. T.; NASRI, M.; KASRAIE, P.; LARIJANI, H. The effect of ascorbic acid and bio fertilizers on basil under drought stress. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, n. 1, p. 1–14, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.262459>. Acesso em: 28 jun. 2025.

HUSSAIN, N.; YASMEEN, A.; YOUSAF, M. M. Antioxidant status and their enhancement strategies for water stress tolerance in chickpea. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, p. 1–10, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.237809>. Acesso em: 28 jun. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Novo Censo Agropecuário mostra crescimento de efetivo de caprinos e ovinos no Nordeste., 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cim-inteligencia-e-mercado-de-caprinos-e-ovinos/busca-de-noticias/-/noticia/36365362/novo-censo-agropecuário-mostra-crescimento-de-efetivo-de-caprinos-e-ovinos-no-nordeste>. Acesso em: 16 jan. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. O Semiárido Brasileiro. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiarido-brasileiro>. 16 jan. 2025.

ILIC, J.; BOLAND, D.; MCDONALD, M.; DOWNES, G.; BLANKEMORE, P. **Woody density Phase 1**. National Carbon Accounting System Technical Report, n. 18, 218 p., 2000.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. **factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses**. R package version 1.0.7, 2020. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>. Acesso em: 16 jan. 2025.

LI, X. E.; ZHAO, X.; TSUJII, Y.; MA, Y.; ZHANG, R.; QIAN, C.; WANG, Z.; GENG, F.; JIN, S. Links between leaf anatomy and leaf mass per area of herbaceous species across slope aspects in an eastern Tibetan subalpine meadow. **Ecology and Evolution**, v. 14, n. 6, p. 1–11, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ece3.8973>. Acesso em: 28 jun. 2025.

LI, M.; LIU, Y.; PAN, Y.; ZHANG, X.; XU, K.; QU, Y.; LI, H. Quantifying high-temperature and drought stress effects on soybean growth and yield in the Western Guanzhong Plain. **Atmosphere**, v. 15, n. 4, p. 1–15, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/atmos15040392>. Acesso em: 28 jun. 2025.

LIU, P.; HUANG, R.; HU, X.; JIA, Y.; LI, J.; LUO, J.; LIU, Q.; LUO, L.; LIU, G.; CHEN, Z. Physiological responses and proteomic changes reveal insights into *Stylosanthes* response to manganese toxicity. **BMC Plant Biology**, v. 19, n. 214, p. 202–223, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s14870-019-1822-y>. Acesso em: 28 jun. 2025.

LIU, H.; LI, X.; PENG, B.; WU, C.; YANG, Y.; ZHANG, J. Low wood density increases vulnerability to cavitation and mortality under drought stress in diverse tree species. **New Phytologist**, v. 226, n. 1, p. 147–159, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.17117>. Acesso em: 28 jun. 2025.

MEDRANO, H.; BOTA, J.; CIFRE, J.; FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; GULÍAS, J. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. **Investigaciones Geográficas**, n. 43, p. 63–84, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.14198/INGEO2007.43.04>. Acesso em: 28 jun. 2025.

MENEZES, R. A. de; GONÇALVES, L. C.; PIRES, F. P. A. de A.; MENEZES, G. L.; OLIVEIRA, A. F. de. Lignina: caracterização, efeito e manipulação na nutrição de ruminantes. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 18, n. 4, p. 8961–8970, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/67353>. Acesso em: 28 jun. 2025.

MILES, L.; NEWTON, A. C.; DEFRIES, R. S.; RAVILIOUS, C.; MAY, I.; BLYTH, S.; KAPO, V.; GORDON, J. E. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 3, p. 491–505, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1465-2699.2005.01424.x>. Acesso em: 28 jun. 2025.

NAGAICH, D.; TIWARI, K. K.; SRIVASTVA, N.; CHANDRA, A. Assessment of genetic diversity and morpho-physiological traits related to drought tolerance in *Stylosanthes scabra*. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, p. 3147–3146, 2014. Disponível em: <http://10.1007/s11738-014-1445-3>. Acesso em: 28 jun. 2025.

NEVES, S. P. S.; SANTOS, M. G. M.; VITÓRIA, A. P.; ROSSATTO, D. R.; MIRANDA, L. D. A. P.; FUNCH, L. S. The roles of functional traits in canopy maintenance along a

savanna/seasonally dry tropical forest gradient in northeastern Brazil. **Flora**, v. 292, p. 152090, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2022.152090>. Acesso em: 28 jun. 2025.

NIHAD, K.; BERWAL, M. K.; HEBBAR, K. B.; BHAT, R.; HARIS, A. A.; RAMESH, S. V. Photochemical and biochemical responses of heliconia (*Heliconia stricta* “Iris”) to different light intensities in a humid coastal environment. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 60, p. 799–808, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s14580-019-00173-1>. Acesso em: 28 jun. 2025.

NUNES, K. G.; COSTA, R. N. T.; CALVACANTE, I. N.; GONDIM, R. S.; LIMA, S. C. R. V.; MATEOS, L. Groundwater resources for agricultural purposes in the Brazilian semi-arid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 14, p. 915–923, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n14p915-923>. Acesso em: 28 jun. 2025.

OO, A. T.; VAN HUYLENBROECK, G.; SPEELMAN, S. Measuring the economic impact of climate change on crop production in the dry zone of Myanmar: A Ricardian approach. **Climate**, v. 8, n. 1, p. 1–15, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cli8010009>. Acesso em: 28 jun. 2025.

PENNINGTON, R. T.; PRADO, D. E.; PENDRY, C. A. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. **Journal of Biogeography**, v. 27, n. 2, p. 261–273, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1465-2699.2000.00397.x>. Acesso em: 28 jun. 2025.

PEREIRA, V. A. M.; SANTOS, V. O.; NEVES, S. P. S.; VILLA, P. M.; ROSSATTO, D. R.; MIRANDA, L. A. P.; FUNCH, L. S. The role of functional traits on evergreen canopies maintenance of *Hancornia speciosa* (Apocynaceae) in Capitinga sandy areas. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. 1–6, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.286145>. Acesso em: 28 jun. 2025.

PODDAR, S.; CHAKRABORTI, S.; PODDAR, S.; NATH, S. Comprehensive review on the consequences and omics approaches for boosting wheat production under drought stress. **International Journal of Advanced Multidisciplinary Research**, v. 10, n. 1, p. 149–162, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22192/ijamr.2023.10.01.014>. Acesso em: 28 jun. 2025.

QUEIROZ, L. P.; CARDOSO, D.; FERNANDES, M. F.; MORO, M. F. **Diversity and evolution of flowering plants of the Caatinga Domain**. In: SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (eds.). *Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America*. Cham: Springer International Publishing AG, 2017. p. 23–63. Acesso em: 28 jun. 2025.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 16 jan. 2025.

REN, Y.; ZHANG, Y.; GUO, S.; WANG, B.; WANG, S.; GAO, W. Pipe cavitation parameters reveal bubble embolism dynamics in maize xylem vessels across water potential gradients. **Agriculture**, v. 14, n. 10, p. 1–17, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture14101867>. Acesso em: 29 jun. 2025.

SALLAM, A.; ALQUDAH, A. M.; DAWOOD, M. F. A.; BAENZIGER, P. S.; BÖRNER, A. Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research. **Molecular Sciences**, v. 20, n. 14, p. 1–36, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/14/3147>. Acesso em: 29 jun. 2025.

SANTOS, M. G. M.; SOUSA, A. S.; NEVES, S. P. S.; ROSSATTO, D. R.; MIRANDA, L. D. A. P.; FUNCH, L. S. Drought responses and phenotypic plasticity of *Maprounea guianensis* populations in humid and dry tropical forests. **Rodriguésia**, v. 72, p. 1–14, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-7860202172077>. Acesso em: 29 jun. 2025.

SANTOS JÚNIOR, R. A. S.; PELACANI, C. R.; SANTOS, V. O.; SILVA, A. A.; FERNANDES, S. M.; GISSI, D. S.; OLIVEIRA, R. S. Banco de Germoplasma de Forrageiras da Universidade Estadual de Feira de Santana (BGF-UEFS). **Revista RG News**, v. 8, n. 2, p. 5–15, 2022. Acesso em: 29 jun. 2025.

SILVA, D. C.; MELO, A. S.; MELO, Y. L.; ANDRADE, W. L.; LIMA, L. M.; SANTOS, A. R. Silicon foliar application attenuates the effects of water suppression on cowpea cultivars. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, p. 1–10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1414-7054201943023019>. Acesso em: 29 jun. 2025.

SUGIURA, D.; TERASHIMA, I.; EVANS, J. R. A decrease in mesophyll conductance by cell-wall thickening contributes to photosynthetic downregulation. **Plant Physiology**, v. 183, n. 4, p. 1600–1611, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.20.00328>. Acesso em: 29 jun. 2025.

SOUZA, R.; HARTZELL, S.; FENG, X.; DANTAS, A. C.; SOUZA, E. S.; MENEZES, R. S. C.; PORPORATO, A. Optimal management of cattle grazing in a seasonally dry tropical forest ecosystem under rainfall fluctuations. **Journal of Hydrology**, v. 588, p. 1–39, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.145102>. Acesso em: 29 jun. 2025.

TAVAZOH, M.; HABIBI, D.; GOLZARDI, F.; ILKAEI, M. N.; PAKNEJAD, F. Effect of drought stress on morpho-physiological characteristics, nutritive value, and water-use efficiency of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] varieties under various irrigation systems. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. 1–14, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.286141>. Acesso em: 29 jun. 2025.

TERASHIMA, I.; HANBA, Y. T.; THOLEN, D.; NIINEMETS, Ü. Leaf functional anatomy in relation to photosynthesis. **Plant Physiology**, v. 155, n. 1, p. 108–116, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.110.165472>. Acesso em: 29 jun. 2025.

TORRES, R. A. F.; LIMA, G. S.; PAIVA, F. J. S.; SOARES, L. A. A.; SILVA, F. A.; SILVA, L. A.; OLIVEIRA, V. K. N.; MENDONÇA, A. J. T.; ROQUE, I. A.; SILVA, S. T. A. Physiology and production of sugar-apple under water stress and application of proline. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, e273404, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.273404>. Acesso em: 29 jun. 2025.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A.; FRAZÃO, F. J. L.; MATOS, J. L. M. Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. **Acta Amazonica**, v. 20, p. 307–309, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-43921990201419>. Acesso em: 29 jun. 2025.

VILELA, E. F.; CALLEGARO, G. M.; FERNANDES, G. W. **Biomass e agricultura: oportunidades e desafios**. 1. ed. Vertente edições, 2019. 304 p.

VIOLLE, C.; NAVAS, M.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C.; HUMMEL, I.; GARNIER, E. Let the concept of trait be functional! *Oikos*, v. 116, n. 5, p. 882–892, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.0030-1499.2007.15559.x>. Acesso em: 29 jun. 2025.

WANG, J.; LI, C.; LI, L.; REYNOLDS, M.; MAO, X.; JING, R. Exploitation of drought tolerance-related genes for crop improvement. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 22, n. 19, p. 1–15, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms221910265>. Acesso em: 29 jun. 2025.

WICKHAM, H.; CHANG, W.; HENRY, L.; PEDERSEN, T. L.; TAKAHASHI, K.; WILKE, C.; WOO, K.; YUTANI, H.; D'AGOSTINO MCGAW, A. **ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics**. R package version 3.4.0, 2022. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ggplot2>. Acesso em: 16 jan. 2025.

WITKOWSKI, E. T. F.; LAMONT, B. B. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. *Oecologia*, v. 88, p. 486–493, 1991. Disponível em: <http://10.1007/BF00317710>. Acesso em: 29 jun. 2025.

ZAINA, I. C.; GAI, V. F. Características morfológicas e qualidade do trigo mourisco sob estresse hídrico. *Revista Cultivando o Saber*, v. 13, n. 2, p. 27–36, 2020. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/994>. Acesso em: 29 jun. 2025.

CAPÍTULO 2

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE *Stylosanthes* spp. EM CONDIÇÕES DE DÉFICIT HÍDRICO

RESUMO

Objetivou-se avaliar as respostas fisiológicas e bioquímicas de *Stylosanthes* spp. sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica hídrico (60%, 40% e 20% da capacidade do vaso). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3×2, utilizando o acesso BGF 11-001 e a cultivar BRS-Bela. Foram analisadas variáveis fisiológicas (potencial hídrico foliar, pigmentos fotossintéticos e eficiência no uso da água), bioquímicas (açúcares solúveis totais, açúcares redutores, proteínas solúveis totais, aminoácidos livres e prolina) e atividade enzimática (superóxido dismutase e guaiacol peroxidase). O acesso BGF 11-001 destacou-se pela estabilidade fisiológica, mantendo elevados teores de clorofilas mesmo sob déficit severo, além do acúmulo de aminoácidos e prolina e aumento na atividade antioxidante, indicando um mecanismo de tolerância baseado na proteção celular e ajuste osmótico. Em contraste, a cultivar Bela apresentou maior sensibilidade, com redução significativa dos pigmentos fotossintéticos e maior acúmulo de solutos compatíveis, como proteínas solúveis totais, açúcares redutores, aminoácidos e prolina, porém sem ativação significativa das enzimas antioxidantes. Os dados evidenciam que os genótipos adotam estratégias distintas de enfrentamento ao estresse hídrico, sendo o BGF 11-001 mais eficiente na ativação de mecanismos de defesa. Conclui-se que o acesso BGF 11-001 possui potencial agrônomo para cultivo em regiões sujeitas à seca, destacando-se como material promissor para programas de melhoramento voltados à tolerância de forrageiras ao déficit hídrico.

Palavras-chave: Leguminosa forrageira; Fisiologia do estresse, Estilosantes; Tolerância, Semiárido.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the physiological and biochemical responses of *Stylosanthes* spp. under different levels of water availability (60%, 40%, and 20% of pot capacity). The experiment was conducted in a completely randomized design, in a 3×2 factorial arrangement, using the accession BGF 11-001 and the cultivar BRS-Bela. Physiological variables (leaf water potential, photosynthetic pigments, and water use efficiency), biochemical parameters (total soluble sugars, reducing sugars, total soluble proteins, free amino acids, and proline), and enzymatic activity (superoxide dismutase and guaiacol peroxidase) were analyzed. The accession BGF 11-001 stood out for its physiological stability, maintaining high chlorophyll levels even under severe water deficit, in addition to accumulating amino acids and proline and increasing antioxidant activity—indicating a tolerance mechanism based on cellular protection and osmotic adjustment. In contrast, the cultivar Bela showed greater sensitivity, with a significant reduction in photosynthetic pigments and increased accumulation of compatible solutes such as total soluble proteins, reducing sugars, amino acids, and proline, but without significant activation of antioxidant enzymes. The data indicate that the genotypes adopt distinct strategies to cope with water stress, with BGF 11-001 being more efficient in activating defense mechanisms. It is concluded that the accession BGF 11-001 has agronomic potential for cultivation in drought-prone regions, standing out as a promising genetic resource for breeding programs aimed at improving drought tolerance in forage legumes.

Keywords: Forage legume; Stress physiology; *Estilosantes*; Plant Genetic Resources; Semiarid.

1 INTRODUÇÃO

O Semiárido Brasileiro (SAB) corresponde a aproximadamente 12% do território nacional, concentrando-se majoritariamente na região Nordeste (IBGE, 2022). Essa região é caracterizada por períodos recorrentes de balanço hídrico negativo, decorrentes da distribuição irregular das chuvas ao longo do ano (ANJOS *et al.*, 2022; NUNES *et al.*, 2022). Diante dessas condições adversas e da limitada disponibilidade de genótipos adaptados à seca, a atividade agropecuária na região enfrenta sérios impactos, comprometendo o desenvolvimento socioeconômico local.

A resposta das plantas ao déficit hídrico é um processo complexo e altamente dependente da espécie e do genótipo (BARTELS; SUNKARS, 2005), tendo em vista que a redução na disponibilidade de água pode desencadear alterações fisiológicas e bioquímicas que possibilitam à tolerância a essa condição adversa (TAIZ *et al.*, 2017; TÁTRAJ *et al.*, 2016; BHATLA; LAL, 2018). Dentre essas alterações, destacam-se a diminuição do potencial hídrico foliar (PODDAR *et al.*, 2023), a redução da atividade fotossintética, o acúmulo de solutos compatíveis e o aumento da atividade de mecanismos antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos. Esses mecanismos atuam na mitigação do estresse oxidativo — desencadeado por estresses bióticos ou abióticos —, ao reduzir a concentração de espécies reativas de oxigênio (EROS) nos tecidos vegetais (BARTELS; SUNKARS, 2005; TAIZ *et al.*, 2017; BHATLA; LAL, 2018; KERBAUY, 2019; WANG *et al.*, 2021; CRUZ *et al.*, 2023).

O gênero *Stylosanthes* Sw., pertencente à família Fabaceae Lindl., é composto por espécies reconhecidas como Recursos Genéticos Vegetais (RGV) em razão da sua importância na forragicultura (COOK; SCHULTZE-KRAFT, 2020), sendo amplamente utilizadas na formação de pastagens de alta qualidade. Esse destaque decorre, em grande parte, à sua composição nutricional, com teor proteico variando entre 12% e 20% (GONZALEZ *et al.*, 2000). Além disso, a tolerância ao déficit hídrico apresentada por diversas espécies do gênero (GONZALEZ *et al.*, 2000; LIU *et al.*, 2019; COOK; SCHULTZE-KRAFT, 2020; HABERMANN *et al.*, 2021) é um atributo de grande relevância para a seleção de genótipos adaptados a ambientes com adversidades climáticas, como o SAB.

O Banco de Germoplasma de Forrageiras da Universidade Estadual de Feira de Santana (BGF-UEFS) conserva parte da variabilidade genética do gênero *Stylosanthes* presente no SAB, oriunda de coletas realizadas em expedições pelo semiárido baiano (SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2022). Trabalhos como o de Oliveira *et al.* (2016) já evidenciaram variabilidade morfológica entre os acessos mantidos nesse banco. Contudo, ainda são necessários estudos mais aprofundados que elucidem os mecanismos fisiológicos e bioquímicos associados à tolerância

ao déficit hídrico nesses genótipos. Investigações dessa natureza são essenciais para o desenvolvimento de cultivares forrageiras adaptadas a regiões áridas e semiáridas, onde a disponibilidade hídrica é frequentemente limitada.

Diante da necessidade de genótipos forrageiros adaptados às condições climáticas do SAB e da relevância de se conhecer mais detalhadamente o desempenho dos acessos armazenados no BGF-UEFS, o presente trabalho buscou avaliar as respostas bioquímicas e fisiológicas de *Stylosanthes* spp. sob condições de déficit hídrico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de execução e obtenção do material vegetal

O experimento foi conduzido em telado na Unidade Experimental Horto Florestal da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), localizados nas coordenadas: 12°16'7,2"S e 38°56'21,6"W e altitude de 258 m.

Foi empregado o delineamento inteiramente ao acaso (DIC), em esquema fatorial 3x2, composto por três regimes hídricos e dois genótipos. Ambos os fatores foram considerados qualitativos, dado que as disponibilidades hídricas de 20%, 40% e 60% correspondem a déficit hídrico severo, déficit hídrico moderado e ausência de déficit hídrico, respectivamente.

Duas espécies foram utilizadas para a condução experimental, sendo uma delas *Stylosanthes viscosa* (L.) Sw., acesso BGF 11-001 – coletado nas coordenadas de 11°36'20"S e 39°09'52,1"W (Conceição do Coité, BA) (Figura 1). O segundo material genético utilizado foi a cultivar BRS-Bela (*Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw.), desenvolvida através de parcerias entre as unidades da Embrapa Gado de Corte e Embrapa Cerrados.

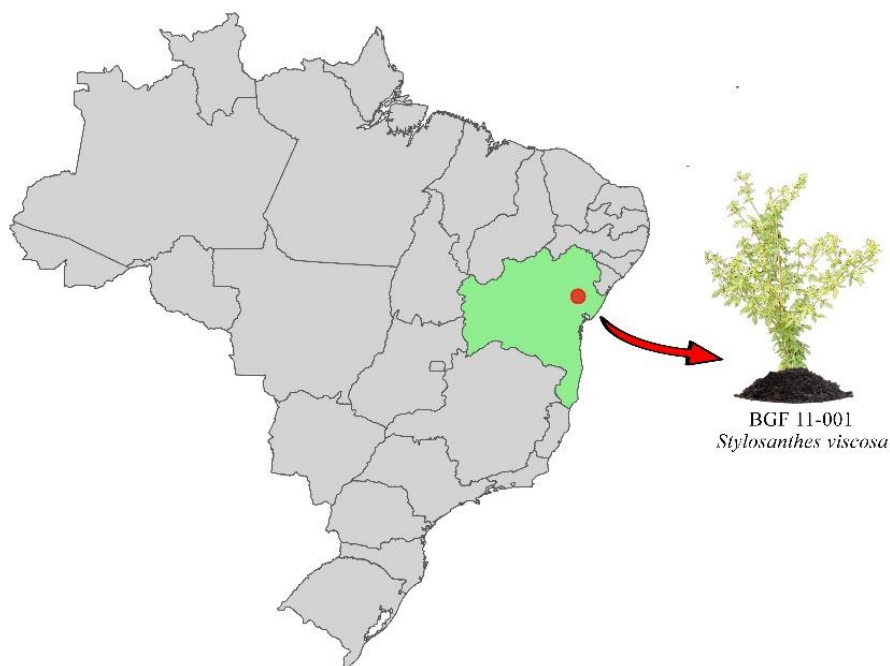


Figura 1. Localização geográfica do acesso BGF 11-001 (*Stylosanthes viscosa*).

2.2 Coleta do substrato e determinação da capacidade máxima de retenção de água/capacidade de vaso

2.2.1 Coleta do substrato e adubação

O substrato utilizado foi proveniente do solo da Unidade Experimental Horto Florestal, coletado na camada de 0-20 cm. Para a caracterização de seus atributos químicos e físicos, amostras simples do solo peneirado foram coletadas e, após homogeneização, compuseram uma amostra composta que foi enviada para análise laboratorial. As seguintes características foram obtidas através da análise: pH= 6,1 em H₂O; P= 32,0 mg/dm³; K= 140,0 mg/dm³; S= 11,0 mg/dm³; Fe= 57,0 mg/dm³; Zn= 6,2 mg/dm³; Cu= 0,8 mg/dm³; Mn= 13,9 mg/dm³; B= 0,27 mg/dm³; Ca= 2,6 cmol c/dm³; Mg= 0,7 cmol c/dm³; H+Al= 1,8 cmol c/dm³; M.O=2,95 dag/kg, V= 66%. Já os componentes físicos (frações granulométricas) correspondem a: areia= 660 g kg⁻¹; silte= 85 g kg⁻¹; argila= 288 g kg⁻¹, sendo sua classificação textural de franco argiloso arenoso.

De acordo com as recomendações do Manual de Adubação e Calagem do Estado de Minas Gerais (5º aproximação), não houve necessidade de calagem. Além disso, para adequar os parâmetros nutricionais à necessidade da cultura, 0,7g de super simples foi aplicado em cada unidade experimental para atender a demanda de fósforo.

2.2.2 Determinação da capacidade de vaso

A determinação da capacidade de vaso foi realizada no Laboratório de Germinação (LAGER), utilizando vasos com capacidade de 8 litros. Foram colocados 8 kg de terra fina, seca ao ar, em três vasos, que foram posteriormente posicionados em bandejas contendo água até atingir dois terços do volume máximo. Dessa forma, o substrato foi saturado por capilaridade, garantindo que todos os poros ficassem preenchidos com água. Em seguida, os vasos foram retirados das bandejas, cobertos com plástico PVC e colocados sobre um suporte para permitir a drenagem do excesso de água. A pesagem dos vasos foi realizada após 24, 48 e 72 horas de drenagem, com o auxílio de uma balança eletrônica (precisão de 0,02 g). Após a obtenção do peso constante, foi calculada a capacidade máxima de retenção de água do solo. A partir desse valor, determinaram-se os níveis de 60%, 40% e 20% da capacidade de retenção hídrica, conforme proposto por Bonfim-Silva et al. (2011).

2.3 Condução experimental

2.3.1 Tratamentos pré-germinativo e germinação das sementes

Devido à presença de dormência tegumentar, o acesso BGF 11-001 foi submetido ao processo de escarificação mecânica com o auxílio de lixa (n.º 150), realizada de forma manual. Após essa etapa, tanto as sementes do acesso BGF 11-001 quanto as da cv. Bela foram desinfestadas em hipoclorito de sódio (0,5%) por um período de 10 minutos e posteriormente foram lavadas em água destilada para a retirada do excesso da solução. As sementes foram colocadas em placas de Petri contendo duas folhas de papel germitest ao fundo, e adicionadas volumes de água correspondente a 2,5 vezes o peso do papel. Em seguida, os conjuntos foram levados para câmara de germinação do tipo B.O.D. (*Biochemical oxygen demand*) com ajuste de temperatura a 30 °C e fotoperíodo de 12 horas, onde permaneceram por um período de 3 dias. As sementes que apresentaram emissão da radícula foram transferidas para os respectivos vasos utilizados na condução experimental. Em cada um dos vasos foi semeado um quantitativo de 5 sementes.

2.3.2 Corte de uniformização, aplicação e manutenção da disponibilidade hídrica

Durante os 55 dias iniciais de cultivo, as plantas foram mantidas à capacidade de vaso de 60%, com a finalidade de se realizar a aclimação, com irrigação sendo realizada sempre que necessário. Após o período mencionado, houve o desbaste, mantendo apenas o indivíduo que se mostrou mais vigoroso dentro de cada unidade experimental. Dessa forma, foi procedido o corte de uniformização a uma altura de 15 cm.

Após a etapa mencionada, as plantas foram mantidas em 60% da capacidade de retenção de água por um período adicional de 50 dias, antes da imposição dos tratamentos hídricos. Em

seguida, os níveis de disponibilidade hídrica foram ajustados para 60% (sem déficit hídrico), 40% (déficit hídrico moderado) e 20% (déficit hídrico severo). O cultivo foi encerrado após 55 dias sob esses diferentes regimes hídricos. Ademais, os níveis de disponibilidade hídrica foram escolhidos com base em testes realizados previamente (dados não publicados), tendo em vista que em disponibilidades hídricas maiores que 60% ocasionaram nas plantas sintomas característicos de excesso de água.

2.3.3 Tratos culturais

Observações diárias foram realizadas para identificar presença de plantas daninhas nas parcelas experimentais. Nesse sentido, com propósito de evitar a competição por luz, nutrientes e água, e por ventura amenizar interferências ambientais durante a execução do experimento, realizou-se a retirada manual das plantas invasoras.

2.3.4 Obtenção das variáveis climáticas

Os dados do microclima foram obtidos através da utilização de um termo-higrômetro posicionado no interior do telado. Foram procedidas observações diárias e os dados referentes a tais observações encontram-se apresentados na Figura 2.

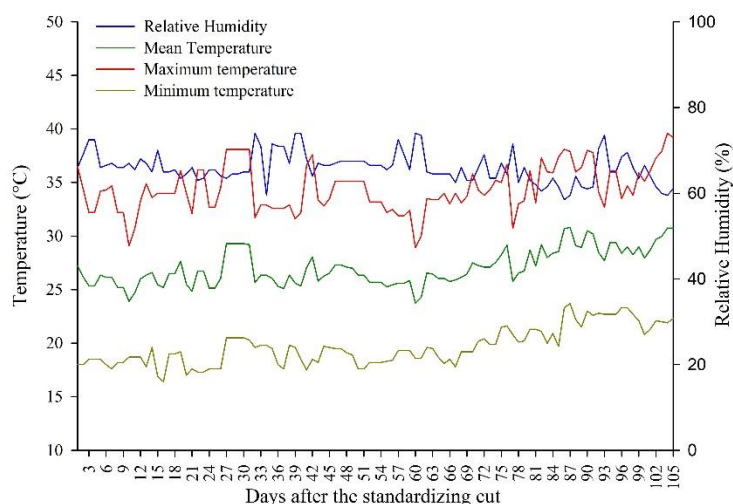


Figura 2. Microclima formado no interior do telado.

2.2.4 Determinações experimentais

2.4.1 Potencial hídrico

As determinações do potencial hídrico foliar (ψ_w , -MPa) foram realizadas por meio da câmara de Scholander (PMS 1000, PMS Instrument, Corvallis, EUA). Para isso, ramos foram coletados no terço médio de três indivíduos por tratamento durante o período da antemanhã, e então a análise foi então realizada com auxílio desse instrumento.

2.4.2 Eficiência do uso da água

A eficiência do uso da água aplicada (EUA) foi determinada com base na razão entre a produtividade e a quantidade de água aplicada durante o período de cultivo, sendo os resultados expressos em $\text{g ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$.

2.4.3 Determinação do índice de clorofila

As leituras do índice de clorofila foram realizadas por meio de um medidor portátil de clorofila (ChlorofiLOG Falker), utilizando cinco plantas de cada tratamento. O índice de clorofila a, b e total foi obtido a partir de três folhas completamente expandidas, localizadas no terço médio dos indivíduos, sendo calculada a média para cada unidade experimental.

2.4.4 Preparação dos extratos

O Extrato 1 foi obtido a partir de 500 mg de massa fresca de folhas coletadas no terço médio de 5 indivíduos. A maceração foi realizada, separadamente para cada amostra, em gral de porcelana com 10 mL de tampão fosfato (100 mM, pH 7,0). O conteúdo extraído foi centrifugado a 11.000 rpm, a 4 °C, por 15 minutos, e, por fim, o sobrenadante foi coletado e armazenado em frízer.

O Extrato 2 foi obtido a partir de 500 mg de massa fresca de folhas coletadas no terço médio de cinco indivíduos. A maceração foi realizada em gral de porcelana, separadamente para cada amostra, com a adição de nitrogênio líquido. Posteriormente, foram adicionados 10 mL de solução tampão, composta por 100 mM de tampão fosfato (pH 7,0) e 10 mM de EDTA dissódico. Em seguida o conteúdo foi centrifugado a 1.500 rpm a 4 °C por 15 minutos, e então o sobrenadante foi coletado e armazenado em nitrogênio líquido até a realização da leitura.

O Extrato 3 foi preparado a partir de 200 mg de massa fresca de folhas coletadas no terço médio de cinco indivíduos. A maceração foi realizada em gral de porcelana, separadamente para cada amostra, com a adição de 8 mL do meio de extração, composto por ácido sulfossalicílico a 3%. Em seguida, o material foi centrifugado a 11.000 rpm por 15 minutos, e o sobrenadante foi coletado e armazenado em frízer.

2.4.5 Açúcares solúveis totais, açúcares redutores e sacarose.

O conteúdo de açúcares solúveis totais (AST, mg g^{-1} MF) foi determinado de acordo com a metodologia de Yemm e Willis (1954). Em triplicata, foram adicionados 0,1 mL do Extrato 1 e 2 mL do reagente Antrona em tubos de ensaio, com posterior agitação do conteúdo antes de serem levados ao banho-maria a 100 °C por 3 minutos. Após esse procedimento, aguardou-se

o resfriamento da solução, e então a leitura foi realizada em espectrofotômetro a um comprimento de onda de 620 nm.

O conteúdo de açúcares redutores (AR, mg g⁻¹ MF) foi determinado pelo método do dinitrossalicílico (DNS), conforme proposto por Miller (1959). Para isso, foram adicionados, em triplicata, 0,4 mL do Extrato 1, 0,35 mL de água destilada e 0,5 mL do reagente DNS em tubos de ensaio. Após homogeneização, o material foi levado ao banho-maria a 100 °C por 5 minutos. Em seguida, o volume foi completado para 5 mL com água destilada, e a leitura foi realizada em espectrofotômetro no comprimento de onda de 540 nm.

Para a quantificação das concentrações de sacarose (SAC, mg g⁻¹ MF), a diferença entre os teores de açúcares solúveis totais e açúcares redutores foi calculada utilizando o fator 0,95 (MARTIM, 2003)

2.4.6 Proteínas solúveis totais

A determinação do conteúdo de proteínas solúveis totais foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Bradford (1976). Em triplicata, foram adicionados 0,1 mL do Extrato 1 e 5 mL do reagente Coomassie Blue G-250. Após agitação, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a um comprimento de onda de 595 nm.

2.4.7 Aminoácidos

O conteúdo de aminoácidos foi determinado de acordo com a metodologia de Yemm e Cocking (1955). Em triplicata, foram adicionados em tubos de ensaio 0,2 mL do Extrato 1, 0,8 mL de água, tampão citrato de sódio (0,2 M, pH 5,0), ninhidrina (5%) e KCN (2%) em metil celosolve. Em seguida, o conteúdo foi agitado e levado ao banho-maria a 100 °C por 20 minutos. Após esse período, adicionaram-se 1,7 mL de etanol (60%), a solução foi novamente agitada e, após o resfriamento, a leitura foi realizada em espectrofotômetro a um comprimento de onda de 570 nm.

2.4.8 Prolina

A quantificação de prolina foi realizada conforme a metodologia descrita por Bates *et al.* (1937). Em tubos de ensaio, foram pipetados 0,8 mL do Extrato 3, 0,2 mL de água destilada, 2 mL da solução reativa composta por ninhidrina, ácido fosfórico (6 M) e ácido acético glacial, além de 2 mL de ácido acético. Em seguida, os tubos foram incubados em banho-maria por 1 hora. Após esse período, foram imediatamente resfriados em banho de gelo. Posteriormente, adicionaram-se 4 mL de tolueno a cada tubo, procedendo-se à agitação para promover a

separação das fases. A fase superior (tolueno) foi então transferida para cubetas de quartzo, e a absorbância foi determinada em espectrofotômetro a 520 nm.

2.4.9 Atividade da Super Óxido Dismutase

A atividade específica da superóxido dismutase (SOD) foi determinada como proposto Giannopolitis e Ries (1977), em espectrofotômetro a 560 nm, pela diferença entre as amostras iluminadas e não iluminadas. A reação foi composta por tampão fosfato (100 mM, pH 7,8), metionina (70 mM), EDTA (0,1 Mm), água destilada, cloreto de tetrazólionitroazul (NBT) (75 μ M), e riboflavina e (2 μ M), adicionada em cubeta de quartzo com o Extrato 2. A reação aconteceu sob fonte luminosa fluorescente de 40 W por um período de 12 minutos. De forma simultânea, outras cubetas contendo o conteúdo reacional foram mantidas em ambiente protegido de luz e foi procedida a realização da leitura de ambos no comprimento de onda supracitado.

2.4.10 Atividade da guaiacol peroxidase

A atividade específica da guaiacol peroxidase (POD) foi determinada por espectrofotometria, com base no aumento da absorbância a 470 nm ao longo de 180 segundos, com leituras realizadas a cada 15 segundos. A reação ocorreu em uma solução contendo tampão fosfato 200 mM (pH 6,5), guaiacol (100 mM), H_2O_2 (0,35%) e 100 μ L do Extrato 2. O cálculo da atividade enzimática foi realizado utilizando o coeficiente de extinção molar do peróxido de hidrogênio, estabelecido em $26,6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Uma unidade de POD foi definida como a quantidade de enzima necessária para oxidar 1 nmol de guaiacol por minuto, conforme o método descrito por Nakano e Asada (1981), com adaptações de García-Limones (2002).

2.5 Análise de dados

Inicialmente foram realizados testes para verificar as pressuposições necessárias à análise de variância (ANOVA). O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para avaliar a normalidade dos resíduos, enquanto o teste de Bartlett verificou a homoscedasticidade das variâncias, realizados por meio das funções “shapiro.test” e “bartlett”, respectivamente, utilizando o pacote ExpDes.pt. Devido ao não atendimento dos pressupostos supracitados para a SOD e POD, os dados foram transformados para $\arcsin \sqrt{x/100}$.

Atendidas as pressuposições, a ANOVA foi conduzida com a função “fat2.dic” do mesmo pacote supracitado, adotando-se um nível de significância de $p \leq 0,05$. Quando houve interação significativa entre os fatores, os desdobramentos foram realizados pelo teste de comparações

múltiplas de Tukey ($p \leq 0,05$), também utilizando a função “fat2.dic” (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2021).

Todas as análises foram realizadas usando o software estatístico R (versão 2024.12.0+467) (R CORE TEAM, 2024).

3 RESULTADOS

3.1 Avaliações fisiológicas

Interação entre os fatores foi significativa para CLa ($p \leq 0,01$), $CLtot$ ($p \leq 0,05$) e Ψ_w ($p \leq 0,05$) (Tabela 1), indicando que a resposta dos genótipos às condições hídricas variou em função dos níveis desses fatores. O fator genótipo apresentou efeito significativo sobre a variável CLb ($p \leq 0,01$), evidenciando variação na concentração desse pigmento entre os genótipos avaliados. Por sua vez, a disponibilidade hídrica exerceu efeito significativo sobre as variáveis EUA ($p \leq 0,05$) e CLb ($p \leq 0,01$), salientando que esse fator desempenha um papel relevante no aproveitamento da água diante de diferentes condições de fornecimento desse recurso.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para resposta fisiológica de genótipos de *Stylosanthes* spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.

Fonte de variação	EUA	Ψ_w	CLa	CLb	$CLtot$
Genótipo	1,68 ^{ns}	32,81 ^{**}	94,12 ^{**}	88,03 ^{**}	151,07 ^{**}
Disponibilidade Hídrica	4,06 [*]	49,93 ^{**}	8,33 ^{**}	18,63 ^{**}	17,15 ^{**}
Interação	0,35 ^{ns}	5,47 [*]	7,81 ^{**}	0,16 ^{ns}	3,72 [*]
CV(%)	20,7	10,74	5,12	12,56	5,24

CV: Coeficiente de Variação; **, *, ^{ns}: significativo (p -valor $\leq 0,01$), (p -valor $\leq 0,05$) e não significativo pelo teste F, respectivamente. EUA: Eficiência no Uso da Água; Ψ_w : Potencial Hídrico; CLa : Clorofila a; CLb : Clorofila b; $CLtot$: Clorofila total.

O desdobramento da interação para o Ψ_w (Figura 3A) evidenciou variação entre os genótipos apenas na capacidade de vaso de 20%. Nessa condição, a cultivar Bela manteve um potencial hídrico significativamente mais elevado em comparação com o BGF 11-001. Ao analisar o fator disponibilidade hídrica dentro de cada material genético, observa-se que o BGF 11-001 apresentou médias semelhantes para os níveis de 40% e 60%, ambos significativamente diferentes do nível de 20%. Já a cultivar Bela apresentou diferença significativa apenas entre os níveis de 20% e 60%, sendo que o nível de 40% foi estatisticamente semelhante a ambos.

Os teores de CLa (Figura 3B) e de $CLtot$ (Figura 3C) apresentaram desempenho semelhante diante da interação entre os fatores, uma vez que para ambas as variáveis o BGF 11-001 exibiu valores superiores nas duas condições de disponibilidade hídrica. Além disso, ao avaliar o desempenho dos genótipos em função das disponibilidades hídricas, observou-se que

a cultivar Bela mostrou decréscimo significativo sob déficit severo (20%), em comparação aos demais níveis. Por outro lado, o acesso BGF 11-001 manteve um desempenho estável para essas variáveis, independentemente das condições hídricas aplicadas neste estudo. Na análise individual do fator genótipo para o teor de CLb (Figura 4), verificou-se que o acesso BGF 11-001 apresentou valores significativamente superior em relação a cultivar Bela.

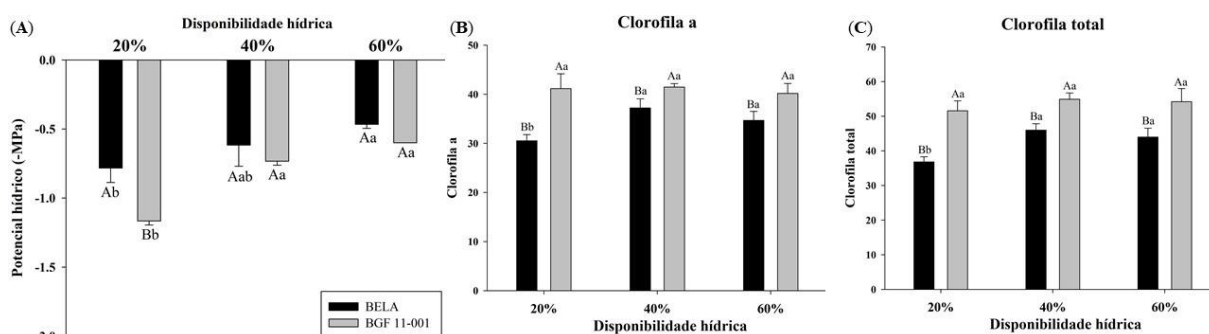


Figura 3: Desdobramento da interação do Potencial Hídrico (A), Clorofila a (B) e Clorofila total (C) em *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes condições de disponibilidade hídrica. Médias seguidas por letras distintas (maiúsculas para o fator genótipo e minúsculas para o fator disponibilidade hídrica) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

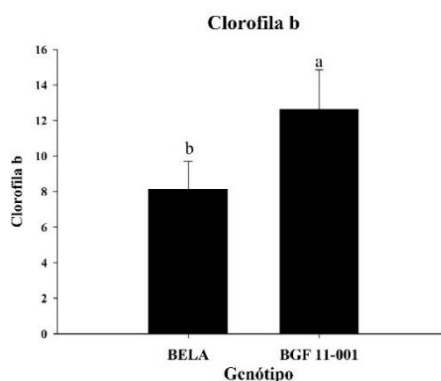


Figura 4: Médias do conteúdo de Clorofila b de genótipos de *Stylosanthes* spp. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A comparação de médias para o efeito individual da disponibilidade hídrica revelou diferenças significativas na EUA (Figura 5A) para ambos os genótipos avaliados, especialmente entre as disponibilidades de 20% e 60%. Embora essa diferença tenha sido observada entre esses dois níveis, o tratamento submetido ao déficit moderado (40%) não diferiu significativamente dos demais. Em relação ao conteúdo de CLb (Figura 5B), observou-se redução apenas sob a condição de déficit hídrico severo (20%).

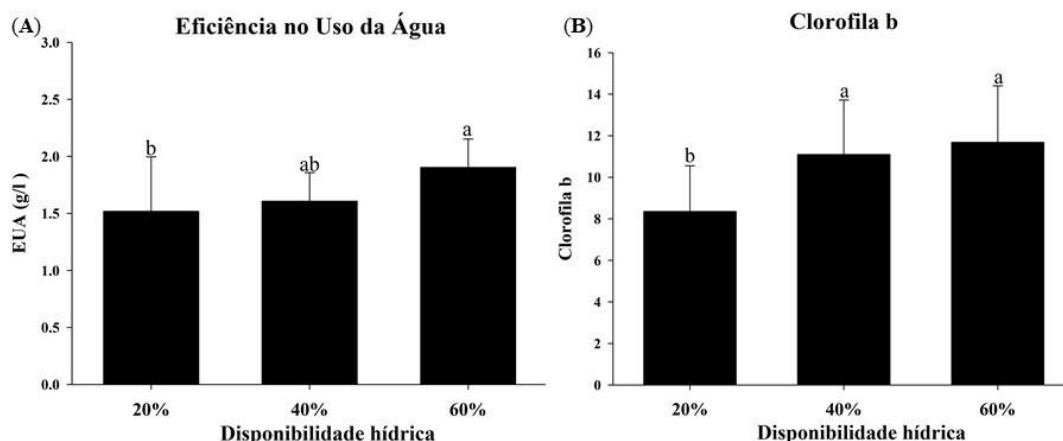


Figura 5: Médias do desempenho de genótipos de *Stylosanthes* spp. em diferentes condições de disponibilidade hídrica. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

3.2 Avaliações bioquímicas

Para as variáveis bioquímicas a interação entre genótipo e disponibilidade hídrica foi significativa para PST ($p \leq 0,01$) e AR ($p \leq 0,05$), sugerindo que a resposta dos genótipos aos diferentes níveis de disponibilidade hídrica variou em função da combinação entre esses fatores. Por outro lado, para os valores de aminoácidos (AA), a interação não foi significativa, indicando que os efeitos dos fatores genótipo e disponibilidade hídrica atuam de forma independente. O fator genótipo apresentou efeito significativo ($p \leq 0,01$) sobre AA, evidenciando diferenças na produção dessa biomolécula entre os materiais genéticos avaliados. Além disso, a disponibilidade hídrica também exerceu efeito significativo ($p \leq 0,01$) sobre essa variável, demonstrando que o déficit hídrico impacta diretamente a síntese de aminoácidos nas plantas. Não houve interação ou diferenças significativas para o AST e a SAC.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as respostas bioquímicas de genótipos de *Stylosanthes* spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.

Fonte de variação	PST	AR	AST	AA	SAC	PRO
Genótipo	914,07**	0,04	0,00 ^{ns}	73,02**	0,15 ^{ns}	1,84 ^{ns}
Disponibilidade Hídrica	4,34*	5,93**	1,88 ^{ns}	13,01**	1,86 ^{ns}	69,08**
Interação	7,65**	3,81*	0,93 ^{ns}	2,43 ^{ns}	0,32 ^{ns}	11,72**
CV(%)	11,64	28,4	18,54	14,05	20,16	16,83

CV: Coeficiente de Variação; **, *, ^{ns}: significativo (p -valor $\leq 0,01$), (p -valor $\leq 0,05$) e não significativo pelo teste F, respectivamente. PST: Proteínas Solúveis Totais; AR: Açúcares Redutores; AST: Açúcares Solúveis Totais; AA: Aminoácidos; SAC: Sacarose; PRO: Prolina.

O desdobramento do teste de médias para o conteúdo de PST (Figura 6A) revelou desempenhos distintos entre os genótipos frente às condições de disponibilidade hídrica. A cultivar Bela apresentou aumento significativo no teor de PST sob déficit hídrico severo (20%), em comparação com os tratamentos sem déficit (60%) e com déficit moderado (40%), enquanto o acesso BGF 11-001 não apresentou variações significativas entre os diferentes níveis de disponibilidade de água. Na comparação entre os genótipos dentro de cada condição hídrica, a

cultivar manteve-se superior ao acesso em ambos os níveis avaliados. Com relação ao conteúdo de açúcares redutores (Figura 6B), também foi observado aumento significativo na cultivar Bela sob déficit severo (20%), respondendo às condições impostas, ao passo que o BGF 11-001 novamente não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. Ao comparar os genótipos dentro de cada nível de disponibilidade hídrica foram observadas diferenças apenas na condição de 20% da capacidade de vaso, na qual a cultivar Bela apresentou média superior ao acesso. O conteúdo de prolina (Figura 6C) apresentou diferença significativa entre os genótipos apenas na disponibilidade hídrica de 40%, com o acesso BGF 11-001 demonstrando desempenho superior para essa variável. No que se refere ao padrão de acúmulo dessa molécula em resposta ao déficit hídrico, observou-se que a cultivar Bela apresentou aumento significativo no teor de prolina apenas sob a condição de 20% de disponibilidade hídrica, indicando uma resposta tardia ao estresse. Em contraste, o acesso BGF 11-001 já apresentou acúmulo significativo sob déficit moderado (40%), com o maior teor registrado na condição de 20%, evidenciando maior sensibilidade e capacidade de resposta ao estresse hídrico por meio da osmoproteção promovida pela prolina.

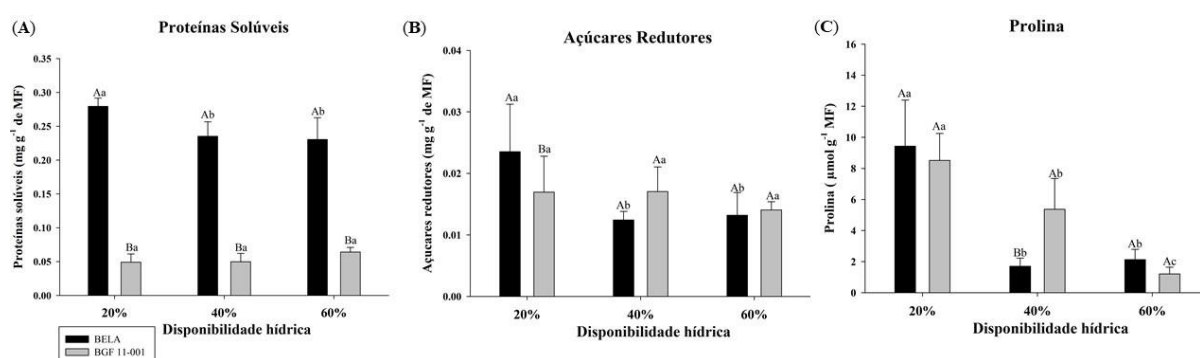


Figura 6: Desdobramento da interação do conteúdo de Proteínas Solúveis Totais (A), e Açúcares Redutores (B) em *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes condições de disponibilidade hídrica. Médias seguidas por letras distintas (maiúsculas para o fator genótipo e minúsculas para o fator disponibilidade hídrica) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A avaliação do efeito isolado do genótipo sobre o conteúdo de aminoácidos (Figura 7A) indicou que a cultivar Bela apresentou maior síntese dessas biomoléculas em comparação ao acesso BGF 11-001, mantendo médias superiores ao longo dos tratamentos. Quanto ao efeito isolado das disponibilidades hídricas (Figura 7B), observou-se maior acúmulo de aminoácidos sob condição de déficit hídrico severo (20%), uma vez que esse nível apresentou diferenças significativas em relação aos demais níveis de fornecimento de água.

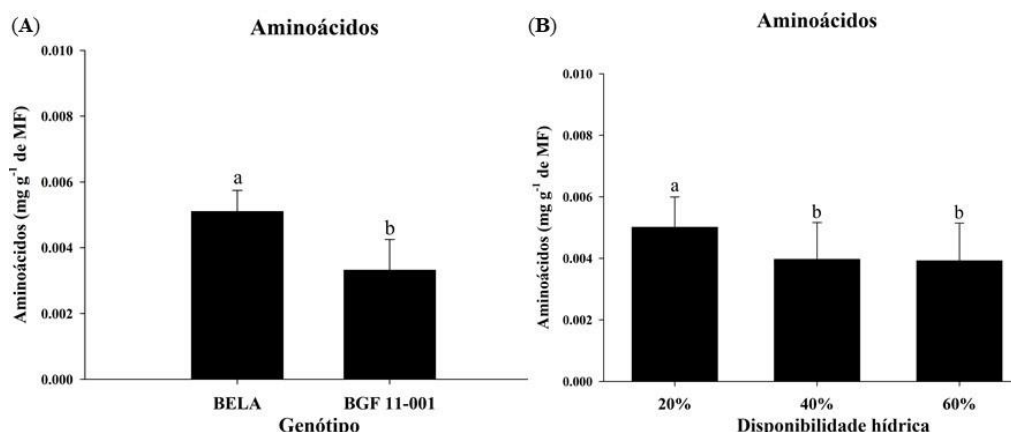


Figura 7: Médias da avaliação individual dos fatores genótipo (A) e disponibilidade hídrica (B) no cultivo de *Stylosanthes* spp. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

3.3 Atividade enzimática

Para ambas as enzimas observou-se interação significativa entre os fatores. A análise do desdobramento para SOD (Figura 8A) revelou que o acesso BGF 11-001 apresentou valores significativamente superiores aos da cultivar Bela em todos os níveis de disponibilidade hídrica. No desdobramento da disponibilidade hídrica dentro de cada genótipo, observou-se que, para o BGF 11-001, as médias obtidas nas condições de 20% e 40% da capacidade de vaso foram significativamente superiores àquelas registradas sob 60%. Em contrapartida, a cultivar Bela apresentou baixa sensibilidade à variação hídrica quanto a atividade dessa enzima, mantendo valores estatisticamente semelhantes entre os níveis de disponibilidade.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para a atividade enzimática de genótipos de *Stylosanthes* spp. cultivados sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica.

Fonte de variação	SOD	POD
Genótipo	467,57 ^{**}	0,03 ^{ns}
Disponibilidade Hídrica	4,05 ^{ns}	25,64 ^{**}
Interação	5,55 [*]	11,73 ^{**}
CV(%)	9,5	23,24

CV: Coeficiente de Variação; ^{**}, ^{*}, ^{ns}: significativo ($p\text{-valor} \leq 0,01$), ($p\text{-valor} \leq 0,05$) e não significativo pelo teste F, respectivamente. SOD: Superóxido dismutase; POD: Guaiacol peroxidase.

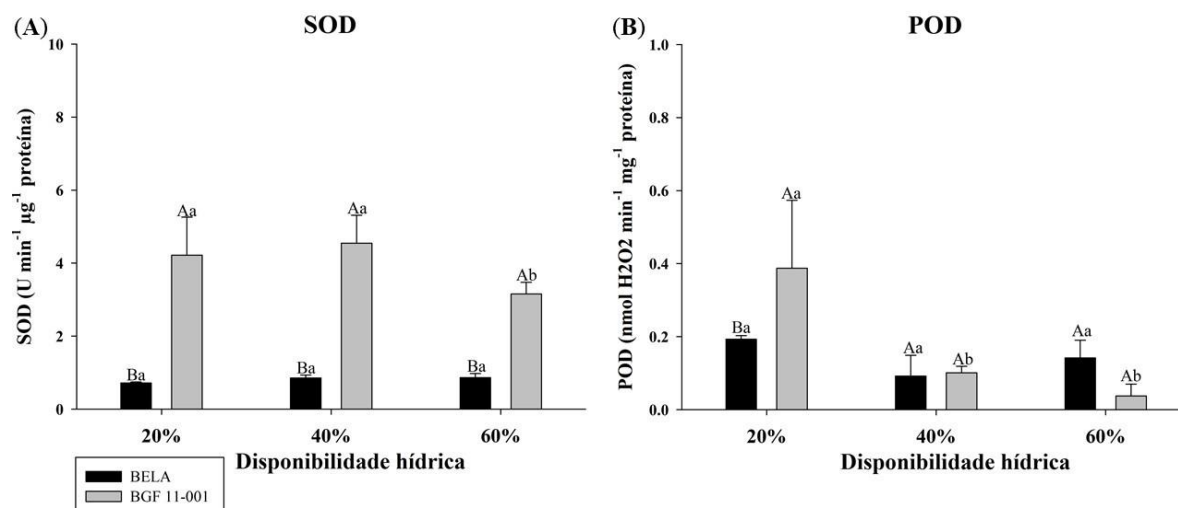


Figura 8: Desdobramento da interação da atividade da Superóxido dismutase (A), e Guaiacol Peroxidase (B) em *Stylosanthes* spp. cultivadas sob diferentes condições de disponibilidade hídrica. Médias seguidas por letras distintas (maiúsculas para o fator genótipo e minúsculas para o fator disponibilidade hídrica) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Quanto ao desdobramento da atividade da POD (Figura 8B), o acesso BGF 11-001 apresentou maior atividade enzimática, em relação à Bela, apenas sob a disponibilidade hídrica de 20%. Considerando o efeito das disponibilidades hídricas dentro de cada genótipo, verificou-se que o BGF 11-001 respondeu ao déficit hídrico severo (20%) com um aumento significativo na atividade da POD, mantendo, porém, valores estatisticamente semelhantes entre os níveis de 40% e 60%. Por sua vez, a cultivar Bela não apresentou variações significativas entre os diferentes níveis de disponibilidade hídrica para essa enzima.

4. DISCUSSÃO

Ambos os genótipos avaliados neste estudo demonstraram sensibilidade à redução da disponibilidade hídrica, especialmente sob condição de déficit severo (20%), conforme evidenciado pela diminuição dos valores de potencial hídrico. Resultados semelhantes foram reportados por Leite *et al.* (2018), os quais observaram redução significativa no potencial hídrico em plantas de *Physalis angulata* L. submetidas a 20% da capacidade de vaso, em comparação com aquelas cultivadas sob níveis elevados de disponibilidade hídrica.

Todavia, é importante salientar que a cultivar Bela apresentou desempenho superior em 20% de disponibilidade hídrica em comparação ao acesso BGF 11-001, indicando que esse genótipo apresenta maior capacidade de armazenamento de água. Diferenças como essas são esperadas em experimentos dessa natureza, considerando que a resposta das plantas ao estresse promovido pela redução na disponibilidade de água é dependente tanto da espécie quanto do genótipo (BARTELS; SUNKARS, 2005; BATOOL *et al.*, 2024).

Ademais, o acesso BGF 11-001 apresentou maior conteúdo e estabilidade dos pigmentos

fotossintéticos em comparação ao genótipo Bela, especialmente no que se refere à CLa e à CLtot, considerando a redução observada nessas variáveis para a cultivar sob condição de déficit hídrico severo (20%). A exposição ao estresse hídrico pode comprometer a integridade das membranas tilacoides nos cloroplastos, o que interfere negativamente na produção de clorofila (NUOR *et al.*, 2024). Alguns estudos, como Oguz *et al.* (2022), Guizani *et al.* (2023) e Nour *et al.* (2024), também apontam que a redução dos níveis de clorofila nas folhas em condições de seca pode afetar diretamente a eficiência fotossintética das plantas e o teor desses pigmentos.

Embora o acesso BGF 11-001 tenha apresentado desempenho superior ao genótipo Bela, ambos se mostraram homogêneos quanto ao conteúdo de CLb, com redução observada sob 20% de disponibilidade hídrica em comparação aos demais níveis desse fator. Apesar das sutis diferenças estruturais entre as CLa e CLb, esta última está predominantemente localizada nos complexos antena, onde atua na captação da energia luminosa e na sua transferência para os centros de reações, diretamente envolvidos nas reações fotoquímicas (VOITSEKHOVSKAJA; TYUTEREVA, 2015). De forma interessante, o BGF 11-001 apresentou redução apenas nos teores de CLb sob condição de déficit hídrico severo (20%), o que, segundo a literatura, está associado a uma resposta adaptativa das plantas para limitar a absorção de energia luminosa, uma vez que o fechamento estomático reduz a demanda por essa tendo em vista a menor incorporação de CO₂ (YAN *et al.*, 2024). Essa estratégia é especialmente relevante considerando que a energia captada, em detrimento do poder redutor gerado na fase fotoquímica da fotossíntese, pode exceder a capacidade de assimilação do ciclo de Calvin-Benson-Bassham, promovendo o acúmulo de EROS e ocasionando danos celulares (GRIECO *et al.*, 2020; YAN *et al.*, 2024).

Os resultados de EUA, inferiores para ambos os genótipos nas plantas submetidas ao déficit hídrico severo (20%) em comparação aos tratamentos com maior disponibilidade hídrica é compatível com achados prévios, que justificam esses resultados devido à sensibilidade da assimilação líquida de carbono em condições de estresse hídrico, pois essa ocorre de forma desproporcionalmente maior do que a redução da transpiração, o que resulta em menor EUA (GAO *et al.*, 2016). Em condições déficit hídrico, as plantas frequentemente apresentam fechamento estomático para reduzir a perda de água por transpiração, no entanto, essa resposta também limita a entrada de CO₂, provocando uma queda na taxa fotossintética (CRUZ *et al.*, 2023).

Desempenhos semelhantes a este estudo para a EUA foram relatados em *Pinus sylvestris* L, tendo em vista que EUA decaiu significativamente durante eventos de seca intensa em

função de uma queda mais acentuada da fotossíntese (GAO *et al.*, 2016). Esses resultados foram corroborados por ZHAO *et al.* (2022), pois foi demonstrado que, mesmo em espécies adaptadas a ambientes áridos, a eficiência hídrica pode ser reduzida devido à forte restrição fotossintética imposta pelas condições de baixa umidade do solo. Assim, a redução da EUA em condições de déficit hídrico severo (20%), conforme observada neste estudo, pode ser atribuída a um desequilíbrio entre os processos de captação de CO₂ e de controle da perda de água, reforçando a importância de mecanismos fisiológicos que permitam manter a assimilação de carbono sob restrição hídrica.

Apenas a cultivar Bela variou seu conteúdo de PST nas diferentes condições hídricas, tendo em vista que sob déficit severo (20%) foi constatado aumento significativo dessas biomoléculas para esse genótipo. Apesar da tendência de diminuição na síntese global de proteínas sob estresse hídrico, é comum a indução de proteínas específicas associadas à resposta ao déficit hídrico e à proteção contra danos celulares (LI *et al.*, 2010). Ademais, Bagheri *et al.* (2023), ao avaliarem genótipos de gergelim (*Sesamum indicum* L.) contrastantes quanto à tolerância ao estresse hídrico, observaram variações no conteúdo de proteínas PST apenas nos materiais sensíveis, os quais apresentaram aumento significativo desse componente sob condições de déficit hídrico. Esses achados corroboram os resultados obtidos para a cultivar Bela neste estudo, sugerindo que o acúmulo de PST pode estar associado a mecanismos compensatórios em genótipos menos adaptados ao estresse hídrico.

A ausência de variação significativa no conteúdo de AST, acompanhada por um aumento nos AR sob déficit hídrico severo (20%), como observado na cultivar Bela, pode estar relacionada a uma redistribuição metabólica interna, e não necessariamente a um acúmulo de carboidratos. Em situações de estresse hídrico é comum que as plantas mantenham o conteúdo total de açúcares relativamente constante, ajustando o perfil desses compostos de acordo com suas funções fisiológicas (YANG *et al.*, 2019). Nesse contexto, ainda que o conteúdo de sacarose — principal dissacarídeo de transporte nas plantas (RENNIE; TURGEON, 2009) — não tenha variado de forma estatisticamente significativa, o aumento dos AR pode indicar uma possível conversão parcial dessa molécula em glicose e frutose, os quais atuam como osmólitos compatíveis, além de desempenharem papel na proteção das estruturas celulares e na sinalização de estresse (YANG *et al.*, 2019).

Esse ajuste bioquímico supracitado pode ser mediado por enzimas como as invertases e sacarose sintase, responsáveis pela hidrólise da sacarose em monossacarídeos de ação mais imediata frente ao estresse (WEI *et al.*, 2014). Tais mecanismos representam estratégias adaptativas fundamentais na resposta ao déficit hídrico, como descrito por Farooq *et al.* (2009).

Resultados semelhantes foram relatados por Santos *et al.* (2024) em *Talinum fruticosum* (L.) Juss., onde foi observado aumento linear no conteúdo de açúcares redutores em resposta à redução da disponibilidade hídrica. Ademais, em *Panicum maximum* Jacq. cv Mombaça também houve incremento no conteúdo de AR no tratamento com déficit hídrico em comparação com o controle (ambiente irrigado) (HABERMANN *et al.*, 2019).

Embora o genótipo BGF 11-001 não tenha apresentado alterações significativas nos teores de AST, AR e SAC sob condições de déficit hídrico, observou-se um aumento expressivo no conteúdo de prolina, especialmente a partir do nível moderado de restrição hídrica. Esse resultado sugere que, mesmo na ausência de variações nos carboidratos solúveis, o BGF 11-001 ativou mecanismos alternativos de osmorregulação, recorrendo à síntese de prolina como principal osmólito para manutenção do potencial osmótico celular (ZULFIQAR; ASHRAF, 2023). A prolina, além de sua função como regulador osmótico, atua na estabilização de estruturas macromoleculares e proteção contra espécies reativas de oxigênio (GUAN *et al.*, 2020; HANIF *et al.*, 2020; ALKAHTANI *et al.*, 2021; ZULFIQAR; ASHRAF, 2023). Assim, o acúmulo dessa biomolécula e outros aminoácidos, pode ter desempenhado papel compensatório, contribuindo para a adaptação fisiológica do genótipo às condições de baixa disponibilidade hídrica.

Resultados reportados nesse estudo corroboram os constatados por Bagheri *et al.* (2023) e Santos *et al.* (2024), tendo em vista que o déficit hídrico também promoveu em ambos os trabalhos aumentos significativos no conteúdo de prolina. Ademais, em plantas forrageiras Fariaszewska *et al.* (2020) também constataram aumento na síntese de prolina, frente ao tratamento controle, devido a condições de seca em *Lolium perenne* L., *Lolium multiflorum* Lam., *Festuca pratensis* Huds. e *Festulolium braunii* (K.Richt).

Nesse viés, ajuste osmótico é um mecanismo que permite às plantas continuarem o processo de expansão celular mesmo sob estresse hídrico ao mesmo tempo em que contribui para a manutenção parcial da abertura estomática possibilitando a assimilação de CO₂ durante essa condição adversa (AHMAD *et al.*, 2018). Portanto, a acumulação de compostos com função osmótica contribui para que as células gerenciem a perda de água, mantendo o equilíbrio hídrico e a integridade estrutural das membranas, o que favorece a tolerância das estruturas celulares às condições de seca (LOUTFY *et al.*, 2012).

Embora a cultivar Bela tenha apresentado valor significativamente superior para o conteúdo de aminoácidos, ambos os genótipos demonstraram respostas semelhantes às diferentes disponibilidades hídricas, evidenciadas pelo incremento dessas biomoléculas sob a condição de déficit hídrico severo (20%). O acúmulo de aminoácidos é uma resposta comum

em plantas expostas ao estresse hídrico uma vez que em conjunto com os carboidratos solúveis, esses compostos podem atuar como agentes osmoticamente ativos e, dessa forma, contribuir para a manutenção do potencial hídrico celular, permitindo que as plantas permaneçam hidratadas e consigam absorver água mesmo em situações de baixa disponibilidade hídrica no solo (CRUZ *et al.*, 2023). Baghery *et al.* (2023) encontraram resultados semelhantes em *S. indicum*, tendo em vista o aumento do acúmulo de aminoácidos diante do estresse hídrico, todavia, condições de déficit hídrico moderado (40%) já foram suficientes para promover o incremento no conteúdo.

A produção de EROS tende a aumentar de forma proporcional à intensidade do estresse, podendo causar diversos danos celulares, como a peroxidação de lipídios e a degradação de ácidos nucleicos (TAIZ *et al.*, 2017; AHMAD *et al.*, 2018). Nesse contexto, organelas como mitocôndrias, cloroplastos e peroxissomos estão entre as mais suscetíveis aos efeitos deletérios provocados pelo acúmulo excessivo dessas moléculas reativas (AHMAD *et al.*, 2018; BHATLA; LAL, 2018; HUANG *et al.*, 2019; MITTLER *et al.*, 2022). Para mitigar os danos causados pelo excesso de radicais livres, as plantas sob condições de estresse ativam sistemas de defesa antioxidante, destacando-se a síntese de enzimas capazes de neutralizar as espécies reativas de oxigênio (AHMAD *et al.*, 2018; ZULQFIQAR; ASHRAF, 2023). Esse mecanismo constitui uma das principais estratégias adaptativas utilizadas para reduzir os efeitos deletérios associados ao estresse oxidativo (AHMAD *et al.*, 2018).

Neste estudo, apenas o BGF 11-001 apresentou variações nas atividades das enzimas avaliadas (SOD, APX) em resposta às condições de déficit hídrico. Esse desempenho diferencial é coerente com o que se observa na literatura, tendo em vista que a resposta das plantas em condições de estresse hídrico pode variar amplamente, dependendo tanto da espécie quanto do genótipo envolvido (BARTELS; SUNKARS, 2005; BATOOL *et al.*, 2024).

Ademais, observou-se que o aumento na atividade das enzimas SOD e POD não ocorreu de forma proporcional. Enquanto o déficit hídrico moderado (40%) foi suficiente para promover um incremento significativo na atividade da SOD, a elevação da atividade da POD foi registrada apenas sob condição de estresse severo. De acordo com a análise conduzida por Wu e Yang (2024), em trigo de inverno, observou-se que a atividade da SOD aumenta de forma marcante em condições de déficit hídrico leve a moderado, atuando como uma linha de defesa inicial ao converter ânions superóxidos ($O_2^{\bullet-}$) em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (MÖLLER *et al.*, 2019; HUANG *et al.*, 2019; WU; YANG, 2024). Em contrapartida, enzimas como a POD podem apresentar incremento apenas sob estresse mais severo, possivelmente devido à maior exigência na remoção do H_2O_2 acumulado. Esse padrão sugere que para o BGF 11-001 a SOD é ativada

para conter o acúmulo inicial de EROS, enquanto a POD entrou em ação em estágios mais avançados, quando os níveis de peróxido atingem concentrações potencialmente citotóxicas (WU; YANG, 2024).

Este estudo evidenciou respostas distintas entre os genótipos avaliados sob condições de déficit hídrico, com destaque para o acesso BGF 11-001, que apresentou maior acúmulo de prolina e aminoácidos sob déficit hídrico, e ativação mais eficiente das enzimas antioxidantes SOD e POD. Esses resultados indicam que o BGF 11-001 possui mecanismos fisiológicos robustos de defesa contra o estresse oxidativo e de osmorregulação, conferindo resiliência à seca. Por outro lado, a cultivar Bela respondeu ao estresse hídrico com maior acúmulo de solutos compatíveis, sugerindo uma estratégia de ajuste osmótico mais pronunciada do que a ativação do sistema antioxidante. Como perspectiva futura, recomenda-se a realização de estudos em campo e a integração com abordagens moleculares que permitam aprofundar a compreensão dos mecanismos regulatórios envolvidos, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de manejo e melhoramento genético voltadas à tolerância hídrica em leguminosas forrageiras.

CONCLUSÃO

O genótipo BGF 11-001 destacou-se por apresentar mecanismos mais eficientes de proteção contra as EROS através da ativação das enzimas antioxidantes, além do acúmulo de solutos compatíveis, sobretudo de prolina.

A cultivar Bela respondeu com maior acúmulo solutos compatíveis, sugerindo uma estratégia de ajuste osmótico mais pronunciada do que a proteção antioxidante.

Os dados obtidos nesse estudo evidenciam a importância da interação genótipo × ambiente na modulação das respostas ao estresse hídrico e ressalta o potencial do acesso BGF 11-001 como material promissor para ambientes com baixa disponibilidade de água.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, Z.; WARAICH, E. A.; AKHTAR, S.; ANJUM, S.; AHMAD, T.; MAHBOOB, W.; HAFEEZ, O. B. A.; TAPERA, T.; LABUSCHANGE, M.; RIZWAN, M. Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 40, p. 1-13, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2651-6>. Acesso em: 31 out. 2023.
- ALKAHTANI, M. D.; HAFEZ, Y. M.; ATTIA, K.; RASHWAN, E.; HUSNAIN, L.A.; ALGWAIZ, H.I.M.; ABDELLAL K. A. A. Evaluation of silicon and proline application on the oxidative machinery in drought-stressed sugar beet. **Antioxidants**, v. 10, n. 3, p. 398, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/antiox10030398>. Acesso em: 04 jun. 2025.
- ANJOS, F. A.; FERRAZ, R. L. S.; AZEVEDO, C. A. V.; COSTA, P. S.; MELO, A. S.; RAMALHO, V. R. Relationship between physiology and production of maize under different water replacements in the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 21-27, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n1p21>. Acesso em: 30 out. 2023.
- BAGHERY, M. A.; KAZEMITABAR, S. K.; DEHESTANI, A.; MEHRABANJOUBANI, P. Sesame (*Sesamum indicum* L.) response to drought stress: susceptible and tolerant genotypes exhibit different physiological, biochemical, and molecular response patterns. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 29, n. 9, p. 1353-1369, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12298-023-01372-y>. Acesso em: 28 jun. 2025.
- BARTELS, D.; SUNKAR, R. Drought and Salt Tolerance in Plants. **Plant Sciences**, v. 24, ed. 1, p. 23-58, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07352680590910410>. Acesso em: 31 out. 2023.
- BATES, L.; WALDREN, R. P.; I. D, TEARE. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00018060>. Acesso em: 27 out. 2023.
- BATOOL, A.; YUE, D. X.; XIAO, Y. L.; LI, S. S.; DUAN, H. X.; HAQ, Z.; AHMED, K.; ZHAO, L. ZHU, L.; XIONG, Y. C. Plant tolerance to drought stress: Complexity and mechanism across physiological, molecular and biochemical scales. **International Journal of Applied and Experimental Biology**, v. 3, p. 159-175. Disponível em: <http://10.56612/ijaaeb.v1i1.92>. Acesso em: 04 dez. 2024.
- BHATLA, S. C.; LAL, M. A. **Plant physiology, development and metabolism**. Springer Singapore, 2018. 1237 p. v. 1. ISBN 978-981-13-2022-4. *E-book*.
- BONFIM-SILVA, E. M. *et al.* Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 180–186, 2011. Acesso em: 28 jun. 2025.
- BOSCOLO, P. R. S.; MENOSSI, M.; JORGE, R. A. Aluminum-induced oxidative stress in maize. **Phytochemistry**, v. 6, p. 181–189. 2003. Disponível em: [http://10.0.3.248/s0031-9422\(02\)00491-0](http://10.0.3.248/s0031-9422(02)00491-0). Acesso em 01 fev. 2025.
- BRADFORD, M. M. A. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**,

v. 72, p. 248-254, 1976. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3). Acesso em: 27 out. 2023.

COOK, B. G.; SCHULTZE-KRAFT, R. Clearing confusion in *Stylosanthes* taxonomy: 1. *S. seabrana* B.L. & Maass & 't Mannetje. **Tropical Grasslands-Tropicales**. v. 8, p. 40-47, 2020. Disponível em: <https://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/article/view/681>. Acesso em 02 dez. 2024.

CRUZ, N. T.; PORTO, E. M. V; RAMOS, B. L. P.; SANTOS, H. P.; SEIXAS, A. A.; SANTOS, A. P. S. Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma breve revisão. **Revista Científica Rural**. v. 25, p. 1-19, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/246831.25.1-14>. Acesso em: 04 de. 2024.

FARIASZEWSKA, A.; APER, J.; VAN HUYLENBROECK, J.; DE SWAEF, T.; BAERT, J.; PECIO, Ł. Physiological and biochemical responses of forage grass varieties to mild drought stress under field conditions. **International Journal of Plant Production**, v. 14, n. 2, p. 335-353, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42106-020-00088-3>. Acesso em: 28 jun. 2025.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N. S. M. A.; FUJITA, D. B. S. M. A.; BASRA, S. M. **Plant drought stress: effects, mechanisms and management**. In: Sustainable agriculture, p. 153-188. Dordrecht: Springer Netherlands, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>. Acesso em: 28 jun. 2025.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portuguese). R package version 1.2.2, 2021. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>. Acesso em: 16 jan. 2025.

GAO, Y.; MARKKANEN, T.; AURELA, M.; MAMMARELLA, I.; THUM, T.; TSURUTA, A.; YANG, H.; AALTO, T. Response of water use efficiency to summer drought in a boreal Scots pine forest in Finland. **Biogeosciences**, v. 14, n. 18, p. 4409-4422, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/bg-14-4409-2017>. Acesso em: 28 jun. 2025.

GARCÍA-LIMONES, C.; HERVÁS, A.; NAVAS C. J.; JIMÉNEZ-DÍAZ, R.; TENA, M. Induction of an antioxidant enzyme system and other oxidative stress markers associated with compatible and incompatible interactions between chickpea (*Cicer arietinum* L.) and *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 61. 325-337. 2002. <https://doi.org/10.1006/pmpp.2003.0445>. Acesso em: 01 jul. 2025.

GIANNOPOLITIS, C. N.; REIS, S. K. Superoxide Dismutases: I. Occurrence in Higher Plants. **Plant Physiology**, v. 59, p. 309–314, 1977. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp> . Acesso em: 27 out. 2023.

GONZALEZ, L. M.; LOPEZ, R. C.; FONSECA, I.; RAMIREZ, R. Growth, stomatal frequency, DM yield and accumulation of ions in nine species of grassland legumes grown under saline conditions, crecimiento, frecuencia estomatica, rendimiento de MS y acumulacion de iones en nueve especies de leguminosas pratenses cultivadas en condiciones salinas. **Pastos y Forrajes**, v. 23, p. 299-308, 2000. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20013029138>. Acesso em: 27 out. 2023.

GRIECO, M.; ROUSTAN, V.; DERMENDJIEV, G.; RANTALA, S.; JAIN, A.; LEONARDELLI, M.; NEUMANN, K.; BERGER, V.; ENGELMEIER, D.; BACHMANN, G.; EBERSBERGER, I.; ARO, E.-M.; WECKWERTH, W.; TEIGE, M. Adjustment of photosynthetic activity to drought and fluctuating light in wheat. **Plant, Cell & Environment**, v. 43, n. 6, p. 1484-1500, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pce.13755>. Acesso em: 28 jun. 2025.

GUAN, C.; CUI, X.; LIU, H. Y.; LI, X.; LI, M.Q.; ZHANG, Y. W. Proline biosynthesis enzyme genes confer salt tolerance to switchgrass (*Panicum virgatum* L.) in cooperation with polyamines metabolism. **Frontiers in Plant Science**. v. 11, p. 1-14, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00046>. Acesso em: 06 jun. 2025.

GUIZANI, A.; ASKRI, H.; AMENTA, M. L.; DEFAZ, R.; BABAY, E.; BIANCO, C.; RAPANÁ, N.; FINETTI-SIALER, M.; GHARBI, F. Drought responsiveness in six wheat genotypes: identification of stress resistance indicators. *Frontier in Plant Science*, v. 14, p. 01-17, 2023. Disponível em: ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10534941/. Acesso em: 30 out. 2023.

HABERMANN, E.; OLIVEIRA, E. A. D.; CONTINA, D. R.; DELVECCHIO, G.; VICIELO, D. O.; MORAES, M. A.; PRADO, R. M.; COSTA, K. A. P.; BRAGA, M. R.; MARTINEZ, C. A. Warming and water deficit impact leaf photosynthesis and decrease forage quality and digestibility of a C4 tropical grass. **Physiologia Plantarum**, v. 165, n. 2, p. 383-402, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ppl.12818>. Acesso em: 28 jun. 2025.

HABERMANN, E.; OLIVEIRA, E.A.D.; DELVECCHIO, G.; BELISÁRIO, R.; BARRETO, R.F.; VICIEDO, D.O.; ROSSINGNOLI, N.O.; COSTA, K.A.P.; PRADO, R.M.; GONZALEZ-MELER, M.; MARTINEZ, C.A. How does leaf physiological acclimation impact forage production and quality of a warmed managed pasture of *Stylosanthes capitata* under different conditions of soil water availability? **Science of the Total Environment**. v. 759, e143505, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143505>. Acesso em: 02 dez. 2024.

HANIF, S.; SALEEM, M. F.; SARWAR, M.; IRSHAD, M.; SHAKOOR, A.; WAHID, M. A.; KHAN, H. Z. Biochemically triggered heat and drought stress tolerance in rice by proline application. **Journal of Plant Growth Regulation**. v. 40, n. 1, p. 305–312, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10095-3>. Acesso em: 06 jun. 2025

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, v. 84, ed. 2, p. 450–455, 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.84.2.450>. Acesso em: 27 out. 2023.

HUANG, H.; ULLAH, F.; ZHOU, D. X.; YI, M.; ZHAO, Y. Mechanisms of ROS Regulation of Plant Development and Stress Responses. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1-10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00800>. Acesso em: 31 out. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Recorte das regiões do país**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=noticias-e-releases>. Acesso em: 28 mai 2023.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed: Guanabara Koogan, 2019. 420 p. ISBN 978-8527735339.

LEITE, R. S.; NASCIMENTO, M. N.; TANAN, T. T.; RAMOS, C. A. S.; GONÇALVES-NETO, L. P. Physiological responses of *Physalis angulata* plants to water deficit. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, p. 287-297, 2018. Disponível em: <https://ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/0/36826>. Acesso em: 27 out. 2023.

LI, D.; LI, C.; SUN, H.; WANG, W.; LIU, L.; ZHANG, Y. Effects of drought on soluble protein content and protective enzyme system in cotton leaves. **Frontiers of Agriculture in China**, v. 4, n. 1, p. 56–62, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11703-010-0102-2>. Acesso em: 28 jun. 2025.

LIU, P.; HUANG, R.; HU, X.; JIA, Y.; LI, J.; LUO, J.; LIU, Q.; LUO, L.; LIU, G.; CHEN, Z. Physiological responses and proteomic changes reveal insights into *Stylosanthes* response to manganese toxicity. **BMC Plant Biology**. V.19, p. 202–223, 2019. Disponível em: <https://bmcpantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-019-1822-y>. Acesso em: 02 dez. 2024.

LOUTFY, N.; EL-TAYEB, M. A.; HASSANEN, A. M.; MOUSTAFA, M. F. M.; SAKUMA, Y.; INOUE, M. Changes in the water status and osmotic solute contents in response to drought and salicylic acid treatments in four different cultivars of wheat (*Triticum aestivum*). **Journal of Plant Research**, v. 125, p. 173–184, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10265-011-0419-9>. Acesso em: 28 jun. 2025.

MARTIM, S. A. **Pulverização do cafeeiro com açúcar: potencial de uso em mudas submetidas a deficiência hídrica e na recuperação de plantas atingidas por Glyphosate**. 2003. 67 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, 2003. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/36238>. Acesso em: 28 out. 2023.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Biochemistry**. v. 31, p. 426-428, 1959. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>. Acesso em: 01 fev. 2025.

MITTLER, R.; ZANDALINAS, S. I.; FICHMAN, Y.; BREUSEGEM, F. V. Reactive oxygen species signalling in plant stress responses. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 23, p. 663-679, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41580-022-00499-2>. Acesso em: 31 out. 2023.

MÖLLER, M. N.; RIOS, N.; TRUJILLO, M.; RADI, R.; DENICOLA, A.; ALVAREZ, B. Detection and quantification of nitric oxide–derived oxidants in biological systems. **Journal of Biological Chemistry**, v. 294, ed. 40, p. 14776-14802, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1074/jbc.REV119.006136>. Acesso em: 31 out. 2023

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, ed. 5, p. 867-880, 1981. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>. Acesso em: 28 out. 2023.

NOUR, M. M.; ALJABI, H. R.; AL-HUQAIL, A. A.; HORNEBURG, B.; MOHAMMED, A. E.; ALOTAIBI, M. O. Drought responses and adaptation in plants differing in life-form. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 12, p. 1452427, 2024. Disponível em:

<https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1452427>. Acesso em: 28 jun. 2025.

NUNES, K. G.; COSTA, R. N. T.; CALVACANTE, I. N.; GONDIM, R. S.; LIMA, S. C. R. V.; MATEOS, L. Groundwater resources for agricultural purposes in the Brazilian semi-arid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 12, p. 915-923, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n12p915-923>. Acesso em: 30 out. 2023.

OGUZ, M. C.; AYCAN, M.; OGUZ, E.; POYRAZ, I.; YILDIZ, M. Drought stress tolerance in plants: interplay of molecular, biochemical and physiological responses in important development stages. **Physiologia**, v. 2, p. 180-197, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/physiologia2040015>. Acesso em: 28 jun. 2025.

OLIVEIRA, R. S.; QUEIRÓZ, M. A.; ROMÃO, R. L.; SILVA, G. C.; BRASILEIRO, B. P. Genetic diversity in accessions of *Stylosanthes* spp. using morphoagronomic descriptors. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 1, p. 101-112, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n112rc>. Acesso em: 28 jan. 2025.

PODDAR, S.; CHAKRABORTI, S.; PODDAR, S.; NATH, S. Comprehensive review on the consequences and omics approaches for boosting wheat production under droughtstress. **International Journal of Advanced Multidisciplinary Research**, v. 10, ed. 1, p. 139-162, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22192/ijamr.2023.10.01.013>. Acesso em: 30 out. 2023.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em 16 jan. 2025.

RENNIE, E. A.; TURGEON, R. A comprehensive picture of phloem loading strategies. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 33, p. 14162-14167, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0902279106>. Acesso em: 28 jun. 2025.

SANTOS, R. D. J.; NASCIMENTO, M. N. D.; CAMILLOTO, G. P.; OLIVEIRA, U. C. D.; SANTOS, F. S. D. Water restriction as a strategy for growing *Talinum fruticosum* (L.) Juss. (Talinaceae). **Revista Caatinga**, v. 37, p. e12183, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252024v3712183rc>. Acesso em: 28 jun. 2025.

SANTOS JÚNIOR, R. A. S.; PELACANI, C. R.; SANTOS, V. O.; SILVA, A. A.; FERNANDES, S. M.; GISSI, D. S.; OLIVEIRA, R. S. Banco de Germoplasma de Forrageiras da Universidade Estadual de Feira de Santana (BGF-UEFS). **Revista RG News**. v.8, e.2, p. 5-15. 2022. Disponível em: <https://www.recursosgeneticos.org/revista/revista-rg-news00>. Acesso em: 28 jan. 2025.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Artmed, 201. 888 p. ISBN 8582713665.

TÁTRAI, Z.A., SANOUBAR, R., PLUHÁR, Z., MANCARELLA, S., ORSINI, F., GIANQUINTO, G. Morphological and physiological plant responses to drought stress in *Thymus citriodorus*. **International Journal of Agronomy**. v. 2016, p. 1-8, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/4165750>. Acesso em: 04 dez. 2024.

TORSETHAUGEN, G.; PITCHER, L. H.; ZILINSKAS, B. A.; PELL, E. J. Overproduction of ascorbate peroxidase in the tobacco chloroplast does not provide protection against ozone. **Plant Physiology**, v. 114, p. 529–537, 1997. Disponível em: <http://10.0.4.80/pp.114.2.529>. Acesso em: 01 fev. 2025.

VOITSEKHOVSKAJA, O. V.; TYUTEREVA, E. V. Chlorophyll b in angiosperms: functions in photosynthesis, signaling and ontogenetic regulation. **Journal of Plant Physiology**, v. 189, p. 51-64, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2015.09.013>. Acesso em: 28 jun. 2025.

WANG, J.; LI, C.; LI, L.; REYNOLDS, M.; MAO, X.; JING, R. Exploitation of drought tolerance-related genes for crop improvement. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms221910265>. Acesso em: 04 dez. 2024.

WEI, X.; LIU, F.; CHEN, C.; MA, F.; LI, M. The *Malus domestica* sugar transporter gene family: identifications based on genome and expression profiling related to the accumulation of fruit sugars. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 569, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00569>. Acesso em: 28 jun. 2025.

WICKHAM, H.; CHANG, W.; HENRY, L.; PEDERSEN, T. L.; TAKAHASHI, K.; WILKE, C.; WOO, K.; YUTANI, H.; D'AGOSTINO MCGAW, A. **ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics**. R package version 3.4.0, 2022. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ggplot2>. Acesso em: 16 jan. 2025.

WU, H.; YANG, Z. Effects of drought stress and postdrought rewatering on winter wheat: a meta-analysis. **Agronomy**, v. 14, p. 298, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy14020298>. Acesso em: 28 jun. 2025.

YAN, W.; LU, Y.; GUO, L.; LIU, Y.; LI, M.; ZHANG, B.; ZHANG, B.; ZHANG, L.; QIN, D.; HUO, J. Effects of drought stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in blue honeysuckle. **Plants**, v. 13, n. 15, p. 2115, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants13152115>. Acesso em: 28 jun. 2025.

YANG, J.; ZHANG, J.; LI, C.; ZHANG, Z.; MA, F.; LI, M. Response of sugar metabolism in apple leaves subjected to short-term drought stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 141, p. 164-171, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.05.025>. Acesso em: 28 jun. 2025.

YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, ed. 3, p. 508–514, 1954. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1269789/>. Acesso em: 28 out. 2023.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C. The determination of amino-acids with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, p. 209-213, 1955. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/AN9558000209>. Acesso em: 01 fev. 2025.

ZHAO, L.; CHEN, H.; CHEN, B.; WANG, Y.; SUN, H. Drought shapes photosynthetic production traits and water use traits along with their relationships with leaves of typical desert shrubs in Qaidam. **Forests**, v. 13, n. 10, p. 1652, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f13101652>. Acesso em: 28 jun. 2025.

ZULFIQAR, F.; ASHRAF, M. Proline alleviates abiotic stress induced oxidative stress in plants. **Journal of Plant Growth Regulation**. v. 42, n. 8, p. 4629–4651, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/S00344-022-10839-3>. Acesso em: 04 jun. 2025.

CAPÍTULO 3

PRODUÇÃO DE BIOMASSA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE *Stylosanthes* spp. SUBMETIDOS AO DÉFICIT HÍDRICO

RESUMO

Este estudo avaliou os efeitos do déficit hídrico em relação à produção de biomassa e a qualidade nutricional de genótipos de *Stylosanthes* spp. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com três níveis de disponibilidade hídrica (60%, 40% e 20% da capacidade de vaso). Foram utilizados dois genótipos: a cultivar BRS-Bela e o acesso BGF 11-001. A redução hídrica promoveu decréscimos na massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC) e massa seca total (MST). O acesso BGF 11-001 apresentou maior relação folha/caule (F/C), característica associada à maior qualidade da forragem. O déficit moderado e severo reduziu os teores de cinzas (CIN), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), especialmente no BGF 11-001, que apresentou menores concentrações de fibras em todas as condições hídricas. A análise de componentes principais (PCA) indicou associação positiva entre o BGF 11-001 e o acúmulo de proteína bruta (PB) em estresse severo, além de correlação negativa entre as frações fibrosas e a relação F/C. O acesso BGF 11-001 demonstrou desempenho superior a cultivar Bela em déficit hídrico, destacando-se por atributos que favorecem a qualidade da forragem.

Palavras-chave: Recursos Genéticos Vegetais; Semiárido; Leguminosa forrageira; Estilosantes.

ABSTRACT

This study evaluated the effects of water deficit on biomass production and nutritional quality of *Stylosanthes* spp. genotypes. The experiment was conducted in a completely randomized design with three levels of water availability (60%, 40%, and 20% of pot capacity). Two genotypes were used: the cultivar BRS-Bela and the accession BGF 11-001. Water restriction led to decreases in leaf dry mass (LDM), stem dry mass (SDM), and total dry mass (TDM). The accession BGF 11-001 exhibited a higher leaf-to-stem ratio (L/S), a trait associated with better forage quality. Moderate and severe water deficits reduced ash content (ASH), neutral detergent fiber (NDF), and acid detergent fiber (ADF), especially in BGF 11-001, which showed lower fiber concentrations under all water regimes. Principal component analysis (PCA) indicated a positive association between BGF 11-001 and crude protein (CP) accumulation under severe stress, as well as a negative correlation between fiber fractions and the L/S ratio. The accession BGF 11-001 demonstrated superior performance compared to the cultivar Bela under water deficit, standing out for traits that enhance forage quality.

Keywords: Plant Genetic Resources; Semiarid; Forage Legume; Estilosantes.

1 INTRODUÇÃO

A demanda por plantas forrageiras adaptadas a condições climáticas adversas tem impulsionado pesquisas que visam selecionar genótipos capazes de manter a qualidade nutricional diante de condições de déficit hídrico. O Semiárido Brasileiro (SAB) apresenta balanço hídrico negativo em vários períodos devido às altas temperaturas e a precipitação irregular durante o ano (ANJOS *et al.*, 2022; NUNES *et al.*, 2022; SIMÕES *et al.*, 2022).

O déficit hídrico limita tanto o cultivo de plantas quanto a criação de animais, especialmente durante as estações secas (CIRILO *et al.*, 2017), resultando na redução do acúmulo de biomassa e, conseqüentemente, da disponibilidade de alimento para o pastejo. Esse cenário se agrava diante da escassez de genótipos adaptados às condições edafoclimáticas do SAB, o que restringe o potencial produtivo das espécies forrageiras e compromete a sustentabilidade da atividade agropecuária. A limitada oferta de materiais genéticos tolerantes a estresses abióticos, como a seca, reduz as possibilidades de seleção e cultivo de plantas mais resilientes, impactando diretamente o desenvolvimento socioeconômico da região e a segurança alimentar das populações que residem nesse local (CIRILO *et al.*, 2017).

A qualidade das plantas forrageiras é influenciada por diversos fatores que determinam seu valor nutritivo, como a presença de compostos antinutricionais, a digestibilidade e a sua composição química (REIS *et al.*, 2016). Além disso, parâmetros como teor de proteína bruta, fibras e digestibilidade da matéria seca são essenciais para essa avaliação. Estudos indicam que o déficit hídrico pode impactar diretamente na produção desses componentes, alterando a composição química e, conseqüentemente, o valor nutritivo das forrageiras (ZAINA; GAI, 2020; TAVAZOH *et al.*, 2024).

Diante desse cenário, o gênero *Stylosanthes* Sw. destaca-se por reunir espécies com elevada tolerância a condições de baixa disponibilidade hídrica (GONZALEZ *et al.* 2000; LIU *et al.* 2019; COOK; SCHULTZE-KRAFT, 2020), tornando-se uma alternativa viável para a formação de pastagens no SAB. Devido a essa característica, essas espécies podem desempenhar um papel essencial na alimentação animal, principalmente em períodos de estiagem prolongada.

Pertencente à família Fabaceae Lindl., o gênero *Stylosanthes* Sw. é amplamente reconhecido por sua relevância na produção forrageira, sendo classificado como um Recurso Genético Vegetal (RGV) de grande importância para a pecuária (COOK; SCHULTZE-KRAFT, 2020). Seu valor na formação de pastagens se deve, em parte, à sua composição nutricional diferenciada, apresentando teores de proteína bruta que variam entre 12% e 20% (GONZALEZ *et al.*, 2000).

A variabilidade genética do gênero *Stylosanthes* no SAB tem sido preservada no Banco de Germoplasma de Forrageiras da Universidade Estadual de Feira de Santana (BGF-UEFS), que conserva materiais coletados em expedições pelo semiárido baiano (SANTOS JÚNIOR *et al.* 2022). Estudos realizados por Oliveira *et al.* (2016) revelam ampla diversidade morfológica entre os acessos armazenados nesse banco. No entanto, são necessárias investigações mais aprofundadas para compreender o desempenho desses materiais em condições de déficit hídrico. Trabalhos nesse viés são essenciais para o desenvolvimento de cultivares forrageiras adaptadas a regiões áridas e semiáridas, onde a limitação hídrica é um dos principais desafios para a produção pecuária.

Portanto, diante das condições climáticas do SAB e da limitação de genótipos forrageiros tolerantes à restrição hídrica, o objetivo deste estudo foi avaliar a produção de biomassa e qualidade nutricional de *Stylosanthes* spp. em condições de déficit hídrico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de execução e obtenção do material vegetal

O experimento foi conduzido em telado na Unidade Experimental Horto Florestal da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), localizados nas coordenadas: 12°16'7,2"S e 38°56'21,6"W e altitude de 258 m.

Foi empregado o delineamento inteiramente ao acaso (DIC), em esquema fatorial 3x2, composto por três regimes hídricos e dois genótipos. Ambos os fatores foram considerados qualitativos, dado que as disponibilidades hídricas de 20%, 40% e 60% correspondem a déficit hídrico severo, déficit hídrico moderado e ausência de déficit hídrico, respectivamente. Para análise de biomassa, foram utilizadas seis unidades experimentais para a mensuração das respectivas variáveis, enquanto para as variáveis bromatológicas, quatro repetições foram usadas para quantificação dos atributos nutricionais.

Duas espécies foram utilizadas para a condução experimental, sendo uma delas *Stylosanthes viscosa* (L.) Sw., acesso BGF 11-001 – coletado nas coordenadas de 11°36'20"S e 39°09'52,1"W (Conceição do Coité, BA) (Figura 1). O segundo material genético utilizado foi a cultivar BRS-Bela (*Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw.), desenvolvida através de parcerias entre as unidades da Embrapa Gado de Corte e Embrapa Cerrados.

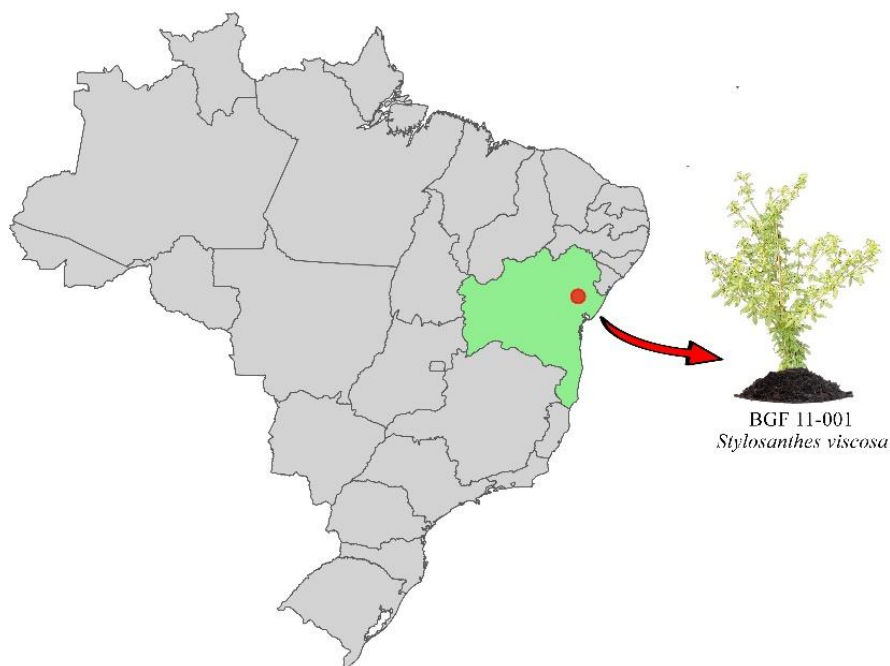


Figura 1. Localização geográfica do acesso BGF 11-001 (*Stylosanthes viscosa*).

2.2 Coleta do substrato e determinação da capacidade máxima de retenção de água/capacidade de vaso

2.2.1 Coleta do substrato e adubação

O substrato utilizado foi proveniente do solo da Unidade Experimental Horto Florestal, coletado na camada de 0-20 cm. Para a caracterização de seus atributos químicos e físicos, amostras simples do solo peneirado foram coletadas e, após homogeneização, compuseram uma amostra composta que foi enviada para análise laboratorial. As seguintes características foram obtidas através da análise: pH= 6,1 em H₂O; P= 32,0 mg/dm³; K= 140,0 mg/dm³; S= 11,0 mg/dm³; Fe= 57,0 mg/dm³; Zn= 6,2 mg/dm³; Cu= 0,8 mg/dm³; Mn= 13,9 mg/dm³; B= 0,27 mg/dm³; Ca= 2,6 cmol c/dm³; Mg= 0,7 cmol c/dm³; H+Al= 1,8 cmol c/dm³; M.O=2,95 dag/kg, V= 66%. Já os componentes físicos (frações granulométricas) correspondem a: areia= 660 g kg⁻¹; silte= 85 g kg⁻¹; argila= 288 g kg⁻¹, sendo sua classificação textural de franco argiloso arenoso.

De acordo com as recomendações do Manual de Adubação e Calagem do Estado de Minas Gerais (5º aproximação), não houve necessidade de calagem. Além disso, para adequar os parâmetros nutricionais à necessidade da cultura, 0,7g de super simples foi aplicado em cada unidade experimental para atender a demanda de fósforo.

2.2.2 Determinação da capacidade de vaso

A determinação da capacidade de vaso foi realizada no Laboratório de Germinação (LAGER), utilizando vasos com capacidade de 8 litros. Foram colocados 8 kg de terra fina, seca ao ar, em três vasos, que foram posteriormente posicionados em bandejas contendo água até atingir dois terços do volume máximo. Dessa forma, o substrato foi saturado por capilaridade, garantindo que todos os poros ficassem preenchidos com água. Em seguida, os vasos foram retirados das bandejas, cobertos com plástico PVC e colocados sobre um suporte para permitir a drenagem do excesso de água. A pesagem dos vasos foi realizada após 24, 48 e 72 horas de drenagem, com o auxílio de uma balança eletrônica (precisão de 0,02 g). Após a obtenção do peso constante, foi calculada a capacidade máxima de retenção de água do solo. A partir desse valor, determinaram-se os níveis de 60%, 40% e 20% da capacidade de retenção hídrica, conforme proposto por Bonfim-Silva et al. (2011).

2.3 Condução experimental

2.3.1 Tratamentos pré-germinativo e germinação das sementes

Devido à presença de dormência tegumentar, o acesso BGF 11-001 foi submetido ao processo de escarificação mecânica com o auxílio de lixa (n.º 150), realizada de forma manual. Após essa etapa, tanto as sementes do acesso BGF 11-001 quanto as da cv. Bela foram desinfestadas em hipoclorito de sódio (0,5%) por um período de 10 minutos e posteriormente foram lavadas em água destilada para a retirada do excesso da solução. As sementes foram colocadas em placas de Petri contendo duas folhas de papel germitest ao fundo, e adicionadas volumes de água correspondente a 2,5 vezes o peso do papel. Em seguida, os conjuntos foram levados para câmara de germinação do tipo B.O.D. (*Biochemical oxygen demand*) com ajuste de temperatura a 30 °C e fotoperíodo de 12 horas, onde permaneceram por um período de 3 dias. As sementes que apresentaram emissão da radícula foram transferidas para os respectivos vasos utilizados na condução experimental. Em cada um dos vasos foi semeado um quantitativo de 5 sementes.

2.3.2 Corte de uniformização, aplicação e manutenção da disponibilidade hídrica

Durante os 55 dias iniciais de cultivo, as plantas foram mantidas à capacidade de vaso de 60%, com a finalidade de se realizar a aclimação, com irrigação sendo realizada sempre que necessário. Após o período mencionado, houve o desbaste, mantendo apenas o indivíduo que se mostrou mais vigoroso dentro de cada unidade experimental. Dessa forma, foi procedido o corte de uniformização a uma altura de 15 cm.

Após a etapa mencionada, as plantas foram mantidas em 60% da capacidade de retenção de água por um período adicional de 50 dias, antes da imposição dos tratamentos hídricos. Em

seguida, os níveis de disponibilidade hídrica foram ajustados para 60% (sem déficit hídrico), 40% (déficit hídrico moderado) e 20% (déficit hídrico severo). O cultivo foi encerrado após 55 dias sob esses diferentes regimes hídricos. Ademais, os níveis de disponibilidade hídrica foram escolhidos com base em testes realizados previamente (dados não publicados), tendo em vista que em disponibilidades hídricas maiores que 60% ocasionaram nas plantas sintomas característicos de excesso de água.

2.3.3 Tratos culturais

Observações diárias foram realizadas para identificar presença de plantas daninhas nas parcelas experimentais. Nesse sentido, com propósito de evitar a competição por luz, nutrientes e água, e por ventura amenizar interferências ambientais durante a execução do experimento, realizou-se a retirada manual das plantas invasoras.

2.3.4 Obtenção das variáveis climáticas

Os dados do microclima foram obtidos através da utilização de um termo-higrômetro posicionado no interior do telado. Foram procedidas observações diárias e os dados referentes a tais observações encontram-se apresentados na Figura 2.

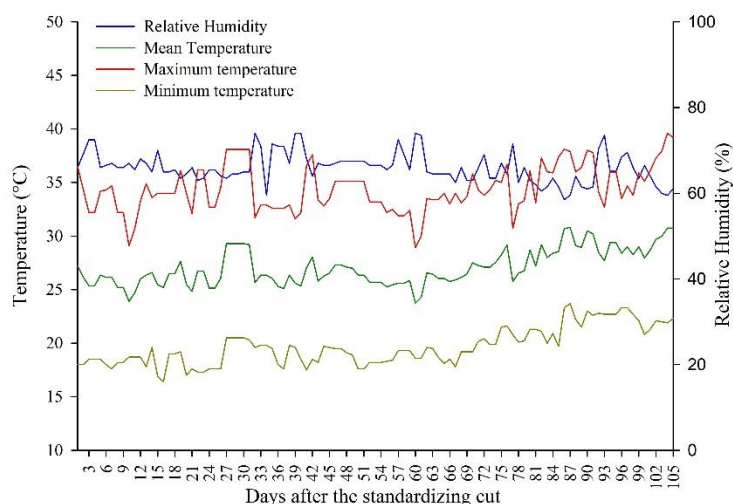


Figura 2. Microclima formado no interior do telado.

2.4 Determinações experimentais

2.4.1 Produção de biomassa

As determinações de produção de biomassa foram realizadas ao final do experimento, em um total de 6 indivíduos por tratamento selecionados aleatoriamente.

A matéria seca do caule (MSC, g) e das folhas (MSF, g) foram obtidos pela segmentação das partes, seguida de secagem em estufa com ventilação forçada a 55 °C por 72 horas e

posterior pesagem em balança analítica (MARTE AY220, com precisão de 0,0001 g). A matéria seca total (MST, g) foi calculada pela soma de MSC e MSF. A relação folha/caule (F/C) foi determinada pela divisão entre MSF e MSC.

2.4.2 Determinações bromatológicas

As análises bromatológicas foram realizadas no Laboratório de Forragicultura e Pastagem da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Para essas análises, utilizou-se a MST, de maneira que essa foi triturada em moinho do tipo Willey e o material resultante foi armazenado em embalagens apropriadas – hermeticamente vedadas – até o momento da análise.

As determinações bromatológicas foram realizadas com base nos métodos descritos por Detmann (2021).

A matéria seca (DM) foi determinada em estufa de secagem por um período de 16 horas, assim como descrito pelo método G-003/1; já o conteúdo de cinza (CIN) foi obtido pelo método da queima em mufla (M-001/2); a mensuração da proteína bruta (PB) foi realizada pelo método de Kjeldahl (N-001/2), por meio de digestão em bloco digestor com posterior destilação em destilador por arraste de vapor, em função do nitrogênio total.

Os conteúdos de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) e Fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) foram determinados pelos métodos (INCT-CA F-002/2), (INCT-CA F-004/2) e (F-009/2), respectivamente; a lignina (LIG) foi quantificada pelo método da hidrólise ácida (F-005/2); determinou-se a celulose (CEL) através da diferença entre a FDA e a LIG ($FDA - LIG = CEL$); e o conteúdo de hemicelulose foi calculado pela equação ($FDN - FDA = HEM$).

Os resultados das variáveis supracitadas foram expressos em referência à sua proporção em relação à DM, e então expressas em %.

2.5 Análise de dados

Previamente, foram realizados testes para verificar as pressuposições necessárias à análise de variância (ANOVA). O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para avaliar a normalidade dos resíduos, enquanto o teste de Bartlett verificou a homoscedasticidade das variâncias – realizados por meio das funções “shapiro.test” e “bartlett”, respectivamente, utilizando o pacote ExpDes.pt. Atendidas essas pressuposições, a ANOVA foi conduzida com a função “fat2.dic” do mesmo pacote supracitado, adotando-se um nível de significância de 5%. Quando houve interação significativa entre os fatores, os desdobramentos foram realizados pelo teste de comparações múltiplas de Tukey (5%), também utilizando a função “fat2.dic” (FERREIRA *et al.*, 2021).

Adicionalmente, realizou-se uma análise de componentes principais (PCA) para investigar as relações entre os tratamentos e as variáveis analisadas. A análise foi realizada por meio da função “prcomp” do pacote factoextra, e os resultados foram visualizados por meio do gráfico *biplot*, gerado pelo comando “fviz_pca_biplot” (KASSAMBARA; MUNDT, 2020).

Todas as análises foram conduzidas por meio software estatístico R (versão 2024.12.0+467) (R CORE TEAM, 2024).

3. RESULTADOS

A Tabela 1 resume os resultados da análise de variância (ANOVA) para as variáveis avaliadas. No que diz respeito à produção de biomassa, a interação entre os fatores foi significativa apenas para MSC ($p \leq 0,05$); além disso, o genótipo exerceu efeito significativo ($p \leq 0,01$) para MSF e F/C, quando analisado isoladamente. A disponibilidade hídrica apresentou alta significância ($p \leq 0,01$) para MSF e MST.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para as variáveis avaliadas no cultivo de *Stylosanthes* spp. sob déficit hídrico.

Fonte de variação	MSF	MSC	MST	F/C
Genótipo	9,54 ^{**}	14,66 ^{**}	1,01 ^{ns}	300,89 ^{**}
Disponibilidade Hídrica	11,53 ^{**}	21,69 ^{**}	17,71 ^{**}	2,01 ^{ns}
Interação	0,94 ^{ns}	3,14 [*]	1,33 ^{ns}	1,13 ^{ns}
CV (%)	33,37	31,07	32,06	12,64
	PB	FDN	FDA	HEM
Genótipo	2,72 ^{ns}	6,84 ^{**}	7,62 [*]	0,36 ^{ns}
Disponibilidade Hídrica	0,00 ^{ns}	11,36 ^{**}	7,21 ^{**}	9,00 ^{**}
Interação	2,69 ^{ns}	3,85 [*]	2,25 ^{ns}	5,84 [*]
CV (%)	9,12	5,03	6,76	4,85
	LIG	FDNi	CIN	CEL
Genótipo	0,01 ^{ns}	5,86 [*]	0,39 ^{ns}	8,31 ^{**}
Disponibilidade Hídrica	3,55 [*]	5,85 [*]	5,44 [*]	11,47 ^{**}
Interação	5,69 [*]	1,64 ^{ns}	0,43 ^{ns}	5,00 [*]
CV (%)	10,31	9,97	5,65	7,49

CV: Coeficiente de variação; **, *, ^{ns}: significativo ($p \leq 0,01$), ($p \leq 0,05$) e não significativo pelo teste F, respectivamente. MSF: Massa seca foliar; MSC: Massa seca do caule; MST: Massa seca total; F/C: Relação folha/caule; CIN: Cinzas; PB: Proteína bruta; FDN: Fibra em detergente neutro; FDA: Fibra em detergente ácido; HEM: Hemicelulose; CEL: Celulose; LIG: Lignina; FDNi: Fibra em detergente neutro indigestível.

Observa-se que, em 60% de disponibilidade hídrica, o genótipo Bela apresentou maior MSC em comparação ao BGF 11-001 (Figura 3). No entanto, em 20% e 40% de disponibilidade hídrica ambos os genótipos não diferiram estatisticamente entre si. Além disso, a cultivar Bela exibiu um aumento significativo na MSC quando cultivada sem déficit hídrico (60%), diferindo significativamente dos demais níveis; enquanto no acesso BGF 11-001 essa variação foi menos acentuada.

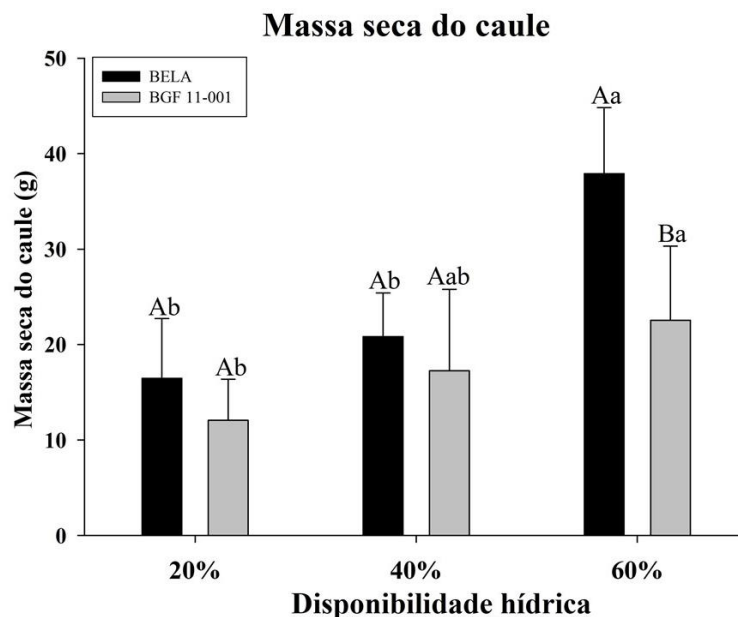


Figura 3. Desdobramento da interação da massa seca do caule de *Stylosanthes* spp. cultivadas em condições de déficit hídrico. Médias seguidas por letras distintas (maiúsculas para o fator genótipo e minúsculas para o fator disponibilidade hídrica) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Constatou-se que para as variáveis MSF (Figura 4A) e F/C (Figura 4B) o acesso BGF 11-001 demonstrou valores significativamente maiores em relação aos da cultivar Bela, indicando superioridade desse genótipo para a produção de folhas e a razão folha/caule.

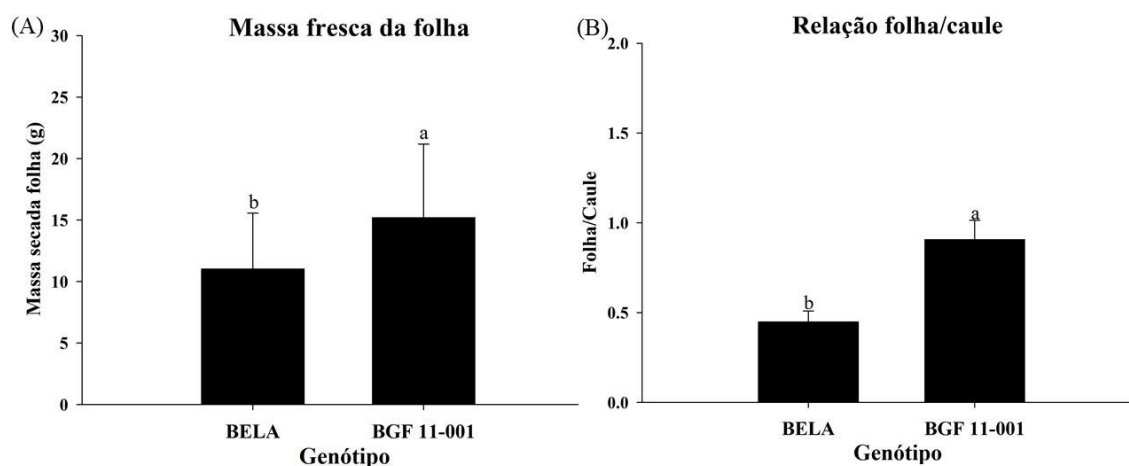


Figura 4. Avaliação individual do fator genótipo na produção de biomassa entre genótipos de *Stylosanthes* spp. produção de biomassa de *Stylosanthes* spp. cultivadas em condições de déficit hídrico. A - Massa seca da folha; B - Relação folha/caule. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Já ao avaliar o fator disponibilidade hídrica considerando as variáveis MSF (Figura 5A) e a MST (Figura 5B), o nível sem déficit hídrico (60%) apresentou os maiores valores médios e significativamente superior aos níveis com 20% e 40%, sendo esses últimos estatisticamente iguais entre si em ambas as variáveis.

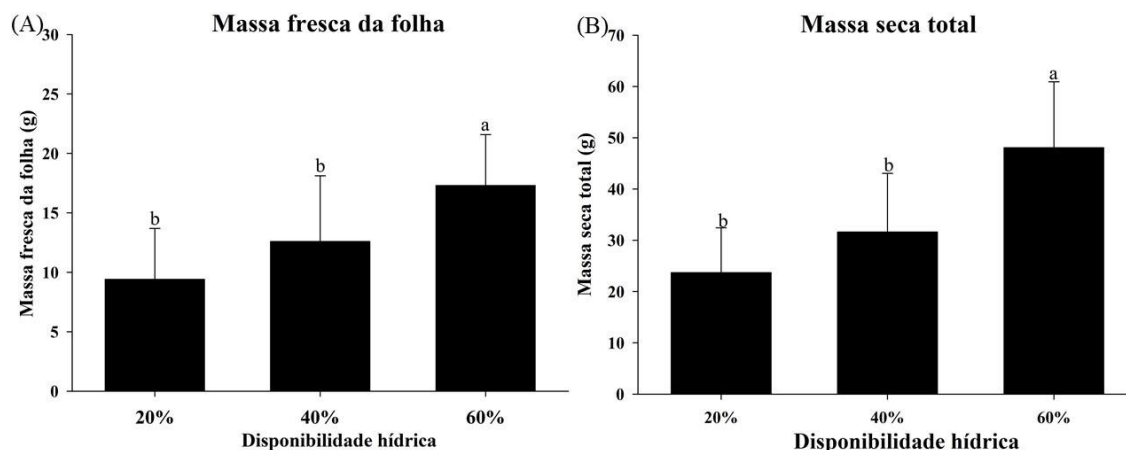


Figura 5. Efeito individual do fator disponibilidade hídrica na produção de biomassa de *Stylosanthes* spp. cultivadas em condições de déficit hídrico. A – Massa seca foliar; B – Massa seca total. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Quanto às variáveis bromatológicas (Tabela 1), a interação entre os fatores foi significativa para FDN, HEM, CEL e LIG. Já o fator genótipo, por sua vez, diferiu significativamente apenas para FDA e FDNi, e a disponibilidade hídrica influenciou de maneira isolada sobre CIN, FDA e FDNi. A variável PB não apresentou interação significativa entre os fatores, e esses, isoladamente, não apresentaram diferenças significativas na disponibilidade hídrica e no genótipo.

Para FDN (Figura 6A) e HEM (Figura 6B), observou-se que a disponibilidade hídrica, de modo geral, não influenciou significativamente os genótipos, com exceção do nível de disponibilidade hídrica de 40%, no qual o genótipo BGF 11-001 apresentou menores valores em relação à cultivar Bela. Analisando os genótipos dentro de cada disponibilidade hídrica, verificou-se que a redução para 40% já foi suficiente para causar efeitos significativos sobre o conteúdo de fibra em detergente neutro e hemicelulose, uma vez que valores inferiores foram encontrados para esse nível, sendo estatisticamente semelhantes aos observados em 20%. Por outro lado, a cultivar Bela apresentou redução significativa no conteúdo de FDN e HEM apenas quando submetida ao tratamento com 20% de disponibilidade hídrica.

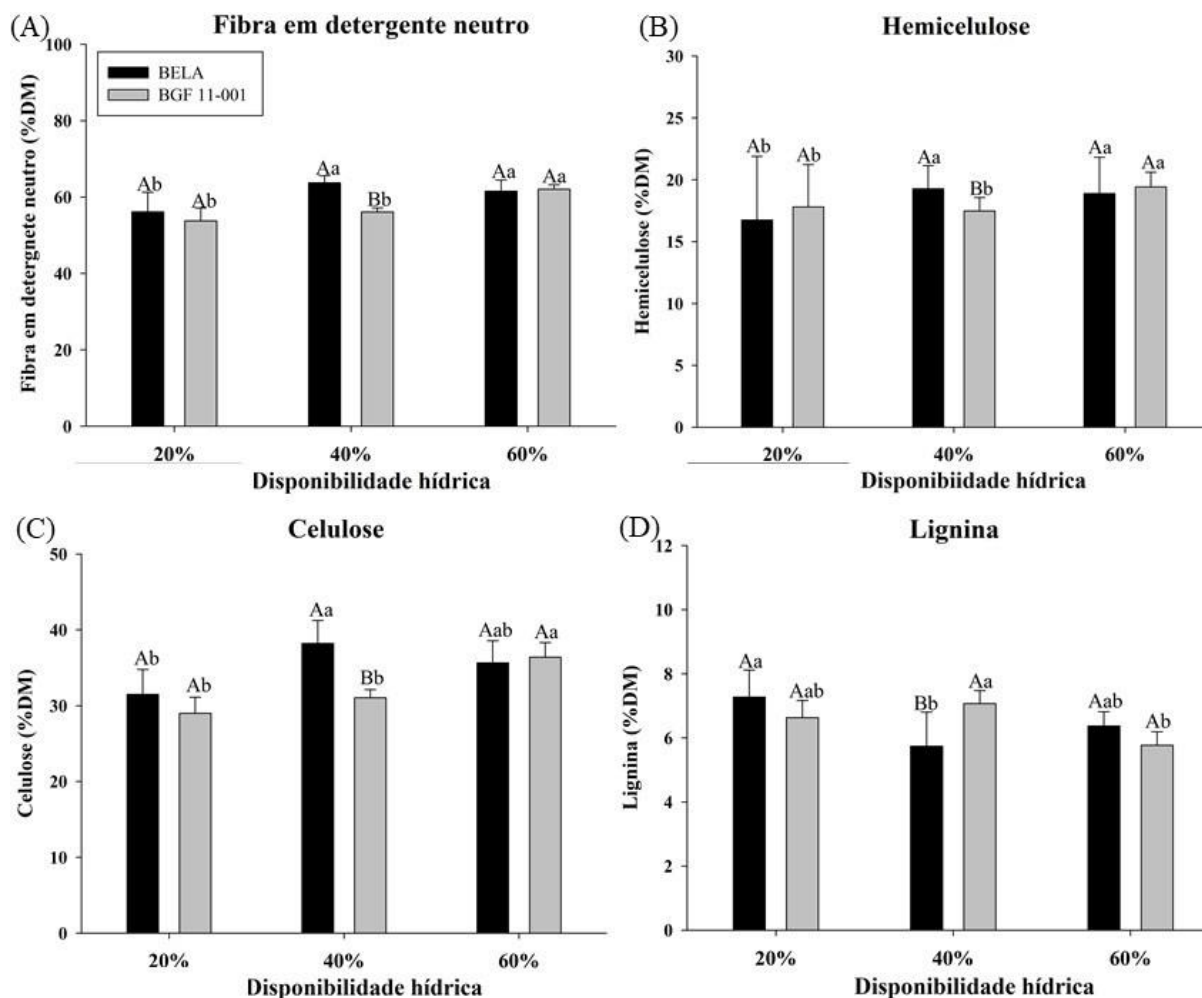


Figura 6 Desdobramento da interação das variáveis bromatológicas de *Stylosanthes* spp. cultivadas em condições de déficit hídrico. Médias seguidas por letras distintas (maiúsculas para o fator genótipo e minúsculas para o fator disponibilidade hídrica) diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Fibra em detergente neutro; B – Hemicelulose; C – Celulose; D – Lignina

Para a variável CEL (Figura 6C), verificou-se que apenas a disponibilidade hídrica de 40% o BGF 11-001 apresentou valores inferiores em comparação a cultivar Bela; nos demais regimes, os genótipos não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Ao desdobrar os genótipos dentro de cada nível de disponibilidade hídrica, observa-se que o acesso apresentou um incremento no conteúdo de celulose quando cultivado sob o maior fornecimento de água (60%), enquanto nas disponibilidades de 20% e 40% não foram constatadas diferenças estatísticas; já para a cultivar Bela, a análise estatística revelou que a média do regime hídrico de 60% foi estatisticamente igual às de 20% e 40%, todavia, estas duas últimas diferiram entre si, sendo que o maior conteúdo de celulose foi constatado na disponibilidade hídrica de 40%.

Os teores de lignina (Figura 6D) foram influenciados pela interação entre genótipo e disponibilidade hídrica. A cultivar Bela apresentou maior estabilidade para essa variável quando submetida à condição de 60% de disponibilidade hídrica, uma vez que sua média não diferiu significativamente dos níveis de 20% e 40%. No entanto, os teores observados sob 20%

e 40% diferiram entre si, sendo que na condição de déficit hídrico severo (20%) foi registrado o maior teor de lignina. Por outro lado, o acesso BGF 11-001 apresentou desempenho distinto em relação a cultivar, com aumento no teor de lignina sob déficit moderado (40%) em comparação à condição sem déficit (60%). Contudo, sob déficit severo (20%), não foram observadas diferenças significativas em relação às demais disponibilidades hídricas. Ao analisar a comparação entre genótipos dentro de cada nível de disponibilidade, observa-se que apenas na condição de 40% houve diferença significativa, sendo que o teor de lignina do BGF 11-001 foi superior ao da cultivar Bela.

Ao avaliar isoladamente o fator genótipo para as variáveis FDA (Figura 7A) e FDNi (Figura 7B), foi observado que a cultivar Bela apresentou os maiores resultados para essas variáveis quando comparada com o acesso BGF 11-001 para ambas as variáveis mencionadas.

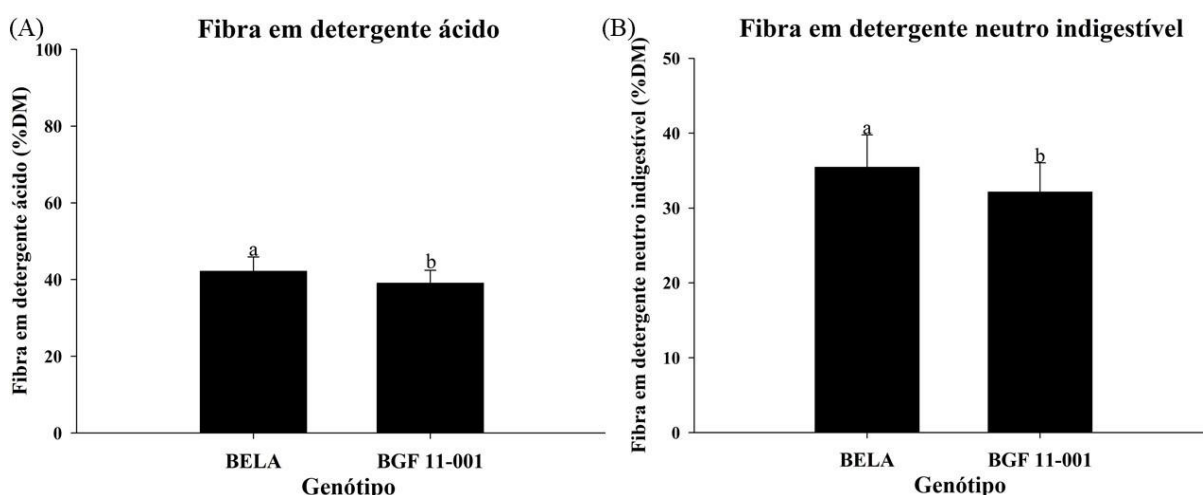


Figura 7. Avaliação individual do fator genótipo na produção de biomassa entre genótipos de *Stylosanthes* spp. produção de biomassa de *Stylosanthes* spp. cultivadas em condições de déficit hídrico. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Fibra em detergente ácido; B – Fibra em detergente neutro indigestível.

A avaliação individual do fator disponibilidade hídrica indicou que para o conteúdo de cinzas (Figura 8A) a disponibilidade hídrica de 60% proporcionou um incremento nessa variável, uma vez que reduções significativas foram constatadas em déficit hídrico moderado (40%) e severo (20%). As variáveis FDA (Figura 8B) e FDNi (Figura 8C) apresentaram redução significativa quando os genótipos foram submetidos ao cultivo com 20% de fornecimento de água, diferindo significativamente dos tratamentos de 40% e 60%, os quais por sua vez foram estatisticamente iguais entre si.

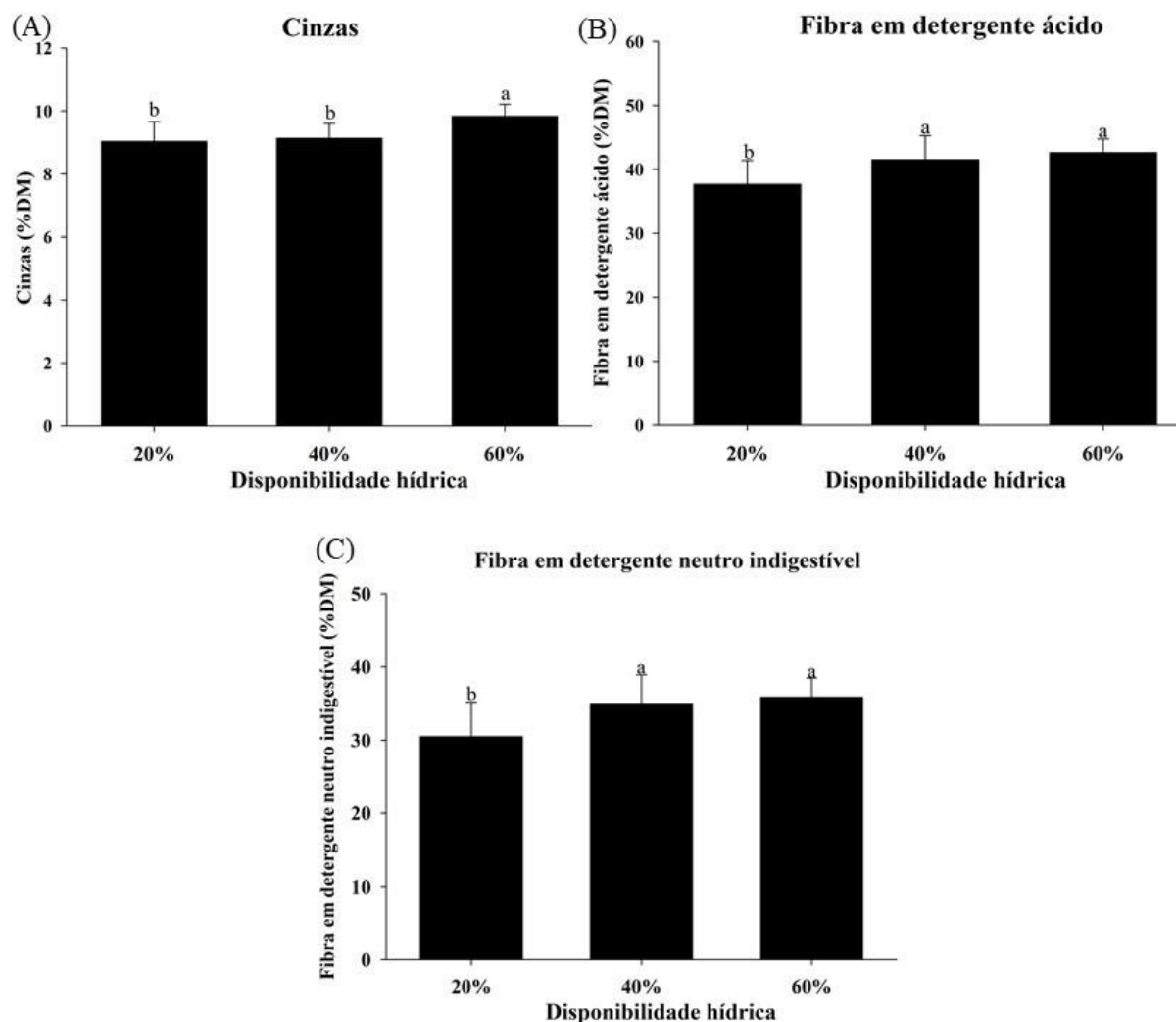


Figura 8. Efeito individual do fator disponibilidade hídrica na produção de biomassa de *Stylosanthes* spp. cultivadas em condições de déficit hídrico. Médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A – Cinzas; B – Fibra em detergente ácido; C – Fibra em detergente neutro indigestível.

Observa-se, através do gráfico *biplot* (Figura 9) que os dois primeiros componentes principais (PCA1 e PCA2) capturaram conjuntamente 81,2% da variação total dos dados. Além disso, observou-se forte correlação entre FDN, FDA, CEL, HEM e FDNi, evidenciada pela proximidade entre essas variáveis; por outro lado, a PB posicionou-se de forma oposta às variáveis mencionadas, indicando uma correlação negativa com elas. O tratamento do genótipo BGF 11-001 nas disponibilidades hídricas de 20% e 40% apresentou associação com PB, sugerindo uma maior proporção de proteína bruta; já a MSF e a CIN estiveram associados ao tratamento do BGF 11-001 em 60% de disponibilidade hídrica. Por sua vez, a cultivar Bela, em 60% de disponibilidade hídrica, demonstrou alta associação com a HEM e com MSC, e posicionou-se oposta à LIG.

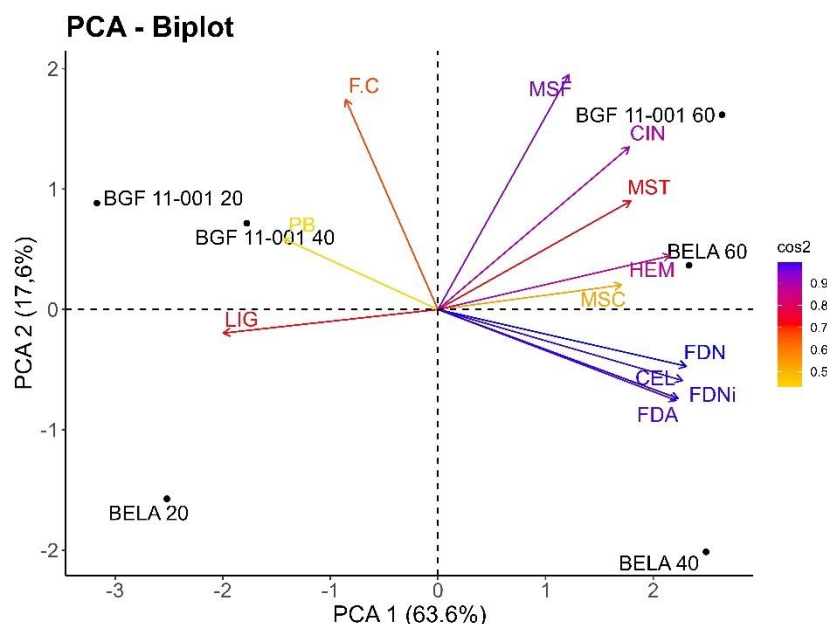


Figura 9. Análise de Componentes Principais das variáveis experimentais mensuradas em *Stylosanthes* spp. sob condições de déficit hídrico. LDF: Massa seca foliar; MSC: Massa seca do caule; MST: Massa seca total; F/C: Relação folha/caule; CIN: Cinzas; PB: Proteína bruta; FDN: Fibra em detergente neutro; FDA: Fibra em detergente ácido; HEM: Hemicelulose; CEL: Celulose; LIG: Lignina; FDNi: Fibra em detergente neutro indigestível.

4. DISCUSSÃO

Plantas submetidas ao déficit hídrico tendem a reduzir a área foliar como uma estratégia para minimizar a perda de água e, assim, manter-se hidratadas por períodos mais prolongados, o que implica também na diminuição da superfície de interceptação da radiação solar (CRUZ *et al.*, 2023). Essa adaptação permite que a água disponível seja preservada por mais tempo para sustentar a manutenção das atividades metabólicas. No entanto, é importante destacar que a fotossíntese é diretamente afetada em razão da diminuição da área foliar, uma vez que esta representa a principal superfície de interceptação solar, resultando, consequentemente, em menor produção de biomassa (MEDRANO *et al.*, 2007; CRUZ *et al.*, 2023). Essas evidências podem justificar o desempenho observado neste estudo, em que a produção de folhas foi reduzida à medida que o déficit hídrico se intensificou.

As condições de déficit hídrico promoveram desempenhos semelhantes para as variáveis MSC (Figura 3) e MST (Figura 5B), evidenciando que ambas também foram impactadas pela redução na disponibilidade de água. Esses resultados corroboram os encontrados por Gomes *et al.* (2023) e Tavazoh *et al.* (2024), que relataram redução na produção de massa seca em *Brachiaria* spp. e *Sorghum bicolor* (L.) Moench, respectivamente, em condições de estresse hídrico.

Ademais, Nagaich *et al.* (2013), ao analisarem as características morfológicas de acessos de *Stylosanthes scabra* Vogel em condições restrição hídrica, constataram uma redução

significativa no acúmulo de biomassa nos genótipos submetidos ao estresse, com diminuições variando de 10% a 70% na altura das plantas, em comparação aos respectivos controles mantidos em suprimento hídrico adequado.

Ao comparar os genótipos, a variável MST (Tabela 1) não apresentou diferenças significativas entre a cultivar Bela e o BGF 11-001, indicando que a produção de massa seca total foi estatisticamente equivalente entre ambos, independentemente das condições hídricas. A ausência de diferenças estatísticas pode estar relacionada à associação observada, e reforçada pela análise PCA (Figura 9), entre a cultivar Bela e a produção de colmos, o que pode ter contribuído para a equivalência na massa seca total entre os genótipos.

A relação folha/colmo é um parâmetro fundamental em leguminosas forrageiras, uma vez que valores mais baixos podem indicar menor qualidade da forragem. Os valores superiores apresentados pelo acesso BGF 11-001 para a variável F/C (Figura 4B) em comparação a cultivar Bela influencia diretamente o consumo durante o pastejo, já que os animais tendem a preferir estruturas mais tenras e nutritivas, como as folhas (Teixeira *et al.*, 2010), o que favorece a digestibilidade da dieta e o ganho médio diário (Grise *et al.*, 2001).

Neste estudo, observou-se que, para ambos os acessos, o déficit hídrico moderado (40%) foi suficiente para promover a redução no teor de cinzas (Figura 8A). Resultados contrastantes foram relatados por Tavazoh *et al.* (2024) em *S. bicolor*, onde houve aumento no teor de cinzas em condições de disponibilidade hídrica reduzida. O teor de cinzas em plantas forrageiras representa os componentes minerais inorgânicos que permanecem na fase sólida após o processo de incineração (LEE, 2018), e nessa perspectiva sugere uma indicação da concentração de nutrientes minerais em plantas forrageiras (RODRIGUES JÚNIOR *et al.*, 2015). Diante do comprometimento da absorção de nutrientes minerais em condições de déficit hídrico — tendo em vista que a água é o principal meio de transporte de íons do solo até as raízes —, os resultados observados neste estudo podem ser atribuídos à menor absorção desses elementos pelas plantas nos tratamentos com restrição hídrica (RAD *et al.*, 2021).

Embora o teste de comparação múltipla de médias tenha identificado interação entre os fatores ou diferenças significativas entre eles quando analisados de maneira isolada, a análise de PCA (Figura 9) revelou uma maior associação da PB com o genótipo BGF 11-001 em disponibilidade hídrica de 20%. O conteúdo de proteína bruta é uma das variáveis de maior importância para a determinação da qualidade de plantas forrageiras, tendo em vista que baixos valores dessa fração resultam na limitação na produtividade animal (VELOSO *et al.*, 2006). Por isso, é fundamental que forrageiras apresentem valores adequados de PB, uma vez que proporções reduzidas podem elevar os custos da produção pecuária através da necessidade de

suplementação, com fontes adicionais, que venham a suprir a necessidade nutricional dos animais (BITTENCOURT *et al.*, 2021).

Sob condições de déficit hídrico severo (20%), o teor de proteína bruta no genótipo BGF 11-001 alcançou 12,02%, representando um acréscimo de 1,41% em comparação ao tratamento sob condição hídrica ideal. Em contrapartida, a cultivar Bela apresentou comportamento oposto, com teor de 11,69% sob estresse hídrico e 11,90% em condição ideal, correspondendo a um decréscimo de 0,21%. Segundo Cavalcante *et al.* (2006), dietas com 10,5% de proteína bruta já são suficientes para manter o metabolismo ruminal eficiente e a síntese de proteína microbiana, indicando que os teores observados neste estudo são nutricionalmente adequados para ruminantes.

Ademais, as condições de déficit hídrico reduziram em ambos os genótipos as concentrações de fibras em detergente neutro (Figura 6A) e em detergente ácido (Figura 8B). Fatores como disponibilidade hídrica, luminosidade, temperatura, além de interações entre características morfológicas – como a relação folha/colmo e as fases do desenvolvimento vegetativo – podem influenciar significativamente a concentração de fibras em plantas forrageiras (FULKERSON *et al.* 2006). Metabolicamente, essa redução nas fibras estruturais pode ser explicada por alterações na alocação de carbono destinado a biossíntese da parede celular, pois, em estresse hídrico, esse carbono passa a ser redirecionado para a produção de carboidratos solúveis e compostos de defesa (MUNNÉ-BOSCH; ALEGRE, 2004), os quais podem estar envolvidos em estratégias de tolerância ao déficit hídrico. Tavazoh *et al.* (2024) encontrou resultados semelhantes, uma vez que *S. bicolor* apresentou o mesmo desempenho – através da redução do conteúdo de fibras em condições de seca/disponibilidade reduzida de água.

Outrossim, o genótipo BGF 11-001, em comparação com a cultivar Bela, apresentou superioridade para as variáveis FDN e FDA, devido aos menores teores em todas as disponibilidades hídricas testadas neste estudo. Essa superioridade justifica-se porque concentrações reduzidas de fibras são frequentemente consideradas benéficas, pois podem favorecer uma maior ingestão de forragem e melhorar sua digestibilidade (LIU *et al.*, 2018).

Além disso, a diferença apresentada possivelmente está relacionada à relação F/C, tendo em vista que para o BGF 11-001 a proporção de folhas foi maior que na cultivar; reforçada, ainda, pelo resultado mostrado na análise de PCA, que evidenciou a existência de correlação negativa entre a relação F/C com a FDA e FDN.

A PCA indicou um comportamento inverso entre a lignina e a FDNi, evidenciando uma correlação negativa entre essas variáveis no espaço multivariado. Esse resultado contrasta com

o padrão comumente descrito na literatura, segundo o qual a lignina é considerada um dos principais fatores limitantes da digestibilidade da fibra (CARVALHO; PIRES, 2008). Por outro lado, a FDNi apresentou associação positiva com a celulose e a hemicelulose, sugerindo que, neste estudo, essas frações estruturais contribuíram de forma mais expressiva para a porção indigestível da fibra. Tal padrão pode estar relacionado à composição anatômica das plantas forrageiras avaliadas, a qual influencia diretamente o valor nutritivo, ou ainda ao estágio de desenvolvimento em que essas plantas se encontravam (CARVALHO; PIRES, 2008).

Ademais, o teste de comparação de médias revelou que a condição de déficit hídrico severo (20%) promoveu a redução no teor de FDNi (Figura 8C). Esse resultado sugere que a menor disponibilidade de água favoreceu o aumento da digestibilidade dos genótipos avaliados, uma vez que o teor de FDNi apresenta correlação negativa com esse parâmetro. No entanto, esse achado diverge do relatado em outros estudos, os quais observaram redução da digestibilidade com o aumento da severidade do estresse hídrico (PALIERAQUI *et al.*, 2006; LEE, 2018; FERREIRA *et al.*, 2021).

5. CONCLUSÃO

O acesso BGF 11-001 apresenta maior capacidade adaptativa ao déficit hídrico em comparação a cultivar BRS-Bela.

A superioridade do acesso BGF 11-001 é evidenciada por sua maior razão folha/caule; além da qualidade da forragem e menores teores de fibra, especialmente em déficit hídrico severo, destacando-o como material promissor para o desenvolvimento de leguminosas forrageiras adaptadas a regiões semiáridas e sujeitas à seca prolongada.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, F. A.; FERRAZ, R. L. S.; AZEVEDO, C. A. V.; COSTA, P. S.; MELO, A. S.; RAMALHO, V. R. Relationship between physiology and production of maize under different water replacements in the Brazilian semi-arid. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 21–27, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n1p21-27>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- BITTENCOURT, T. M.; VALENTIM, J. K.; LIMA, H. J. D.; GOBIRA, G. A.; FERREIRA, A. L.; RODRIGUES, R. F. M.; ALMEIDA, G. R.; SILVA, N. E. M. Proteína na nutrição de não ruminantes. **Ensaio e Ciência**, v. 25, p. 268–274, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2021v25n3p268-274>. Acesso em: 29 jun. 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/1871>. Acesso em: 28 jun. 2025.
- CARVALHO, G. G. P.; PIRES, A. J. V. Organização dos tecidos de plantas forrageiras e suas implicações para os ruminantes. *Archivos de Zootecnia*, v. 57, n. 1, p. 13–28, 2008. Disponível em: https://www.academia.edu/6877743/ORGANIZA%C3%87%C3%83O_DOS_TECIDOS_DE_PLANTAS_FORRAGEIRAS_E_SUAS_IMPLICA%C3%87%C3%95ES_PARA_OS_RUMINANTES_FORAGE_PLANTS_TISSUE_ORGANIZATION_AND_ITS_IMPLICATIONS_IN_RUMINANT. Acesso em: 30 jun. 2025.
- CAVALCANTE, M. A. B.; PEREIRA, O. G.; VALADARES FILHO, S. C.; RIBEIRO, K. G.; PACHECO, L. B. B.; ARAÚJO, D.; LEMOS, V. M. C. Níveis de proteína bruta em dietas para bovinos de corte: parâmetros ruminais, balanço de compostos nitrogenados e produção de proteína microbiana. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 203–216, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000700029>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CAMPOS, J. N. B. **The issue of water in the Brazilian semi-arid region**. In: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTHUL, M. C. B. (ed.). *Waters of Brazil: strategic analysis*, 1. ed. São Paulo: Springer, 2017. p. 59–71.
- COOK, B. G.; SCHULTZE-KRAFT, R. Clearing confusion in *Stylosanthes* taxonomy: 1. S. seabrana B.L. & Maass & ‘t Mannetje. **Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales**, v. 8, n. 1, p. 40–47, 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.17138/tgft\(8\)40-47](https://doi.org/10.17138/tgft(8)40-47). Acesso em: 29 jun. 2025.
- CRUZ, N. T.; PORTO, E. M. V.; RAMOS, B. L. P.; SANTOS, H. P.; SEIXAS, A. A.; SANTOS, A. P. S. Estresse hídrico em plantas forrageiras: uma breve revisão. **Revista Científica Rural**, v. 25, n. 1, p. 1–19, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/246831.25.1-14>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- DETMANN, E.; SILVA, L. F. C.; ROCHA, G. C.; PALMA, M. N. N.; RODRIGUES, J. P. P. **Métodos para análise de alimentos**. Viçosa: Editora UFV, 2021.
- FERREIRA, G.; MARTIN, L. L.; TEETS, C. L.; CORL, B. A.; HINES, S. L.; SHEWMAKER, G. E.; HARO-MARTI, M. E.; CHAHINE, M. Effect of drought stress on in vitro neutral

detergent fiber digestibility of corn for silage. **Animal Feed Science and Technology**, v. 273, p. 114803, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114803>. Acesso em: 29 jun. 2025.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portuguese)**. R package version 1.2.2, 2021. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>. Acesso em: 16 jan. 2025.

FULKERSON, W. J.; NEAL, J. S.; CLARK, F. C.; HORADAGODA, A.; NANDRA, K. S.; BRACHIA, I. Nutritive value of forage species grown in the warm temperate climate of Australia for dairy cows: Grasses and legumes. **Livestock Science**, v. 107, n. 2–3, p. 253–264, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.09.029>. Acesso em: 29 jun. 2025.

GOMES, L. D.; LIMA, K. L. L.; SILVA, G. B. A.; BORGES, L. C. O.; RIGHI, R. S. M.; DUARTE, C. F. D.; CABRAL, C. H. A.; CABRAL, C. E. A. Tolerância de híbridos de braquiária ao estresse hídrico. **Scientific Electronic Archives**, v. 16, n. 10, p. 1–7, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.36560/161020231792>. Acesso em: 29 jun. 2025.

GONZALEZ, L. M.; LOPEZ, R. C.; FONSECA, I.; RAMIREZ, R. Growth, stomatal frequency, DM yield and accumulation of ions in nine species of grassland legumes grown under saline conditions. **Pastos y Forrajes**, v. 23, p. 299–308, 2000.

GRISE, M. M.; CECATO, U.; MORAES, A. D.; CANTO, M. W.; MARTINS, E. N.; PELISSARI, A.; MIRA, R. T. Avaliação da composição química e da digestibilidade in vitro da mistura aveia IAPAR 61 (*Avena strigosa* Schreb) + ervilha forrageira (*Pisum arvense* L.) em diferentes alturas sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 659–665, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000300008>. Acesso em: 29 jun. 2025.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, v. 5, n. 1, p. 83–90, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.18607/ES20165053>. Acesso em: 29 jun. 2025.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. **factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses**. R package version 1.0.7, 2020. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>. Acesso em: 16 jan. 2025.

LEE, M. A. A global comparison of the nutritive values of forage plants grown in contrasting environments. **Journal of Plant Research**, v. 131, n. 4, p. 641–654, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10265-018-1024-y>. Acesso em: 29 jun. 2025.

LIU, Y.; LI, X.; LI, K.; WANG, W.; ZHANG, X.; ZHENG, Y.; YU, G. Influence of drought stress on alfalfa yields and nutritional composition. **BMC Plant Biology**, v. 18, p. 1–9, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1444-5>. Acesso em: 29 jun. 2025.

LIU, P.; HUANG, R.; HU, X.; JIA, Y.; LI, J.; LUO, J.; LIU, Q.; LUO, L.; LIU, G.; CHEN, Z. Physiological responses and proteomic changes reveal insights into *Stylosanthes* response to manganese toxicity. **BMC Plant Biology**, v. 19, p. 202–223, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1822-y>. Acesso em: 29 jun. 2025.

MEDRANO, H.; BOTA, J.; CIFRE, J.; FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; GULÍAS, J.

Eficiencia en el uso del agua por las plantas. **Investigaciones Geográficas**, n. 43, p. 63–84, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.14198/INGEO2007.43.04>. Acesso em: 29 jun. 2025.

MUNNÉ-BOSCH, S.; ALEGRE, L. Die and let live: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. **Functional Plant Biology**, v. 31, n. 3, p. 203–216, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/FP03236>. Acesso em: 29 jun. 2025.

NAGAICH, D.; TIWARI, K. K.; SRIVASTVA, N.; CHANDRA, A. Assessment of genetic diversity and morpho-physiological traits related to drought tolerance in *Stylosanthes scabra*. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 35, p. 3127–3136, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1345-3>. Acesso em: 29 jun. 2025.

NUNES, K. G.; COSTA, R. N. T.; CALVACANTE, I. N.; GONDIM, R. S.; LIMA, S. C. R. V.; MATEOS, L. Groundwater resources for agricultural purposes in the Brazilian semi-arid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 12, p. 915–923, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n12p915-923>. Acesso em: 29 jun. 2025.

OLIVEIRA, R. S.; QUEIRÓZ, M. A.; ROMÃO, R. L.; SILVA, G. C.; BRASILEIRO, B. P. Genetic diversity in accessions of *Stylosanthes* spp. using morphoagronomic descriptors. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 1, p. 101–112, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n112rc>. Acesso em: 29 jun. 2025.

PALIERAQUI, J. G. B.; LIMA, M. L. A.; JOBIM, C. C.; CECATO, U.; OLIVEIRA, F. C. Influência da irrigação sobre a disponibilidade, a composição química, a digestibilidade e o consumo dos capins mombaça e napier. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 2381–2387, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000800026>. Acesso em: 29 jun. 2025.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 16 jan. 2025.

RAD, R. D.; SHARIFABAD, H. H.; TORABI, B.; AZIZINEJAD, R.; SALEMI, H.; SOLTANABADI, M. H. Impact of drought stress on biochemical responses, energy, and water productivity on maize forage (*Zea mays* L.). **SN Applied Sciences**, v. 3, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04813-z>. Acesso em: 29 jun. 2025.

REIS, R. A.; BARBERO, R. P.; HOFFMANN, A. Impactos da qualidade da forragem em sistemas de produção de bovinos de corte. **Informações Agropecuárias**, v. 37, p. 36–53, 2016.

RODRIGUES JÚNIOR, C. T.; CARNEIRO, M. S. S.; MAGALHÃES, J. A.; PEREIRA, E. S.; RODRIGUES, B. H. N.; COSTA, N. L.; PINTO, M. S. C.; ANDRADE, A. C.; PINTO, A. P.; FOGAÇA, F. H. S.; CASTRO, K. N. C. Produção e composição bromatológica do capim-Marandu em diferentes épocas de diferimento e utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, p. 2141–2154, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3Supl1p2141>. Acesso em: 29 jun. 2025.

SANTOS JÚNIOR, R. A. S.; PELACANI, C. R.; SANTOS, V. O.; SILVA, A. A.; FERNANDES, S. M.; GISSI, D. S.; OLIVEIRA, R. S. Banco de Germoplasma de Forrageiras

da Universidade Estadual de Feira de Santana (BGF-UEFS). **Revista RG News**, v. 8, n. 2, p. 5–15, 2022.

SIMÕES, W. L.; OLIVEIRA, A. R.; GUIMARÃES, M. J. M.; SILVA, J. S.; SILVA, W. O.; OLIVEIRA, C. R. S.; VOLTOLINI, T. V.; BARBOSA, K. V. S. Arranjo populacional do sorgo forrageiro irrigado para um cultivo eficiente no Semiárido brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 16305–16320, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n3-053>. Acesso em: 29 jun. 2025.

TAVAZOH, M.; HABIBI, D.; GOLZARDI, F.; ILKAEI, M. N.; PAKNEJAD, F. Effect of drought stress on morpho-physiological characteristics, nutritive value, and water-use efficiency of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] varieties under various irrigation systems. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, e286121, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.286121>. Acesso em: 29 jun. 2025.

TEIXEIRA, V. I.; DUBEUX, J. C. B.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. D. A.; SILVA, H. M. S. Aspectos agronômicos e bromatológicos de leguminosas forrageiras no Nordeste Brasileiro. **Archivos de Zootecnia**, v. 59, n. 226, p. 245–254, 2010.

VELOSO, C. M.; CARVALHO, G. G. P.; FRANCO, M. O.; PIRES, A. J. V.; DETMANN, E.; SILVA, F. F. Degradabilidade ruminal da matéria seca e da proteína bruta de folhas e folíolos de forrageiras tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 613–617, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000200039>. Acesso em: 29 jun. 2025.

ZAINA, I. C.; GAI, V. F. Características morfológicas e qualidade do trigo mourisco sob estresse hídrico. **Revista Cultivando o Saber**, v. 13, n. 2, p. 27–36, 2020. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/994>. Acesso em: 29 jun. 2025.