



INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

BACHARELADO EM AGRONOMIA

**INDUÇÃO DA TOLERÂNCIA À SECA EM
PLANTAS DE SORGO PELO USO DE UM
COMPOSTO QUÍMICO**

LETICIA SILVA DE CARVALHO

Rio Verde – GO
Novembro, 2023

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO –
CAMPUS RIO VERDE**

BACHARELADO EM AGRONOMIA

**INDUÇÃO DA TOLERÂNCIA À SECA EM PLANTAS
DE SORGO PELO USO DE UM COMPOSTO
QUÍMICO**

LETICIA SILVA DE CARVALHO

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof(a). Dr(a). Alan Carlos da Costa

Rio Verde – GO

Novembro, 2023

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

C331i Carvalho , Letícia Silva de
Indução da tolerância à seca em plantas de sorgo
pelo uso de um composto químico / Letícia Silva de
Carvalho ; orientador Alan Carlos da Costa. -- Rio
Verde, 2023.
24 p.

TCC (Graduação em Bacharel em agronomia) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2023.

1. Fotossíntese. 2. Glicinabetaína. 3. Óxido nítrico.
4. Potássio. 5. Prolina. I. Carlos da Costa, Alan ,
orient. II. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 1/2024 - PROPPI-REI/IFGOIANO

Regulamento de Trabalho de Curso (TC) – IF Goiano - Campus Rio Verde

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 24 dias do mês de novembro de dois mil e vinte e três, às 15h30, reuniu-se a Banca Examinadora composta pelos membros prof. Alan Carlos da Costa (orientador), pesquisador Dr. Adinan Alves Silva (membro interno) e pesquisadora Dra Luciana Minervina de Freitas Moura (membro interno), para examinar o Trabalho de Curso (TC) intitulado “Indução da tolerância à seca em plantas de sorgo pelo uso de um composto químico” da **Leticia Silva de Carvalho**, estudante do curso de Bacharel em Agronomia do IF Goiano – Campus Rio Verde, sob Matrícula nº 2020102200240258. A palavra foi concedida ao(à) estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição da candidata pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora e Mediador de TC.

Rio Verde, 24 de novembro de 2023.

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Dr. Alan Carlos da Costa

Orientador – presidente da banca

(Assinado Eletronicamente)

Dr. Adinan Alves da Silva

Membro da Banca Examinadora

(Assinado Eletronicamente)

Dra. Luciana Minervina de Freitas
Moura

Membro da Banca Examinadora

Documento assinado eletronicamente por:

- Alan Carlos da Costa, PRO-REITOR(A) - CD2 - PROPPI-REI, em 12/02/2024 11:51:23.
- Luciana Minervina de Freitas Moura, 2022202344060003 - Discente, em 12/02/2024 12:06:58.
- Adinan Alves da Silva, 2022202344060002 - Discente, em 12/02/2024 12:27:22.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 12/02/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 571440

Código de Autenticação: a7c8463362



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Reitoria

Rua 88, 310, Setor Sul, GOIANIA / GO, CEP 74.085-010

None

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

C331i Carvalho, Leticia Silva de
INDUÇÃO DA TOLERÂNCIA À SECA EM PLANTAS DE SORGO
PELO USO DE UM COMPOSTO QUÍMICO / Leticia Silva de
Carvalho; orientadora Alan Carlos da Costa. -- Rio Verde,
2023.
24 p.

TCC (Graduação em Bacharel em agronomia) -- Instituto
Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2023.

1. Fotossíntese. 2. Glicinabetaína. 3. Óxido nítrico.
4. Potássio. 5. Prolina. I. Carlos da Costa, Alan, orient. II.
Título.

RESUMO

CARVALHO, Leticia Silva de. **INDUÇÃO DA TOLERÂNCIA À SECA EM PLANTAS DE SORGO PELO USO DE UM COMPOSTO QUÍMICO**. 2023. 24 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde, 2023.

O sorgo é geralmente cultivado no período da entressafra no Brasil, o que expõe a cultura ao estresse por seca severa, capaz de reduzir o seu potencial produtivo. Assim, o objetivo desse estudo é desenvolver um composto químico para induzir tolerância à seca e ao mesmo tempo, mitigar danos do estresse na fisiologia e produção das plantas de sorgo. No estágio fenológico 3 da cultura, as plantas serão submetidas ao déficit hídrico (50% da capacidade de campo do solo) e receberão a aplicação de um composto químico em três formulações, variando as concentrações de prolina, glicina-betaína, potássio (K) e nitroprussiato de sódio (doador de óxido nítrico). Após 4 dias do início do estresse e aplicação das formulações, serão avaliadas variáveis biométricas, as relações hídricas, características do processo fotossintético, e o ajustamento osmótico das plantas. Espera-se como resultado dessa pesquisa, o estabelecimento da formulação de um composto químico protetor e estimulante do metabolismo vegetal, capaz de contribuir para o satisfatório crescimento e produção de grãos de plantas de sorgo cultivadas sob condições de deficiência hídrica.

Palavras-chave: Fotossíntese; Glicinabetaína; Óxido nítrico; Potássio; Prolina

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
5. CONCLUSÕES	21
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22

1. INTRODUÇÃO

A seca é o fenômeno meteorológico que define períodos de baixa precipitação pluviométrica, ou ainda, a má distribuição de chuvas. A seca é considerada o principal fator de estresse abiótico limitante ao crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas, e tem ocorrido com maior frequência e intensidade mesmo fora dos períodos sazonais, em diversas regiões do mundo. Essa condição climática adversa gera déficit hídrico no solo e atmosfera, afetando processos fisiológicos e bioquímicos de plantas cultivadas nesse ambiente (SALEHILISAR e BAKHSHAYESHAN-AGDAM, 2016; SILVA-LOBATO et al., 2020).

A fotossíntese é diretamente prejudicada pelo déficit hídrico no solo. Esse fator de estresse leva ao fechamento estomático, causando restrição difusiva ao processo fotossintético. Essa resposta economiza e conserva água pela planta, mas também traz consequências prejudiciais, como o incremento da temperatura foliar e a geração de espécies reativas de oxigênio (EROs) nos cloroplastos. Nesse cenário, a fixação de CO₂ no ciclo de Calvin também fica prejudicada, limitando o processo fotossintético em nível bioquímico (ZARGAR et al., 2017).

Embora avanços venham ocorrendo com o melhoramento genético de plantas, ainda não foi possível estabelecer cultivares realmente tolerantes a estresses abióticos, ao mesmo tempo que mantêm elevados índices de produtividade. Em paralelo à busca por cultivares mais tolerantes, pesquisas têm sido realizadas para identificação de substâncias e compostos diversos, com o potencial de mitigar danos dos estresses em culturas (Seleiman et. al., 2021). Estudos demonstram algum sucesso na melhoria da tolerância ao déficit hídrico com a aplicação de adubos foliares, agentes de sinalização celular e protetores da estrutura celular em plantas de soja, milho, entre outras (YANG et al., 2017; MERWAD et al., 2018; BATISTA et al., 2020). Esses resultados revelam o potencial relevante desses produtos na proteção de plantas sob seca, e incentivam a ampliação das pesquisas para uma gama maior de culturas importantes do setor agrícola, por exemplo, o sorgo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma planta de metabolismo fotossintético C4, pertencente à família Poacea. O seu grão possui diversas finalidades, destacando-se a sua utilização para alimentação humana, ração animal, e como matéria prima para a indústria e síntese de bioetanol (SANDERS et al., 2019). Na safra 2022/23 no Brasil, a área plantada de sorgo foi de 1.417,8 mil hectares e a produção de sorgo no Brasil está estimada em aproximadamente 4.788 mil toneladas (ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA, 2023). O Estado de Goiás se destaca com a maior área plantada e maior produção do país (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB), 2022).

Semelhante ao que ocorre para outras culturas, o potencial produtivo do sorgo pode ser bastante reduzido pela seca. Mesmo com sua genética mais apta em tolerar o déficit hídrico, eventos climáticos extremos podem comprometer a produtividade de grãos da cultura (BORRELL et al., 2014; COWAN et al., 2020). O nível de estresse por déficit hídrico na planta pode variar conforme sua duração, intensidade e estágio fenológico da cultura, mas de forma geral, plantas nas fases de floração e enchimento de grãos são as mais sensíveis (MI et al., 2018).

O estresse por déficit hídrico caracteriza-se pela redução do conteúdo de água nas células, acarretando em alterações como a limitação da abertura estomática, e a consequente queda na assimilação de CO₂. Adicionalmente, o déficit hídrico pode ocasionar perturbações no processo fotossintético por conta de danos oxidativos em membranas e proteínas celulares, afetando a estabilidade de cloroplastos (WANG et al., 2022). Com isso, o conteúdo de pigmentos cloroplastídicos é reduzido, a estrutura dos complexos proteicos nos tilacóides é prejudicada e as enzimas do ciclo de Calvin são inibidas. Isso afeta o crescimento e a produção das plantas (SALEHI-LISAR e BAKHSHAYESHANAGDAM, 2016).

As plantas apresentam diversos mecanismos de defesa contra o déficit hídrico, que abrangem mudanças fisiológicas e metabólicas. O ajustamento osmótico é um dos principais mecanismos de tolerância ao estresse (CRUZ et al., 2023). O ajustamento osmótico (AO) atua na absorção e conservação de água na planta sob seca. Nessa resposta, a planta acumula solutos compatíveis nas suas células, reduzindo assim o seu potencial osmótico. Em plantas que apresentam AO, a turgidez celular é mantida mesmo com a redução do conteúdo relativo de água, permitindo a planta crescer ainda que sob escassez hídrica (BLUM, 2017). Dois metabólitos celulares amplamente reconhecidos como cruciais no AO são a prolina e a glicina-

betaína, um aminoácido e uma amina quaternária, respectivamente.

A prolina confere ajustamento osmótico em plantas sob estresses ambientais, mas para além disso, tem papel no equilíbrio redox celular, atua como antioxidante e ainda é um osmoprotetor de estruturas celulares, como as membranas (SZABADOS e SAVOURE, 2010). Dessa forma, a aplicação de prolina tem sido realizada com objetivo de melhorar a tolerância de plantas a fatores de estresses (TORRES et al., 2023). O mesmo se observa para a glicina-betaína (GB), cujos estudos demonstram efeitos positivos tanto pelos incrementos de GB endógena, quanto da aplicação de GB em plantas sob estresses (ROYCHOUDHURY e BANERJEE, 2016). Com papéis semelhantes aos da prolina, a GB induz AO, mas também auxilia na estabilização de proteínas, incluindo a RUBISCO, protege o aparato fotossintético da planta e elimina EROs (AHMAD et al., 2013; WANI et al. 2013).

Além de metabólitos celulares, algumas substâncias de natureza inorgânica também estão envolvidas no AO na planta, sendo o potássio (K) o íon mais intimamente envolvido com essa resposta. Este elemento está envolvido em diversos processos fisiológicos e metabólicos na célula vegetal, como o balanço iônico e a síntese de proteínas. É importante também no processo fotossintético e atua diretamente na regulação estomática e melhoria da eficiência no uso da água de plantas sob seca (WANG et al., 2022). Considerando que o déficit hídrico no solo dificulta a disponibilização e a absorção dos nutrientes a aplicação de K pode contribuir para crescimento e produtividade das culturas sob seca (RAZA et al., 2014; RAZA et al. 2018).

Para o disparo das defesas contra o déficit hídrico, a sinalização ao estresse é um passo importante. Diversas moléculas cumprem esse papel na célula vegetal, dentre elas o óxido nítrico (ON). O ON é uma espécie reativa de nitrogênio, altamente difusível, que atua como sinalizador endógeno em diversos processos fisiológicos do desenvolvimento vegetal, como germinação e floração, mas também de grande importância durante eventos de estresses (SILVA et al., 2022).

Em plantas sob seca, o ON atua na regulação do movimento estomático, desempenha papel antioxidante, ou estimulante de defesas antioxidantes enzimáticas e não enzimáticas. O conteúdo relativo de água das plantas também pode ser melhorado pelo ON, como resposta ao déficit hídrico. De fato, estudos com aplicação exógena de doadores de ON, como o nitroprussiato de sódio (SNP) apresentaram evidências de efeito protetor contra o estresse por seca em plantas, pela redução de danos celulares e manutenção do crescimento (SILVA et al., 2022).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação climatizada do Laboratório de Ecofisiologia e Produtividade Vegetal do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde. Foram utilizadas plantas de sorgo granífero, híbrido 1G233 (BrevantTM Sementes).

As sementes foram plantadas diretamente nos vasos, mantendo após desbaste, 3 plantas para cada vaso, contendo 10 litros de solo do tipo Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf). Baseando na análise físico-química, o solo foi corrigido quanto à saturação de base utilizando Calcário Agrícola “Itaú”. A adubação foi realizada conforme a análise química e recomendação para a cultura.

Os tratamentos foram impostos, no mesmo dia, quando as plantas atingiram o estágio de desenvolvimento 3, e obtidos por meio da combinação da restrição hídrica com três formulações distintas, adicionado das plantas controle para a restrição hídrica e para o uso das formulações, conforme abaixo:

- Tratamento 01: plantas em solo com 90% da capacidade de campo (CC) do solo, denominado - Controle
- Tratamento 02: plantas sob restrição hídrica com 50% da capacidade de campo, denominado Déficit hídrico (DH);
- Tratamento 03: plantas sob restrição hídrica com 50% da capacidade de campo, tratadas com a Formulação 01, contendo prolina: 10 mM + glicina- betaína (GB): 5 mM + nitroprussiato de sódio (SNP-doador de óxido nítrico): 75 mM + fosfito de potássio (K₂SO₄): 0,5 L/ha⁻¹ neste estudo denominada como Déficit hídrico + Fórmula 01 (DH+F1);
- Tratamento 04: plantas sob restrição hídrica com 50% da capacidade de campo, tratadas com a Formulação 02, contendo prolina: 20 mM + GB: 10 mM + SNP: 150 mM + KH₂PO₃: 0,75 L/ha⁻¹, neste estudo denominado como Déficit hídrico + Fórmula 02 (DH+F2);
- Tratamento 05: plantas sob restrição hídrica com 50% da capacidade de campo, tratadas com a Formulação 03, contendo prolina: 30 mM + GB: 15 mM + SNP: 300 mM + KH₂PO₃: 1 L/ha⁻¹, neste estudo denominado como Déficit hídrico + Fórmula 03 (DH+F3);

- . Os tratamentos hídricos foram mantidos pela reposição diária da água perdida via

evapotranspiração do sistema solo-planta. O acompanhamento diário do conteúdo volumétrico de água do solo (CVA) ($\text{m}^3 \text{ água}/\text{m}^3 \text{ solo}$) pelo método gravimétrico.

As aplicações foram realizadas utilizando um pulverizador costal (Herbicat® Catanduva, Brasil) com pressão constante mantida por CO_2 comprimido (5 kgf cm^{-2}), munido de barra com quatro pontas de pulverização e bicos tipo leque (Teejet, modelo XR110/02VP) que forneceram 250 L ha^{-1} . A aspersão foi realizada no período da tarde (após as 17h), mantendo a barra 0,5 m acima do topo das plantas.

No 4º dia após a aplicação dos tratamentos foram realizadas as avaliações conforme detalhamento abaixo. Neste momento, das 3 plantas no vaso, uma foi utilizada para análises fisiológicas não destrutivas e coleta de folhas para análises destrutivas, e uma outra planta para análises de biometria e acúmulo de biomassa.

A análise de potencial hídrico foliar foi medida na antemãhã, por meio da câmara de pressão do tipo Scholander. O conteúdo relativo de água (CRA) das folhas foi obtido mediante a pesagem da massa fresca (MF), túrgida (MT) e seca (MS) de 10 discos foliares de $0,5 \text{ cm}^2$ de diâmetro, e calculado pela fórmula: $\text{CRA} = (\text{MF} - \text{MS}) / (\text{MT} - \text{MS}) \times 100\%$. Para obtenção do potencial osmótico, amostras previamente congeladas de folhas foram comprimidas até liberação de um extrato, e o mesmo foi avaliado em um osmômetro de pressão de vapor.

As trocas gasosas das plantas foram avaliadas para registro das taxas fotossintética [A, $\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$] e transpiratória [E, $\text{mmol} (\text{H}_2\text{O}) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$], da condutância estomática [gs, $\text{mol} (\text{H}_2\text{O}) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$], e da relação entre a concentração interna e externa de CO_2 (Ci/Ca). Estas avaliações foram realizadas utilizando-se um analisador de gases no infravermelho portátil (IRGA) modelo LI6800 (Li-Cor, Nebraska, EUA), no horário entre 08:00 e 11:00 horas, em folhas completamente expandidas. Com os dados, foram calculadas a Eficiência Instantânea de Uso da Água (A/E) e a Eficiência Instantânea de Carboxilação (A/Ci).

As variáveis de fluorescência da clorofila a foram avaliadas utilizando o fluorômetro acoplado ao IRGA. Foram avaliadas a fluorescência inicial (F0), os rendimentos quânticos potencial [$\text{Fv}/\text{Fm} = (\text{Fm} - \text{F0})/\text{Fm}$] e efetivo [$\Delta\text{F}/\text{Fm}' = (\text{Fm}' - \text{F})/\text{Fm}$] de conversão fotoquímica de energia no PSII. A partir desses dados foram calculados o rendimento quântico da dissipação de energia regulada [$\text{YNPQ} = (\text{F}/\text{Fm}') - (\text{F}/\text{Fm})$] e a taxa aparente de transporte de elétrons ($\text{ETR} = \Delta\text{F}/\text{Fm}' \cdot \text{PAR} \cdot 0,84 \cdot 0,5$).

A concentração dos pigmentos cloroplastídicos em discos foliares (clorofila a, clorofila b e carotenoides totais) foi determinada por meio da extração com dimetilsulfóxido (DMSO), e leitura da solução nos comprimentos de onda de 480, 649 e 665 nm. Os cálculos para determinação da concentração dos pigmentos foram realizados conforme descrito por Wellburn

(1994).

A determinação do teor de prolina foi realizada de acordo com a adaptação da metodologia descrita por Bates (1973), utilizando aproximadamente 30 mg de tecido foliar, macerado com 6 ml de ácido sulfossalicílico 3% (p/v). A reação ocorreu pela adição de 2 ml da solução ácida de ninhidrina em 2 ml do extrato foliar e aquecimento da mistura a 100 °C por 1 h. Foi adicionado 4 ml de tolueno à solução de reação para a completa extração da prolina, e o sobrenadante será lido em espectrofotômetro a 520 nm. As absorbâncias foram comparadas à curva-padrão de prolina (0 a 100 µg ml) e os resultados expressos em g⁻¹ massa fresca.

A concentração de glicina betaína foi determinada pelo método de Grieve e Grattan (1983) com modificações. Amostras de 250 mg de massa seca de folhas foram agitadas em 20 mL de água deionizada, durante 24 horas a 25 °C. Em seguida, as amostras foram filtradas e diluídas a 1:1 com ácido sulfúrico (H₂SO₄) 4 M. Alíquotas de 0,5 mL foram resfriadas em tubos de água gelada, durante 1 h. Posteriormente, foi adicionado 0,2 mL do reagente iodeto-iodo de potássio (KI-I₂) gelado, seguido de agitação. As amostras foram armazenadas a 4 °C por 12 h e, em seguida, centrifugadas a 10.000 g, durante 15 min a 0 °C, sendo o sobrenadante descartado. O pellet foi dissolvido em 5 mL de 1,2-dicloroetano e após 2 horas de agitação, as amostras foram lidas a 365 nm em espectrofotômetro. Padrões de referência de betaína (50-500 mg ml) foram utilizados para cálculo da concentração de glicina betaína nas amostras.

As plantas foram mensuradas para a determinação das seguintes variáveis biométricas: altura da planta (m), massa seca, número de folhas e diâmetro do caule (mm).

O conteúdo de MDA no tecido foliar será determinado utilizando o método proposto por Heath e Packer (1968), por meio do teste das substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBA).

Para a determinação da atividade da dismutase do superóxido (SOD), da catalase (CAT), da peroxidases (POX) e da peroxidase do ascorbato (APX), foram macerados 0,3 g de tecido foliar no seguinte meio de extração: tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 6,8), ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) 0,1 mM, fluoreto de fenilmetilsulfônico (PMSF) 1 mM e polivinilpirrolidona 2% (PVP). O extrato enzimático foi centrifugado a 12.000 xg durante 15 min a 4 °C e o sobrenadante foi utilizado como extrato enzimático bruto.

A atividade da SOD foi determinada a 560 nm em espectrofotômetro, de acordo com Giannopolitis e Ries (1977). A atividade da CAT foi determinada pela degradação do peróxido de hidrogênio (H₂O₂) a 240 nm, durante 1 min a 25 °C (HAVIR e MC HALE, 1987). A atividade das peroxidases totais (POX) foi determinada pela produção de purpurogalina mediante incremento da absorbância durante o primeiro minuto de reação a 420 nm em

espectrofotômetro, a 25 °C. Foi utilizado o coeficiente de extinção de $2,47 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (CHANCE e MAEHLEY, 1955) para calcular a atividade da POX. Para atividade da APX foi utilizada a metodologia proposta por Nakano e Asada (1981), medida pela taxa de oxidação do ascorbato a 290 nm durante 1 min a 25 °C.

A atividade específica das enzimas foi expressa com base em proteína, cujas concentrações foram nos extratos enzimáticos foram determinadas de acordo com o método de Bradford (BRADFORD, 1976).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com 5 tratamentos, conforme detalhamento anterior e, 5 repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e a comparação múltipla das médias dos tratamentos por meio do teste de Tukey, utilizando o software estatístico SISVAR (versão 5.6).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conteúdo relativo de água em folhas de plantas de sorgo apresentou uma boa diferenciação entre os tratamentos com restrição hídrica e o controle, bem irrigado. Paralelo a isso, o potencial osmótico apresentou redução nas plantas sob déficit hídrico e tratadas com F2 e F3. Mesmo assim, os efeitos observados na diminuição do potencial osmótico não demonstram ter influência das formulações, mas apenas da restrição hídrica, haja vista a proximidade dos valores observados e a sua significância estatística. Em contrapartida o potencial osmótico (Ψ_s) foi reduzido de forma notória em todos os déficits hídricos, exceto no DH + Formulação 1 (Tabela 01).

De modo geral, a prolina promove ajustamento osmótico em plantas sob estresses ambientais, mas além disso, tem papel no equilíbrio redox celular, atua como antioxidante e ainda é um osmoprotetor de estruturas celulares, como as membranas (SZABADOS e SAVOURE, 2010). Dessa forma, a aplicação de prolina tem sido realizada com objetivo de melhorar a tolerância de plantas a fatores de estresses (REDDY et al., 2015; PER et al., 2017). O mesmo se observa para a glicina-betaína (GB), cujos estudos demonstram efeitos positivos tanto pelos incrementos de GB endógena, quanto da aplicação de GB em plantas sob estresses (ROYCHOUDHURY e BANERJEE, 2016). A ausência de efeitos das formulações no potencial osmótico das plantas neste estudo, deverá ser investigada em novos estudos com variações das doses dos componentes utilizados.

Tabela 1. Potencial Osmótico (Ψ_s) e Conteúdo relativo de água (CRA) em plantas de sorgo submetidas aos tratamentos: controle, déficit hídrico (DH), déficit hídrico + formulação 1 (DH + F1) déficit hídrico + formulação 2 (DH+F2), déficit hídrico + formulação 3 (DH+F3).

TRATAMENTOS	Ψ_s (MPa)	CRA (%)
Controle	-0,793 ± 0,07 a	94,93 ± 2,27 a
DH	-1,309 ± 0,07 b	82,63 ± 4,09 b
DH+F1	-1,161 ± 0,09 ab	83,18 ± 5,02 b
DH+F2	-1,291 ± 0,10 b	88,59 ± 2,45 b
DH+F3	-1,387 ± 0,11 b	88,33 ± 2,81 b

Médias ± EP ($n = 5$) seguida pela mesma letra não diferem significativamente entre si, conforme teste de Tukey ($P > 0,05$). A ausência de comparação pelo teste de médias indica que não houve diferença estatística entre tratamentos.

Na análise das trocas gasosas, observar-se que a taxa fotossintética da formulação 3

(três) foi igual à do controle, enquanto os outros tratamentos apresentaram resultados inferiores e similares entre si (Tabela 2). Ademais, a Formulação 3, além de ter sido similar ao controle, foi maior que os outros tratamentos sob déficit, no que tange a condutância estomática e taxa transpiratória (Tabela 2). Por fim, a relação C_i/C_a não diferiu significativamente entre os tratamentos. O déficit hídrico reduziu as trocas gasosas do sorgo (Tabela 2). A redução da transpiração se dá devido ao fechamento dos estômatos para impedir a perda de água, mas ao mesmo tempo, inibindo a fotossíntese, gerando em uma menor assimilação de CO_2 , (FAVARETTO et al. 2011, TOSCANO et al. 2014). De forma que o déficit hídrico induziu as plantas a um fechamento estomático e conseqüentemente a redução das trocas gasosas. O efeito esperado das formulações seria a manutenção de altas taxas fotossintéticas, mesmo sob condições de restrição hídrica, concomitantemente com uma menor taxa transpiratória, aumentando a eficiência do uso da água e a tolerância à condição estressante. Observa-se que o tratamento DH+F3 induziu nas plantas uma maior taxa fotossintética e ao mesmo tempo uma maior taxa transpiratória, o que é explicado pela maior abertura estomática neste tratamento, e não por uma melhoria no metabolismo das plantas em decorrência da formulação.

Tabela 2. Taxa fotossintética (A), taxa transpiratória (E), condutância estomática (g_s) e relação C_i/C_a em plantas de sorgo submetidas aos tratamentos: controle, déficit hídrico (DH), déficit hídrico + formulação 1 (DH + F1) déficit hídrico + formulação 2 (DH+F2), déficit hídrico + formulação 3 (DH+F3).

TRATAMENTOS	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	g_s ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	C_i/C_a ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)
Controle	28,65 \pm 0,95 a	3,707 \pm 0,50 a	0,204 \pm 0,030 a	0,339 \pm 0,06
DH	6,89 \pm 0,90 b	0,875 \pm 0,11 c	0,042 \pm 0,005 c	0,311 \pm 0,04
DH+F1	7,53 \pm 1,70 b	1,159 \pm 0,38 bc	0,057 \pm 0,018 c	0,367 \pm 0,07
DH+F2	12,56 \pm 2,99 b	1,276 \pm 0,30 bc	0,063 \pm 0,015 bc	0,247 \pm 0,02
DH+F3	19,18 \pm 1,19 a	2,106 \pm 0,17 ab	0,110 \pm 0,008 ab	0,249 \pm 0,01

Médias \pm EP ($n = 5$) seguida pela mesma letra não diferem significativamente entre si, conforme teste de Tukey ($P > 0,05$). Ausência de comparação pelo teste de médias indica que não houve diferença estatística entre tratamentos

A análise da fluorescência das plantas mostrou que não houve diferença entre os tratamentos no que tange razão F_v/F_m apesar de uma tendência não significativa. Entretanto o ETR e o YII reduziram em todos os déficits hídrico, todavia a menor redução ocorreu na formulação três. A limitação estomática da fotossíntese, conforme verificado pela redução em g_s , diminui a disponibilidade de CO_2 , e a atividade da RUBISCO (RAHBARIAN et al. 2011), reduzindo assim a oxidação de NADPH no ciclo de Calvin. Portanto, o NADP⁺, o aceptor

primário de elétrons não é suficientemente disponível na etapa fotoquímica da fotossíntese, diminuindo assim a taxa de transporte de elétrons (ARO et al. 1993, BAKER e ROSENQVIST 2004), e conseqüentemente, o rendimento quântico efetivo do fotossistema II (YII).

Além de metabólitos celulares, algumas substâncias de natureza inorgânica também estão envolvidas no ajustamento osmótico na planta, sendo o potássio (K) o íon mais intimamente envolvido com essa resposta. Este elemento está envolvido em diversos processos fisiológicos e metabólicos na célula vegetal, como o balanço iônico e a síntese de proteínas. É importante também no processo fotossintético e atua diretamente na regulação estomática e melhoria da eficiência no uso da água de plantas sob seca (RAZA et al., 2013; WANG et al., 2013). Considerando que o déficit hídrico no solo dificulta a disponibilização e a absorção dos nutrientes, a aplicação de K pode contribuir para crescimento e produtividade das culturas sob seca (RAZA et al., 2014; RAZA et al.2018).

Tabela 3. Razão Fv/Fm, taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) e rendimento quântico efetivo do fotossistema II (YII) e relação C_i/C_a em plantas de sorgo submetidas aos tratamentos: controle, déficit hídrico (DH), déficit hídrico + formulação 1 (DH + F1) déficit hídrico + formulação 2 (DH+F2), déficit hídrico + formulação 3 (DH+F3).

TRATAMENTOS	Fv/Fm	ETR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	YII
Controle	0,771 ± 0,002	134,76 ± 6,09 a	0,159 ± 0,007 a
DH	0,717 ± 0,006	23,05 ± 5,22 c	0,027 ± 0,006 c
DH+F1	0,716 ± 0,020	35,22 ± 8,89 c	0,041 ± 0,010 c
DH+F2	0,688 ± 0,034	52,79 ± 13,36 bc	0,062 ± 0,015 bc
DH+F3	0,557 ± 0,141	71,45 ± 6,55 b	0,084 ± 0,007 b

Médias ± EP ($n = 5$) seguida pela mesma letra não diferem significativamente entre si, conforme teste de Tukey ($P > 0,05$). Ausência de comparação pelo teste de médias indica que não houve diferença estatística entre tratamentos.

Quando analisadas as características biométricas, observa-se que o déficit hídrico reduziu o número de folhas, sobretudo no tratamento DH+F1. Entretanto, o mesmo não foi observado nas demais características, como a massa seca das folhas, diâmetro e altura do caule (Tabela 4).

Logo era esperado dos tratamentos com restrição hídrica uma redução nos parâmetros biométricos, uma vez que a restrição de água reduziu as trocas gasosas (Tabela 3) que ocasionará uma redução na multiplicação e alongamento celular (JALEEL et al., 2009; ROZA, 2010). Portanto, os dados são explicados pela pouca exposição a restrição hídrica, que pela

curta duração não conseguiu expressar o efeito biométrico da seca nas plantas de sorgo.

Tabela 4. [Número de Folhas, massa seca da parte aérea (g), diâmetro de colmo (mm) e altura da parte aérea (cm) de caule de plantas de sorgo submetidas aos tratamentos: controle, déficit hídrico (DH), déficit hídrico + formulação 1 (DH + F1) déficit hídrico + formulação 2 (DH+F2), déficit hídrico + formulação 3 (DH+F3).

TRATAMENTOS	Nº DE FOLHAS	MASSA SECA DA PARTE AÉREA	DIÂMETRO DE COLMO	ALTURA DA PARTE AÉREA
		(g)	(mm)	(cm)
Controle	9,4 ± 0,4 a	13,58 ± 1,48	17,46 ± 0,52	107,6 ± 4,48
DH	8,6 ± 0,6 ab	11,12 ± 2,17	15,76 ± 1,22	99,2 ± 5,34
DH+F1	7,4 ± 0,24 b	13,1 ± 1,23	16,52 ± 0,96	105,6 ± 2,42
DH+F2	9 ± 0,44 ab	16,1 ± 3,73	17,9 ± 1,69	108,2 ± 6,78
DH+F3	8,6 ± 0,24 ab	15,14 ± 0,99	17,82 ± 0,87	101,8 ± 3,21

Médias ± EP ($n = 5$) seguida pela mesma letra não diferem significativamente entre si, conforme teste de Tukey ($P > 0,05$). A ausência de comparação pelo teste de médias indica que não houve diferença estatística entre tratamentos.

Em relação ao controle da umidade adequada nos tratamentos, observa-se na Tabela 5, que os valores do conteúdo volumétrico da água no solo, foram mantidos em níveis adequados no controle e reduzidos em média, 50% nos tratamentos sob déficit hídrico, conforme o esperado para estas condições. Por outro lado, a temperatura foliar se manteve estável entre os tratamentos (Tabela 5), quando o esperado seria o aumento dos seus valores nas plantas sob déficit hídrico.

Um dos mecanismos de defesa que a planta usa contra o estresse hídrico é o fechamento estomático para evitar a perda de água e garantir uma maior vitalidade (PARIDA; JHA, 2013). Em contrapartida, o fechamento dos estômatos diminui a transpiração e conseqüentemente o resfriamento foliar (AINSWORTH; LONG, 2021).

Tabela 5. Conteúdo volumétrico de água (CVA) e temperatura foliar em plantas de sorgo submetidas aos tratamentos: controle, déficit hídrico (DH), déficit hídrico + formulação 1 (DH + F1) déficit hídrico + formulação 2 (DH+F2), déficit hídrico + formulação 3 (DH+F3).

TRATAMENTOS	CVA	TEMPERATURA
	(m ³ água/m ³ solo)	(C°)
Controle	0,3692 ± 0,0065 a	24,24 ± 0,48
DH	0,1832 ± 0,0055 b	25,98 ± 0,90
DH+F1	0,1916 ± 0,0094 b	25,82 ± 0,93
DH+F2	0,1916 ± 0,0054 b	24,76 ± 0,37
DH+F3	0,2094 ± 0,0072 b	25,64 ± 1,02

Médias ± EP ($n = 5$) seguida pela mesma letra não diferem significativamente entre si, conforme teste de Tukey ($P > 0,05$). A ausência de comparação pelo teste de médias indica que não houve diferença estatística entre

tratamentos.

Quando analisados os pigmentos fotossintéticos os teores de clorofila A e carotenoides de manteve estável entre os tratamentos (Tabela 6). No que se refere a clorofila B, observa-se uma tendência de aumento nos tratamentos em restrição hídrica, com exceção do DH+F1, que mesmo sob estresse se manteve semelhante as plantas controle. Quando analisada as clorofilas totais, existe uma tendência de aumento de valores nas plantas em déficit hídrico, com exceção o tratamento DH+F3.

Apesar de pouco estudada, a analogia entre pigmentos e estresse hídrico possui um fator de observação, que é a presença de EROs, que são capazes de degradar a clorofila (CARLIN et al., 2012). E, apesar de alguns autores indicarem a degradação da clorofila como indicador de stress (LARCHER, 2006) os resultados ainda aparecem constantemente ao acaso. Diante disso, fica a cargo da comparação com o controle qual o resultado deve ser esperado, de forma que a aproximação dos resultados entre o tratamento controle e o DH+F3 (Tabela 6), mostra um efeito da formulação.

Tabela 6. Clorofila a, clorofila b, carotenoides e clorofilas totais em plantas de sorgos submetidas aos tratamentos: controle, déficit hídrico (DH), déficit hídrico + formulação 1 (DH + F1) déficit hídrico + formulação 2 (DH+F2), déficit hídrico + formulação 3 (DH+F3).

TRATAMENTOS	CLOROFILA A	CLOROFILA B	CAROTENOIDES	CLOROFILAS TOTAIS
Controle	24,35 ± 3,4	6,78 ± 0,97 b	5,34 ± 0,48	27,92 ± 2,90 b
DH	28,63 ± 2,25	9,43 ± 0,67 ab	7,22 ± 0,57	39,67 ± 2,01 a
DH+F1	28,19 ± 2,30	7,43 ± 0,43 b	6,22 ± 0,42	37,97 ± 1,40 a
DH+F2	33,88 ± 0,92	10,22 ± 0,33 a	6,70 ± 0,24	44,10 ± 1,16 a
DH+F3	27,77 ± 3,59	8,86 ± 0,52 ab	6,65 ± 0,60	35,18 ± 2,55 ab

Médias ± EP ($n = 5$) seguida pela mesma letra não diferem significativamente entre si, conforme teste de Tukey ($P > 0,05$). A ausência de comparação pelo teste de médias indica que não houve diferença estatística entre tratamentos.

A análise quantitativa de prolina se comportou de maneira atípica, com uma desuniformidade de dados que não diferiram estatisticamente. Enquanto, houve um aumento significativo no conteúdo de glicina betaína no tratamento DH+F3. A peroxidação dos lipídeos foi medida pela concentração de MDA (malondialdeído), cuja formulações DH+F1 e DH+F3 se assemelharam ao controle (Tabela 7).

Os elevados níveis de MDA na planta estão associados a níveis de estresse (SILVA, 2010). Logo as formulações DH+F1 e DH+F3 auxiliaram na manutenção da integridade lipídica das plantas em estudo.

O grande salto na quantidade de Glicina betaína resulta em um ajuste osmótico, instigado pelo déficit hídrico e potencializado pela aplicação do osmolito, mais especificamente na formulação DH+F3.

A prolina, apresenta um notável aumento em plantas sob déficit hídrico (Shevyakova, 1984; Hare & Cress, 1997; Carceller et al., 1999; Lazcano-Ferrat & Lovatt, 1999), que foi visível numericamente na formulação DH+F1. Entretanto, como o aumento não se repetiu em nenhuma outra formulação, o evento não pode ser atribuído as aplicações.

Tabela 7. Prolina, glicina -betaina e MDA em plantas de sorgos submetidas aos tratamentos: controle, déficit hídrico (DH), déficit hídrico + formulação 1 (DH + F1) déficit hídrico + formulação 2 (DH+F2), déficit hídrico + formulação 3 (DH+F3).

TRATAMENTOS	PROLINA	GLICINA BETAÍNA	MDA
Controle	9,40 ± 1,49	732,69 ± 91,71 b	43,54 ± 2,15 b
DH	39,34 ± 5,21	1042,12 ± 192,45 b	62,83 ± 2,86 a
DH+F1	153,11 ± 44,88	430,29 ± 114,48 b	49,99 ± 1,25 b
DH+F2	15,74 ± 1,06	1081,17 ± 400,18 b	59,69 ± 1,17 a
DH+F3	12,19 ± 1,69	2529,45 ± 380,26 a	46,06 ± 0,55 b

Médias ± EP ($n = 5$) seguida pela mesma letra não diferem significativamente entre si, conforme teste de Tukey ($P > 0,05$). A ausência de comparação pelo teste de médias indica que não houve diferença estatística entre tratamentos

No que se refere a atividade enzimática não houve alteração na atividade da catalase, SOD e APX nos tratamentos impostos. Enquanto a atividade da POX foi reduzida nos tratamentos impostos, com redução mais proeminente no DH+F2 (Tabela 8). De forma consensual diversos autores constataam o aumento das atividades de enzimas antioxidativas, resultando em uma adaptação desta a estresses abióticos e um controle de ROS (Willadino et al., 2011; Gondim et al., 2012; Kanungo e Joshi, 2014; Jadoski et al.; 2015).

De forma que um fica constatado que apesar de existente, o déficit hídrico não foi suficiente para ativar referidos mecanismos de defesa das plantas.

Tabela 8. CAT, POX, SOD e APX em plantas de sorgos submetidas aos tratamentos: controle, déficit hídrico (DH), déficit hídrico + formulação 1 (DH + F1) déficit hídrico + formulação 2 (DH+F2), déficit hídrico + formulação 3 (DH+F3) 'continua'.

TRATAMENTOS	CAT	POX	SOD	APX
Controle	8,97 ± 0,36	2,24 ± 0,29 b	20,01 ± 2,04	0,791 ± 0,115
DH	9,96 ± 1,10	3,74 ± 0,56 ab	20,46 ± 1,32	1,505 ± 0,303

DH+F1	10,48 ± 1,45	4,04 ± 0,33 ab	25,79 ± 1,42	1,528 ± 0,242
DH+F2	10,38 ± 1,12	4,99 ± 0,69 a	22,89 ± 1,34	1,899 ± 0,423
DH+F3	9,06 ± 0,16	4,29 ± 0,32 a	23,84 ± 0,65	1,782 ± 0,170

Médias ± EP ($n = 5$) seguida pela mesma letra não diferem significativamente entre si, conforme teste de Tukey ($P > 0,05$). A ausência de comparação pelo teste de médias indica que não houve diferença estatística entre tratamentos.

5. CONCLUSÕES

A realização do presente estudo demonstra que os compostos aplicados possuem uma ação benéfica à planta, uma vez que esta não esteja em uma situação crítica de estresse.

Constatada uma breve resposta das plantas frente as aplicações, será colocado em discussão doses mais significantes, além de um estresse hídrico mais prolongado. Diante disso, uma aplicação foliar dos compostos: prolina, glicina- betaína, nitroprussiato de sódio e fosfito de potássio (K₂SO₄), foi capaz de fazer breves alterações fisiológicas nas plantas submetidas ao déficit hídrico.

Por fim, é válido ressaltar que, em concentrações específicas e manejo correto, a planta de sorgo no estágio três e ambiente controlado respondeu bem aos estímulos proporcionados por referidos compostos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA. **Brasília: Sumac e Gepin**, v. 11, n. 1, out. 2023. Mensal

AHMAD, R., LIM, C. J., KWON, S. Y. Glycine betaine: a versatile compound with great potential for gene pyramiding to improve crop plant performance against environmental stresses. **Plant Biotechnology Reports**, 7(1), 49-57. 2013.

AINSWORTH, E. A.; LONG, S. P. 30 years of free-air carbon dioxide enrichment (FACE): What have we learned about future crop productivity and its potential for adaptation? **Global Change Biology**, v. 27, n. 1, p. 27–49, 1 jan. 2021.

ARO E. M., VIRGIN I., ANDERSSON B. Photoinhibition of photosystem II: inactivation, protein damage and turnover. **Biochim Biophys Acta Bioenerg** 1143: 113–134, 1993.

CARLIN, S. D.; RHEIN, A. F. de L; SANTOS, D. M. M. dos. Efeito simultâneo da deficiência hídrica e do alumínio tóxico no solo na cultivar IAC91-5155 de cana-de-açúcar. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 553-564, 2012.

CONAB, **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. s, v. 7- Safra 2022/23 - Segundo levantamento, Brasília, p. 1-13 novembro 2022.

CRUZ¹, Natan Teles et al. **ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTAS FORRAGEIRAS: UMA BREVE REVISÃO**. 2023.

FAVARETTO V. F., MARTINEZ C.A., SORIANI H.H., FURRIEL R.P.M.: Differential responses of antioxidant enzymes in pioneer and late successional tropical tree species grown under sun and shade conditions. – **Environ. Exp. Bot.** 70: 20-28, 2011.

HARE, P. D.; CRESS, W. A. Metabolic implications of stress induced proline accumulation in plants. **Plant Growth Regulation**, **Dordrecht**, v. 21, p. 79-102, 1997.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought Stress in Plants: A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. **International Journal Agricultural Biology**, v. 11, n. 1, p. 100–105, 2009.

LAZCANO-FERRAT, I.; LOVATT, C. J. Relationship between relative water content, nitrogen pools, and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius* A. Gray during water deficit. **Crop Science, Madison**, v. 39, p. 467-475, 1999.

PARIDA, A. K.; JHA, B. Physiological and Biochemical Responses Reveal the Drought Tolerance Efficacy of the Halophyte *Salicornia brachiata*. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 32, n. 2, p. 342–352, 7 jun. 2013.

RAHBARIAN R., KHAVARI-NEJAD R., GANJEALI A., BAGHERI A., NAJAFI F. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in

tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. **Acta Biol Cracoviensia Ser Bot** 53:47–56, 2011.

RAZA, M. A. S., SALEEM, M. F., KHAN, I. H., HUSSAIN, M. B., SHAH, G. M. Amelioration in growth and physiological efficiency of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought by potassium application. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 49(18), 2291-2300. 2018.

RAZA, M. A. S., SALEEM, M. F., SHAH, G. M., KHAN, I. H., RAZA, A. Exogenous application of glycinebetaine and potassium for improving water relations and grain yield of wheat under drought. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 14(2), 348-364. 2014.

RAZA, S., FARRUKH SALEEM, M., MUSTAFA SHAH, G., JAMIL, M., HAIDER KHAN, I. Potassium applied under drought improves physiological and nutrient uptake performances of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 13(1), 175-185. 2013.

REDDY, P. S., JOGESWAR, G., RASINENI, G. K., MAHESWARI, M., REDDY, A. R., VARSHNEY, R. K., KISHOR, P. K. Proline over-accumulation alleviates salt stress and protects photosynthetic and antioxidant enzyme activities in transgenic sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Plant Physiology and Biochemistry**, 94, 104- 113. 2015.

ROYCHOUDHURY, A., BANERJEE, A. Endogenous glycine betaine accumulation mediates abiotic stress tolerance in plants. **Tropical Plant Research**, 3, 105-111. 2016.

ROZA, F. A. **Alterações morfofisiológicas e eficiência de uso da água em plantas de *Jatropha curcas* L. submetidas à deficiência hídrica**. 2010. 67 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus – Bahia, 2010.

SALEHI-LISAR, S. Y., BAKHSHAYESHAN-AGDAM, H. Drought stress in plants: causes, consequences, and tolerance. In: **Drought Stress Tolerance in Plants**, Vol 1 (pp. 1-16). 2016.

SELEIMAN, Mahmoud F. et al. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. **Plants**, v. 10, n. 2, p. 259, 2021.

SHEVYAKOVA, N. I. Metabolism and the physiological role of proline in plants under conditions of water and salt stress. **Soviet Plant Physiology**, New York, v. 30, p. 597- 608, 1984.

SILVA, Leandro Donizete da et al. **Efeitos do óxido nítrico exógeno em plantas de milho submetidas a deficit hídrico**. 2022.

SILVA, P. B da. **Aspectos fisiológicos de seis genótipos de cana-de-açúcar submetidos a estresse hídrico**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal e Proteção de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2010.

SZABADOS, L., SAVOURE, A. . Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in plant science**, 15(2), 89-97. 2010.

TORRES, R. A. F. et al. Fisiologia e produção de pinheira sob estresse hídrico e aplicação de prolina. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e273404, 2023.

WANG, X.; WU, Z.; ZHOU, Q.; WANG, X.; SONG, S.; DONG, S. Physiological Response of Soybean Plants to Water Deficit. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. 809692, p. 1-12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.809692>.

WILLADINO, L.; OLIVEIRA FILHO, R. A.; SILVA JUNIOR, E. A.; GOUVEIA NETO, A.; CAMARA, T. R. Estresse salino em duas variedades de cana-de-açúcar: enzimas do sistema antioxidativo e fluorescência da clorofila. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 417-422, 2011.

YANG, W., LI, P., GUO, S., FAN, B., SONG, R., ZHANG, J., YU, J. Compensating effect of fulvic acid and super-absorbent polymer on leaf gas exchange and water use efficiency of maize under moderate water deficit conditions. **Plant Growth Regulation**, 83(3), 351-360. 2017.

ZARGAR, S. M., GUPTA, N., NAZIR, M., MAHAJAN, R., MALIK, F. A., SOFI, N. R., SALGOTRA, R. K. Impact of drought on photosynthesis: Molecular perspective. **Plant Gene**, 11, 154-159. 2017.