

**ÁCIDO SALICÍLICO ATENUA OS EFEITOS DA RESTRIÇÃO HÍDRICA  
EM CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] EM  
CONDIÇÕES DE CAMPO**

**IGOR ENEAS CAVALCANTE**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**DEZEMBRO – 2021**

**ÁCIDO SALICÍLICO ATENUA OS EFEITOS DA RESTRIÇÃO HÍDRICA  
EM CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] EM  
CONDIÇÕES DE CAMPO**

**IGOR ENEAS CAVALCANTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias/Área de Concentração: Agrobioenergia e Agricultura Familiar.

**Orientador: Prof. Dr. Alberto Soares de Melo**

**Coorientador: Prof. Dr. Yuri Lima Melo**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**DEZEMBRO – 2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

C376a Cavalcante, Igor Eneas.  
Ácido salicílico atenua os efeitos da restrição hídrica em cultivares de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] em condições de campo [manuscrito] / Igor Eneas Cavalcante. - 2022.  
90 p. : il. colorido.  
  
Digitado.  
Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2022.  
"Orientação : Prof. Dr. Alberto Soares de Melo, Departamento de Biologia - CCBS."  
"Coorientação: Prof. Dr. Yuri Lima Melo, Departamento de Biologia - CCBS."  
1. Cultivo de feijão. 2. Osmoproteção. 3. Mecanismo antioxidante. 4. Produção agrícola. 5. Estresse hídrico. I. Título  
21. ed. CDD 635.652

**ÁCIDO SALICÍLICO ATENUA OS EFEITOS DA RESTRIÇÃO HÍDRICA  
EM CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] EM  
CONDIÇÕES DE CAMPO**

**IGOR ENEAS CAVALCANTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias/Área de Concentração: Agrobioenergia e Agricultura Familiar.

Aprovado em: 06/12/2021.

Banca examinadora:



---

**Prof.<sup>ª</sup> Liziane Maria de Lima (D. Sc., Biologia Molecular) – Embrapa Algodão**



---

**Prof. Claudivan Feitosa de Lacerda (D, Sc., Fisiologia Vegetal) - UFC**



---

**Prof. Yuri Lima Melo (D, Sc., Fitotecnia) – UEPB  
(Coorientador)**



---

**Prof. Alberto Soares de Melo (D. Sc., Recursos Naturais) – UEPB  
(Orientador)**

À Deus, minha família, professores, amigos e todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para minha formação, DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, que me concedeu saúde, sabedoria e coragem para enfrentar todas as dificuldades;

Aos meus pais Cesar Ramos Cavalcante e Joselma de Farias Eneas, pelo amor, confiança, educação, carinho e apoio;

A minha esposa Tamires Araújo, por toda confiança e compreensão. E a nossa filha, Maria Cecília, por ser a minha fonte de força e alegria nos momentos mais difíceis, e felizes;

Ao meu orientador Prof. Dr. Alberto Soares de Melo, por todos os ensinamentos, dedicação, confiança, e por ser, além de tudo, um grande amigo;

Ao professor Dr. Yuri Lima Melo, por todo o apoio e ensinamentos nas atividades de pesquisa;

Aos professores Dr. Renner Luciano de Souza Ferraz e Patrícia da Silva Costa pela disponibilidade, contribuição e troca de conhecimentos durante as atividades de pesquisa;

A minha tia Joelsa e minha sogra Silvana, por todo o apoio durante a realização da pesquisa e a toda minha família, pelos conselhos e colaboração durante a minha pós-graduação;

Aos meus amigos do Laboratório de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas (ECOLAB): Venâncio, Rayanne, Guilherme, Deibson, Ibrahim, João Vitor, Priscila e Ingrid por todo companheirismo e ajuda na realização das atividades;

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos que foi fundamental para a realização da pesquisa e durante todo o período de estudos;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (PPGCA) e aos meus colegas de turma: Luana, Ivanice, Tyberio, Ruthi, Bruno, Cristiano, Alexandre, Dayse e Edson, pela troca de conhecimento e companheirismo durante o mestrado.

À Universidade Estadual da Paraíba, e a todos que a constitui, pela disponibilização da infraestrutura e apoio necessário durante o mestrado;

A todos os professores que fizeram parte da minha formação, pelo tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender;

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| LISTA DE TABELAS .....                                  | vii       |
| LISTA DE FIGURAS .....                                  | viii      |
| LISTA DE ABREVIATURAS .....                             | xii       |
| RESUMO .....  | xiv       |
| ABSTRACT .....  | xvi       |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                              | <b>1</b>  |
| 1.1. Objetivo geral .....                               | 2         |
| 1.2. Objetivos específicos .....                        | 2         |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                    | <b>4</b>  |
| 2.1. A cultura do feijão-caupi .....                    | 4         |
| 2.1.1. Considerações gerais.....                        | 4         |
| 2.1.2 Cultivo e importância socioeconômica .....        | 5         |
| 2.2 Déficit Hídrico nos Vegetais .....                  | 6         |
| 2.2.1 Estresse hídrico na cultura do feijão-caupi ..... | 7         |
| 2.3 Mecanismos de defesa ao déficit hídrico.....        | 7         |
| 2.3.1 Mecanismo antioxidante .....                      | 8         |
| 2.3.2 Mecanismo de ajustamento osmótico .....           | 9         |
| 2.4 Ácido Salicílico .....                              | 10        |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                      | <b>12</b> |
| 3.1 Descrição da área de execução do experimento .....  | 12        |
| 3.2 Fatores em Estudo .....                             | 13        |
| 3.3 Instalação e condução do experimento .....          | 14        |
| 3.4 Manejo da irrigação .....                           | 16        |
| 3.5 Variáveis analisadas .....                          | 17        |
| 3.5.1 Variáveis de status hídrico .....                 | 18        |
| 3.5.2 Extravasamento de eletrólitos .....               | 19        |
| 3.5.3 Variáveis de Crescimento .....                    | 19        |
| 3.5.4 Avaliações bioquímicas .....                      | 20        |
| 3.5.6 Fotossíntese e trocas gasosas .....               | 22        |
| 3.5.7 Componentes de produção .....                     | 23        |

|   |    |
|---|----|
| 3.6 Análise estatística .....                             | 23 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                           | 24 |
| 4.1 Indicadores de status hídrico .....                   | 24 |
| 4.1.1 Potencial hídrico ( $\Psi_w$ ).....                 | 24 |
| 4.1.2 Conteúdo Relativo de Água .....                     | 26 |
| 4.2 Vazamento de eletrólitos .....                        | 28 |
| 4.3. Variáveis de crescimento.....                        | 30 |
| 4.3.1 Área foliar .....                                   | 30 |
| 4.3.2 Massa Fresca Total .....                            | 32 |
| 4.3.3 Massa Seca Total .....                              | 34 |
| 4.4. Ajustamento Osmótico .....                           | 36 |
| 4.4.1 Conteúdo de prolina livre (PRL).....                | 36 |
| 4.4.2 Conteúdo de Açúcares Solúveis Totais (AST) .....    | 39 |
| 4.5 Mecanismo Antioxidante.....                           | 41 |
| 4.5.1 Atividade da enzima Ascorbato Peroxidase (APX)..... | 41 |
| 4.5.2 Atividade da enzima Catalase (CAT) .....            | 43 |
| 4.6 Fotossíntese e trocas gasosas .....                   | 45 |
| 4.7 Componentes de Produção .....                         | 51 |
| 5. CONCLUSÕES .....                                       | 58 |
| REFERÊNCIAS .....   | 59 |

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Principais características das cultivares BRS Novaera, BRS Tapaihum, BRS Pujante e BRS Pajeú utilizadas no experimento. Campina Grande, PB, 2020. ....14
- Tabela 2** - Características físico-químicas do solo utilizado no experimento. Lagoa Seca, PB, 2019.....15
- Tabela 3:** Nomenclatura utilizada para expor os estádios fenológicos das plantas nos dias em que foram realizadas as avaliações. Lagoa Seca, PB, 2020. ....18

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 01:** Cultivares de feijão-caupi sob diferentes lâminas de irrigação e concentrações de ácido salicílico em condições de campo. Experimento realizado de janeiro a abril de 2020. Lagoa Seca – PB, 2020.....12
- Figura 02:** Dados de temperatura (°C) máxima (T máx.), mínima (T min.) e média (T méd.) durante a realização do experimento. Lagoa Seca - PB, 2020.....13
- Figura 03:** Cultivares de feijão-caupi utilizadas no experimento: BRS Novaera (A), BRS Tapaihum (B), BRS Pujante (C) e BRS Pajeú (D). Campina Grande – PB.....14
- Figura 04:** Representação do sistema de irrigação utilizado no experimento, com as respectivas posições das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4); e das lâminas de irrigação: W100 (100% de reposição hídrica da ETc) e W50 (50% de reposição hídrica da ETc. Lagoa Seca, PB, 2020. ....16
- Figura 05** - Aplicação de ácido salicílico com o auxílio de um pulverizador costal. Lagoa Seca - PB, 2020. ....17
- Figura 06** - Metodologia utilizada para determinação da área foliar: a) digitalização de folíolos em impressora multifuncional e b): processamento de imagens e determinação de área foliar no software ImagJ. Lagoa Seca – PB, 2020. ....20
- Figura 07:** Potencial hídrico do pecíolo ( $\Psi_w$ ) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0, 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras

minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.....25

**Figura 08:** Conteúdo Relativo de Água (CRA) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionados à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0, 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.....28

**Figura 09:** Vazamento de eletrólitos (VE) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0, 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.....30

**Figura 10:** Área Foliar Total (AFT) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0, 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.....33

**Figura 11:** Massa Fresca Total (MFT) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0, 2 e 4 mM), nos es estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020..35

**Figura 12:** Massa Seca Total (MST) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0, 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.....37

**Figura 13:** Teor de Prolina Livre (PRL) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0, 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.....39

**Figura 14:** Açúcares Solúveis Totais (AST) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0, 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.....41

**Figura 15:** Atividade da enzima Ascorbato Peroxidase (APX) nas cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0, 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.....43

**Figura 16:** Atividade da enzima Catalase (CAT) nas cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0, 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.....46

**Figura 17:** Fotossíntese (A) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0, 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.....48

**Figura 18:** Transpiração (E) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0, 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.....50

**Figura 19:** Condutância estomática (gs) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0, 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.....52

**Figura 20:** Número de vagens por planta (NVP) e Comprimento de Vagens (CV) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0, 2 e 4 mM), no estágio fenológico R5. Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.....54

**Figura 11 :** Número de grãos por vagem (NGV) e Peso de cem grãos (PCG) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0, 2 e 4 mM), no estágio fenológico R5. Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.....56

**Figura 22:** Rendimento total das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0, 2 e 4 mM), no estágio fenológicos R5. Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.....58

## LISTA DE ABREVIATURAS

AFT - área foliar total  
AS - ácido salicílico  
ATP - trifosfato de adenosina  
AST - açúcares solúveis totais  
APX - ascorbato peroxidase  
CAT - catalase  
CRA - conteúdo relativo de água  
CO<sub>2</sub> - gás carbônico  
DAS - dias após a semeadura  
DNA - ácido desoxirribonucleico  
RNA – ácido ribonucleico  
EROs - espécies reativas de oxigênio  
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> - peróxido de hidrogênio  
IRGA - Infra-red Gas Analyzer  
MAP – fosfatomonoamônico  
MFT - massa fresca total  
MFD - massa fresca dos discos  
Min - minutos  
mg - miligrama  
mL - mililitros  
mM – milimolar  
MPa – megapascal  
MFD – massa fresca dos discos  
MTD - massa turgida dos discos  
MSD - massa seca dos discos  
Nm - nanômetro

O<sub>2</sub> - gás oxigênio

<sup>1</sup>O<sub>2</sub> - oxigênio singleto

OH• - radical hidroxila

O<sub>2</sub>•<sup>-</sup> - ânion superóxido

PRL - prolina

RPM - rotações por minuto

VE - extravasamento de eletrólitos

Ψ<sub>w</sub> - potencial hídrico

μL - microlitros

μM - micromol

## RESUMO

CAVALCANTE, IGOR ENEAS. M.Sc. Universidade Estadual da Paraíba/ Embrapa Algodão, novembro de 2021. **Ácido salicílico atenua os efeitos da restrição hídrica em cultivares de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) walp] em condições de campo.** Campina Grande, PB 2021. P91. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias). Orientador: Prof. Dr. Alberto Soares de Melo, Coorientador: Prof. Dr. Yuri Lima Melo.

O feijão-caupi é uma leguminosa amplamente cultivada no Norte e Nordeste do Brasil, onde desempenha um importante papel socioeconômico. Nessas regiões, o rendimento dessa cultura é fortemente afetado pela ocorrência de déficit hídrico durante o período de cultivo, o qual promove uma série de alterações morfológicas e metabólicas, restringindo a sua produção. Para mitigar esses efeitos, vem sendo estudado o uso de substâncias indutoras de resistência, tais como o ácido salicílico. Desta forma, o presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o ácido salicílico como atenuador de estresse hídrico em cultivares de feijão-caupi, cultivados sob lâminas de irrigação em condições de campo. O experimento foi conduzido no município de Lagoa Seca-PB, utilizando-se um delineamento em blocos casualizados onde foram estudadas 4 cultivares de feijão-caupi (BRS Novaera, BRS Tapaihum, BRS Pujante e BRS Pajeú), 2 lâminas de irrigação (W100 - 100% e W50 – 50% de reposição hídrica da água evapotranspirada pela cultura - ETc) e 3 concentrações de ácido salicílico (zero, 2 mM e 4 mM), em um esquema fatorial 4x2x3, com 3 repetições. Realizou-se avaliações de *status* hídrico (potencial hídrico do pecíolo foliar e conteúdo relativo de água), vazamento de eletrólitos, conteúdo de prolina livre, açúcares solúveis totais, atividade da ascorbato peroxidase, atividade da catalase, fotossíntese, trocas gasosas e componentes de produção, nos estádios fenológicos V7, R2 e R5. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F até 5% de probabilidade), seguidos pelo teste t-student ( $P \leq 0,05$ ) para as lâminas de irrigação, e pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) para as cultivares e concentrações de AS, utilizando-se software SISVAR 5.6. A restrição hídrica reduziu o *status* hídrico, crescimento e os processos fotossintéticos das cultivares de feijão-caupi, contudo, na condição de estresse, o ácido salicílico mitigou os efeitos da restrição hídrica, o que pôde ser percebido pelos aumentos no crescimento, *status* hídrico, fotossíntese e no conteúdo de moléculas osmorreguladoras e enzimas antioxidantes. O rendimento das cultivares BRS Novaera, BRS

Pujante e BRS Pajeú foi significativamente reduzido pela limitação hídrica, entretanto, na cultivar BRS Pujante esse efeito foi contornado pela aplicação de ácido salicílico. As cultivares BRS Novaera, BRS Tapaihum e BRS Pujante apresentaram maior rendimento com a aplicação do ácido na lâmina W100. Entre as cultivares estudadas, a BRS Tapaihum se mostrou mais tolerante à restrição hídrica, enquanto que a cultivar BRS Pujante foi mais responsiva à aplicação do ácido salicílico na condição de estresse. Além disso, a concentração de 2 mM de ácido salicílico se mostrou mais eficiente na mitigação dos efeitos do déficit hídrico.

**Palavras-chave:** Osmoproteção. Mecanismo antioxidante. Fotossíntese. Produção.

## ABSTRACT

CAVALCANTE, IGOR ENEAS. M.Sc. State University of Paraíba/ Embrapa Algodão, November 2021. **Salicylic acid attenuates the effects of water restriction in cowpea (*vigna unguiculata* (L.) walp) cultivars under field conditions.** Campina Grande, PB 2021. P91. Dissertation (Postgraduate Program in Agricultural Sciences). Advisor: Prof. Dr. Alberto Soares de Melo, Co-advisor: Prof. Dr. Yuri Lima Melo.

Cowpea is a legume widely cultivated in the North and Northeast of Brazil, where it plays an important socioeconomic role. In these regions, the yield of this crop is strongly affected by the occurrence of water deficit during the cultivation period, which promotes a series of morphological and metabolic changes, restricting its production. To mitigate these effects, the use of resistance-inducing substances, such as salicylic acid, has been studied. Thus, the present study was carried out with the objective of evaluating salicylic acid as a water stress attenuator in cowpea cultivars, cultivated under irrigation depths in field conditions. The experiment was carried out in Lagoa Seca-PB, using a randomized block design where 4 cowpea cultivars (BRS Novaera, BRS Tapaihum, BRS Pujante and BRS Pajeú), 2 irrigation depths (W100 -) were studied. 100% of water replacement of the water evapotranspiration by the culture (ET<sub>c</sub>); and W50 - 50% of water replacement of ET<sub>c</sub>) and 3 concentrations of salicylic acid (Zero, 2mM and 4mM), in a 4x2x3 factorial scheme, with 3 replications. Evaluations of water status (leaf water potential and relative water content), electrolyte leakage, biochemical (free proline content, total soluble sugars, ascorbate peroxidase and catalase), photosynthesis and gas exchange, and production components were carried out in the phenological stages V7, R2 and R5. Data were subjected to analysis of variance (F test up to 5% probability), followed by Student's t-test ( $P \leq 0.05$ ) for irrigation depths, and Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ) for AS cultivars and concentrations, using SISVAR 5.6 software. Water restriction reduced the water status, growth and photosynthetic processes of cowpea cultivars, however, under stress conditions, salicylic acid mitigated the effects of water restriction, which could be perceived by increases in growth, water status, photosynthesis and the content of osmoregulatory molecules and antioxidant enzymes. The yield of cultivars BRS Novaera, BRS Pujante and BRS Pajeú was significantly reduced by water limitation, however, in cultivar BRS

Pujante this effect was circumvented by the application of salicylic acid. Cultivars BRS Novaera, BRS Tapaihum and BRS Pujante showed higher yields with the application of AS in blade W100. Among the cultivars studied, BRS Tapaihum was more tolerant to water restriction, while cultivar BRS Pujante was more responsive to SA application under stress conditions. Furthermore, the concentration of 2mM of AS proved to be more efficient in mitigating the effects of water déficit.

**Key words:** Osmoprotection. Antioxidant mechanism. Photosynthesis. Production.

## 1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma espécie leguminosa amplamente cultivada em países tropicais e subtropicais, onde se destaca como um dos principais componentes da dieta alimentar da população devido ao seu alto valor nutritivo (SILVA et al., 2016; VARELA et al., 2019). Nesses países, o cultivo do feijão-caupi ocorre principalmente em regiões semiáridas, onde representa uma das principais alternativas para produção de grãos, já que possui ampla variedade genética, moderada adaptabilidade ao déficit hídrico no solo (LI et al., 2019) e baixo custo de produção, constituindo-se como uma das principais fontes de renda para as populações rurais (PÚBLIO-JÚNIOR et al., 2017).

Apesar de seu vasto cultivo e rusticidade, algumas pesquisas têm demonstrado que a produtividade do feijão-caupi pode ser drasticamente afetada pela ocorrência de deficiência hídrica em pelo menos uma das fases de seu desenvolvimento (SOUZA et al., 2020a; SILVA et al., 2020). O déficit hídrico é um fator agravante para a perda da produtividade vegetal, pois afeta o desenvolvimento e limita a assimilação líquida de carbono. A inibição do processo fotossintético é ocasionada pela restrição da condutância estomática (SOUZA et al., 2020b), que reduz o crescimento, desenvolvimento e restringe a produção (RIVAS et al., 2016), além de promover aumento na concentração de espécies reativas de oxigênio (EROs), que pode desencadear o estresse oxidativo (CARVALHO et al., 2019).

Entretanto, quando submetidas à restrição hídrica, as plantas apresentam uma série de respostas que as ajudam a reduzir os efeitos deletérios do déficit hídrico. Nesse sentido, destaca-se o ajustamento osmótico por meio do acúmulo de solutos orgânicos compatíveis no citosol celular, o que auxilia no processo de absorção de água do solo (COELHO et al., 2018). Adicionalmente, o sistema enzimático antioxidante atua na eliminação das EROs, controlando os níveis dessas moléculas no metabolismo (CARVALHO et al., 2019).

No Brasil, o cultivo do feijão-caupi ocorre predominantemente nas regiões Norte e Nordeste, principalmente por médios e pequenos produtores que concentram suas atividades em

condições de sequeiro. Desta forma, a produção dessa leguminosa nessas regiões é muito influenciada pelo déficit hídrico ocasionado pela distribuição irregular de chuvas, fazendo-se necessário o uso de irrigação para suprimento da demanda hídrica (SOUZA et al., 2019). Associado à irrigação, a aplicação de ácido salicílico (AS) pode ser uma estratégia promissora para mitigação do estresse hídrico no feijoeiro (ARAÚJO et al., 2018), já que o mesmo pode atuar na regulação de rotas metabólicas, aumentando as defesas das plantas ao déficit de água (MIURA & TADA, 2014; ZHANG & LI, 2019).

A utilização de AS tem demonstrado resultados positivos na mitigação dos efeitos do estresse hídrico em plantas, por promover aumento no conteúdo relativo de água (CARVALHO et al., 2020), na concentração de solutos orgânicos (ARAÚJO et al., 2018) e na atividade de enzimas antioxidantes (DUTRA et al., 2017), atuando especialmente na regulação de mecanismos responsivos ao estresse oxidativo (LEE et al., 2019) e garantindo aumento na produção de plantas cultivadas sob irrigação deficitária (El-SANATAWY & ZEDAN, 2020).

Apesar dos resultados promissores, as informações a respeito da interação entre os níveis de reposição hídrica e a aplicação de AS na cultura do feijão-caupi ainda são escassas, particularmente para condições de campo. Desta forma, tendo em vista a importância do feijão-caupi para as regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro, e levando em consideração as condições climáticas dessa região, faz-se necessária a realização de estudos que possam confirmar a ação do AS para mitigação do déficit hídrico.

### **1.1. Objetivo geral**

Avaliar o ácido salicílico (AS) como atenuador de estresse hídrico em cultivares de feijão-caupi cultivadas sob lâminas de irrigação em condições de campo.

### **1.2. Objetivos específicos**

- a) Avaliar o *status* hídrico e o aparato fotossintético de cultivares de feijão-caupi BRS Novaera, BRS Tapaihum, BRS Pujante e BRS Pajeú sob lâminas de irrigação e aplicações de AS em condições de campo.
- b) Avaliar o crescimento e a produção de cultivares de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e aplicações de AS em condições de campo.
- c) Quantificar a atividade bioquímica de enzimas antioxidantes em folhas de feijão-caupi cultivado em campo sob lâminas de irrigação e aplicações de AS.

- d) Quantificar o conteúdo de osmólitos reguladores em folhas de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e aplicações de AS em cultivo de campo.
- e) Identificar qual cultivar foi mais responsiva a aplicação do AS em cultivo de campo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. A cultura do feijão-caupi

#### 2.1.1. Considerações gerais

O feijão-caupi, também chamado feijão de corda ou feijão-macassá, é uma dicotiledônia de ciclo fotossintético C3, pertencente à família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna* e espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (BADIANE et al., 2014; PAIVA, 2015). Trata-se de uma leguminosa muito versátil, com porte que varia entre o ereto, semiereto, prostrado e semiprostrado, podendo apresentar crescimento determinado ou indeterminado (PADULOSI, 1993).

É considerada uma espécie de grande relevância para a alimentação humana, uma vez que seus grãos apresentam características nutricionais importantes, tais como: elevado teor de proteínas (20-29%) e amido (56-74%); quantidade elevada de vitaminas, minerais e fibras alimentares; além de uma baixa quantidade de lipídios (2%) (JAYATHILAKE et al., 2018; GONDWE et al., 2019).

Essa cultura apresenta uma grande adaptabilidade a diferentes condições ambientais, por esse motivo, encontra-se disseminada pelos cinco continentes (FREIRE FILHO et al., 2011), o que se justifica pela sua baixa necessidade de insumos agrícolas, como adubos e fertilizantes, além de baixa exigência hídrica durante o seu ciclo de cultivo (BOUKAR et al., 2018).

O feijão-caupi apresenta um ciclo de vida anual curto, com duas fases (vegetativa e reprodutiva) bem distintas (MOURA et al., 2012). De acordo com Campos et al., (2000), a fase vegetativa é dividida em 10 subfases, sendo elas: V0 – semeadura; V1 – emergência dos cotilédones na superfície do solo; V2 – As folhas unifoliadas encontram-se completamente abertas, e com as duas margens completamente separadas; V3 – A primeira folha trifoliada encontra-se com os folíolos separados e completamente abertos; V4 - A segunda folha trifoliolada encontrasse com os folíolos separados e completamente abertos; V5 - A terceira folha trifoliolada encontra-se com os folíolos separados e completamente abertos; V6 - Os primórdios do ramo secundário surgem nas axilas das folhas unifolioladas ou nas axilas das primeiras folhas trifolioladas; V7 - A primeira folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta; V8 - A segunda folha do

ramo secundário encontra-se completamente aberta; V9 - A terceira folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta.

Quanto a fase reprodutiva, são verificados 5 estádios distintos: R1 - Aparecem os primórdios do primeiro botão floral no ramo principal; R2 – Ocorre a antese da primeira flor, geralmente oriunda do primeiro botão floral; R3 – Maturidade da primeira vagem, geralmente oriunda da primeira flor. Esse estágio é caracterizado pela mudança de coloração das vargens, resultado do processo de secagem; R4 - Maturidade de 50% das vagens; e R5 - Maturidade de 90% das vagens da planta (CAMPOS et al., 2000).

### **2.1.2 Cultivo e importância socioeconômica**

O feijão-caupi é uma cultura amplamente cultivada em todo o mundo devido a sua alta adaptabilidade. Para Gonçalves et al. (2016), o seu cultivo ocorre predominantemente em regiões secas do continente africano, da América Latina, América do Norte e Sudeste Asiático, onde geralmente outras culturas não conseguem se desenvolver devido à alta irregularidade das chuvas (FREITAS et al., 2017). Nessas regiões, o feijão-caupi se destaca como uma das leguminosas mais importantes, uma vez que se apresenta como um dos principais componentes da dieta alimentar, principalmente para as populações de baixa renda (GONDWE et al., 2019). Além disso, desempenha um papel socioeconômico relevante, pois, além da utilização na alimentação humana, consumido na forma de grãos verdes e secos, também é muito usado para alimentação animal, forragem verde, feno, rotação de culturas e como ingrediente na fabricação de produtos industrializados (SILVA JUNIOR et al., 2015; SINDHU et al., 2019). Desta forma, o seu cultivo garante empregabilidade, oferta de mão-de-obra no campo, e geração de lucros para pequenos e médios produtores (CAMARA et al., 2018).

O Brasil é considerado um dos maiores produtores mundiais de feijão-caupi, junto com Nigéria e Niger (DUROJAYE et al., 2019). Segundo dados da CONAB (2021), na safra 2019/2020, o Brasil apresentou uma área plantada correspondente a 1.307.800,00 ha, com produção de 712,6 mil toneladas dessa leguminosa, sendo os maiores produtores os estados do Mato Grosso (150.600 ton.), Ceará (144.900 ton.) e Bahia (109.600 ton.). As regiões Norte/Nordeste apresentaram a maior área plantada em comparação com as demais regiões brasileiras, com 1.151.600,00 ha. Enquanto isso, a região Centro-Sul apresentou a maior produtividade, com 1.133 kg ha<sup>-1</sup>, valor muito superior ao observado nas regiões Norte/Nordeste, onde a produtividade foi de 438 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2021).

No Norte e Nordeste do Brasil, o cultivo do feijão-caupi é realizado por médios e pequenos produtores (SILVA et al., 2016) os quais utilizam práticas tradicionais de cultivo e geralmente concentram suas atividades em condições de sequeiro (ANDRADE JUNIOR et al., 2018; GUIMARÃES et al., 2020). Desta forma, a produção de feijão-caupi nessas regiões é fortemente afetada pela ocorrência de déficit hídrico durante o período de cultivo (LIMA et al., 2018; SILVA, 2019).

Silva et al. (2020), ao avaliarem o efeito da variabilidade pluviométrica do semiárido paraibano nos componentes de produção do feijão-caupi, entre os anos de 2012 e 2016, constataram forte redução na produção dessa leguminosa mediante a diminuição da precipitação pluviométrica nesse período. Esses resultados, evidenciam a influência da indisponibilidade de água na baixa produção da cultura nas regiões Norte e Nordeste do Brasil.

## **2.2 Déficit Hídrico nos Vegetais**

Á água é considerada um fator primordial para o desenvolvimento das plantas, pois desempenha papel essencial nos seus processos fisiológicos, bioquímicos, moleculares e morfológicos (TAIZ et al., 2017). Desta forma, durante o ciclo de vida vegetal, a indisponibilidade hídrica pode afetar de forma direta ou indireta todos os aspectos relacionados ao crescimento e ao desenvolvimento (LAMAOUÏ et al., 2018). Portanto, dentre os variados tipos de estresse aos quais as plantas estão frequentemente expostas, o estresse por deficiência hídrica é sem dúvidas o mais limitante (NXELE et al., 2017; MATOS et al., 2019).

A deficiência hídrica pode ser designada como uma quantidade de água que esteja abaixo do maior valor de hidratação de um tecido ou célula (TAIZ et al., 2017). Os seus efeitos nas plantas dependem da sua intensidade e duração; da fase em que a cultura se encontra no momento em que é acometida e da sua capacidade de tolerância (FREITAS et al., 2017).

Quando a deficiência hídrica ocorre durante a fase vegetativa pode reduzir a expansão foliar, a massa seca da parte aérea, bem como paralisar ou retardar o crescimento da planta (ZHAO et al., 2018; TARDIEU et al., 2018; AGOSTINETTO et al., 2020). Já quando acontece na fase reprodutiva, pode promover a perda das flores, inibir a floração, diminuir o número de vagens por plantas e promover uma redução no rendimento de sementes (BARBOSA et al., 2020; ROCHA et al., 2021).

De acordo com Souza et al. (2020b), a deficiência hídrica diminui o potencial hídrico das plantas, e desta forma, reduz a condutância estomática e a transpiração foliar, comprometendo a fotossíntese. Com a redução das taxas fotossintéticas, ocorre um aumento na quantidade de elétrons no metabolismo das células vegetais, os quais reagem com o oxigênio molecular ( $O_2$ )

formando espécies reativas de oxigênio (ERO's) (CAMPOS et al., 2019), tais como oxigênio singlete ( $^1\text{O}_2$ ), peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), radical hidroxila ( $\text{OH}^\bullet$ ) e ânion superóxido ( $\text{O}_2^{\bullet-}$ ) (MITTLER, 2017). Em altas concentrações, essas moléculas promovem a oxidação de proteínas, a inibição enzimática, danos no DNA e RNA, peroxidação da membrana lipídica e oxidação dos carboidratos, caracterizando o estresse oxidativo (BORJAS VENTURA et al., 2019).

### **2.2.1 Estresse hídrico na cultura do feijão-caupi**

A necessidade hídrica do feijão-caupi varia de acordo com as suas fases fenológicas (BADIANI et al., 2014), desde pequenas quantidades na germinação até alta demanda na floração e formação das vargens, voltando a reduzir no momento de maturação dos grãos (BASTOS et al., 2008; NASCIMENTO et al., 2011). Para que atinja um desenvolvimento satisfatório, essa cultura demanda uma quantidade de água que varia entre 300 a 450 mm, distribuída durante o seu ciclo. Para tanto, é importante destacar que como apresenta um ciclo de vida curto, pequenos períodos de seca podem afetar drasticamente o seu desenvolvimento (SILVA et al., 2018).

De acordo com Santos et al. (2020) a deficiência hídrica logo após a semeadura pode afetar diretamente a germinação do feijão-caupi, limitando o crescimento inicial e o vigor de plântulas. Para Silva et al. (2019) a restrição hídrica durante a fase vegetativa diminui o potencial hídrico foliar e desta forma reduz o crescimento dessa cultura. Adicionalmente, Ayala et al. (2020) destacam que esse tipo de estresse pode promover redução na biomassa vegetal e no crescimento do feijão-caupi, além de diminuir a condutância estomática e a transpiração, resultando em uma redução das taxas fotossintéticas.

Mesmo sendo considerada uma cultura que tolera bem as condições de seca (LIMA et al., 2018), o feijão-caupi pode ter sua produção reduzida pela ocorrência de déficit hídrico durante o período de cultivo, principalmente se a indisponibilidade de água acontecer durante a fase reprodutiva (ABAYOMI et al., 2019). Nesse sentido, Souza et al. (2020a), ao avaliarem o efeito do déficit hídrico na produção de feijão-caupi, verificaram que a restrição hídrica durante o período de floração e enchimento de grãos reduziu em mais de 20% o rendimento de plantas.

### **2.3 Mecanismos de defesa ao déficit hídrico**

A ocorrência de déficit hídrico, a medida em que prejudica o desenvolvimento vegetal, induz nas plantas uma série de respostas que as ajudam a se aclimatar e sobreviver durante o período de estresse (DUTRA et al., 2017; MERWAD et al., 2018). Para Ali et al. (2017), as

respostas das plantas à restrição de água no solo são complexas e geralmente envolvem alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, as quais têm como principais objetivos a economia de água e a manutenção da turgescência celular (GOUFO et al., 2017).

A diminuição da condutância estomática e da área foliar estão entre as primeiras respostas das plantas ao déficit hídrico. Através delas, as plantas conseguem evitar a perda de água por transpiração e desta forma balancear o conteúdo hídrico interno (GOMES et al., 2020), embora o fechamento estomático limite a assimilação de CO<sub>2</sub> afetando negativamente a fotossíntese (VERMA et al., 2020). Foi relatado por Souza et al. (2020b) que plantas de feijão-caupi, quando submetidas a restrição hídrica, apresentam redução da condutância estomática e consequentemente das taxas fotossintéticas, ao tempo em que garantem a manutenção do *status* hídrico.

Para Dutra et al. (2017) e Araújo et al. (2018) as repostas das plantas ao déficit hídrico também envolvem alterações bioquímicas a nível celular e molecular, tais como a ativação de um sistema enzimático antioxidante e o ajustamento osmótico. A resistência ao déficit hídrico vai depender da capacidade que a cultura apresenta de utilizar esses mecanismos de forma individual ou conjunta, para reduzir os efeitos negativos desse tipo de estresse.

### **2.3.1 Mecanismo antioxidante**

A limitação da fotossíntese, provocada pelo fechamento estomático, promove nas plantas uma superprodução de ERO's, as quais podem levar ao estresse oxidativo e danificar várias estruturas celulares (NUNES JUNIOR et al., 2017; CAMPOS et al., 2019). Para controlar a quantidade dessas moléculas no metabolismo vegetal e evitar o estresse oxidativo, as plantas contam com um sistema enzimático de defesa altamente eficiente, do qual fazem parte as enzimas catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) (CARVALHO et al., 2019).

As enzimas catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) são responsáveis por reduzir a concentração de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) no metabolismo vegetal através da conversão dessas moléculas em água (H<sub>2</sub>O) e oxigênio (O<sub>2</sub>) (DUTRA et al., 2017; ANSARI et al., 2018). A enzima catalase elimina o peróxido de hidrogênio da célula vegetal sem a necessidade de um agente redutor (SHARMA et al., 2012), realizando a conversão de até 6 milhões de moléculas de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em H<sub>2</sub>O e O<sub>2</sub> a cada minuto (GILL e TUTEJJA 2010). Desta forma, é considerada uma enzima efetiva em altas concentrações de peróxido de hidrogênio. Enquanto isso, a enzima ascorbato peroxidase realiza a conversão de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em H<sub>2</sub>O e O<sub>2</sub> utilizando o ascorbato como agente redutor (BARBOSA et al., 2014), e por ter grande afinidade com o peróxido de hidrogênio, essa enzima é capaz de realizar a eliminação dessas moléculas até mesmo em baixas concentrações (SHARMA et al., 2012).

Em condições de déficit hídrico, o aumento na atividade de enzimas antioxidantes pode contribuir para uma maior tolerância aos efeitos deletérios do estresse hídrico (CARVALHO et al., 2019; ZHANG et al., 2021). Prazeres et al. (2021) em pesquisa com híbridos de milho (*Zea mays* L.), verificaram aumento na atividade das enzimas catalase e ascorbato peroxidase sob condições de deficiência hídrica, evidenciando que esse aumento está diretamente ligado a capacidade da cultura de tolerar as adversidades desse tipo de estresse.

Com relação ao feijão-caupi, vários estudos têm evidenciado aumento na atividade de enzimas antioxidantes em condições de restrição hídrica, as quais têm sua atividade intensificada com a aplicação de substâncias atenuadoras, como o ácido salicílico (DUTRA et al., 2017; ANDRADE et al., 2021).

### **2.3.2 Mecanismo de ajustamento osmótico**

Uma outra resposta bastante comum dos vegetais às condições adversas do estresse hídrico é o acúmulo de solutos orgânicos no citosol celular, tais como prolina e açúcares solúveis (ANSARI et al., 2018; ZHANG et al., 2018). Esse mecanismo, conhecido como osmoproteção ou ajustamento osmótico, mantém a pressão de turgescência celular, o que garante a absorção de água em níveis adequados mesmo em solos com baixo potencial hídrico, e desta forma ajuda a manter os processos fisiológicos e o crescimento das culturas (OLIVEIRA-NETO et al., 2016; ANSARI et al., 2018).

Alguns solutos orgânicos podem atuar como agentes de proteção eficientes, uma vez que protegem as membranas celulares contra os efeitos deletérios das espécies reativas de oxigênio, e garantem a integridade das proteínas e enzimas, mantendo o estado redox das células vegetais (ZEGAOUI et al., 2017). Dessa forma, o aumento na concentração de moléculas osmoprotetoras tem sido considerado uma importante estratégia dos vegetais para amenizar os efeitos adversos da deficiência hídrica.

O mecanismo de ajuste osmótico pôde ser observado em plantas de maracujá roxo (*Passiflora edulis Sims f. Edulis*) por Lozano-Montaña et al. (2021) através do acúmulo de açúcares solúveis e prolina. Para esses autores, o aumento no conteúdo desses solutos com a diminuição na disponibilidade hídrica ajudou a prevenir a desidratação celular, e reduziu os efeitos deletérios do déficit hídrico. Qayyum et al. (2021) também observaram aumentos de até 92% nos níveis de solutos orgânicos em cultivares de trigo submetidos à restrição hídrica.

As respostas dos vegetais às condições adversas do estresse hídrico podem ocorrer de forma natural ou pela indução de alterações epigenéticas (MOZGOVA et al., 2019). Além disso,

também podem ser induzidas pela aplicação exógena de determinadas substâncias. Nesse sentido, Araújo et al. (2018) e Andrade et al. (2020) observaram aumento no conteúdo de solutos orgânicos em cultivares de feijão-caupi submetidas à restrição hídrica mediante a aplicação de ácido salicílico. Para esses autores, a aplicação dessa substância é uma estratégia adequada para indução de resistência ao estresse hídrico na cultura do feijão-caupi.

## 2.4 Ácido Salicílico

O ácido salicílico (AS) é um hormônio de natureza fenólica, produzido naturalmente pelas plantas através da via do chiquimato, por duas rotas distintas: A rota da fenilalanina (Phe), que ocorre no citoplasma celular e consiste na conversão da fenilalanina em ácido trans-cinâmico (t-CA), que é oxidado em ácido benzóico (BA) e posteriormente convertido em AS; E a rota do isocorismato (IC), que ocorre no cloroplasto, onde o corismato é convertido em isocorismato e depois em AS através da ação das enzimas isocorismato sintase (ICS) e isocorismato piruvato-liase (IPL) (SHINE et al., 2016; ZHANG et al., 2016; SHARMA et al., 2020).

O AS é considerado uma molécula sinalizadora essencial, responsável por ativar as defesas das plantas aos estresses bióticos e abióticos (ZHANG E LI, 2019), atuando na promoção de resistência e adaptação (ANDRADE, 2018). Para Miura & Tada (2014), o AS apresenta um importante papel nas respostas das plantas aos estresses abióticos, já que atua regulando importantes processos fisiológicos tais como fotossíntese, sistema de defesa antioxidante e as relações planta-água.

Em condições de deficiência hídrica Bandurska e Stroiński, (2005) verificaram aumento de aproximadamente duas vezes no conteúdo de AS em raízes de cevada, indicando que o AS é produzido naturalmente pelas plantas durante a ocorrência de déficit hídrico, e induz um mecanismo de proteção contra esse tipo de estresse. Contudo, Gomes et al. (2018) destacam que as plantas nem sempre conseguem produzir a quantidade de ácido salicílico necessária para sua defesa. Nesse sentido, a aplicação exógena dessa substância vem sendo estudada em várias culturas de importância socioeconômica (GOMES et al., 2018; SERAJ et al., 2021), a exemplo do feijão-caupi (DUTRA et al., 2017), como forma de induzir ou aumentar as defesas das plantas aos estresses abióticos, principalmente o hídrico.

Várias pesquisas têm evidenciado o efeito benéfico do AS na modulação de respostas e atenuação dos danos do estresse hídrico em diversas espécies vegetais. Mediante a aplicação dessa substância, Carvalho et al., (2020) constataram aumento na condutância estomática e no conteúdo relativo de água em plantas de manjeriço submetidas a deficiência hídrica. Enquanto isso, Azad et al., (2021) verificaram que plantas de *Mentha pulegium* L. cultivadas sob deficiência hídrica

apresentaram aumento na atividade de enzimas antioxidantes e nos teores de prolina e clorofila com a aplicação de AS.

A função atenuadora do Ácido Salicílico também foi constatada por El-Sanatawy & Zedan (2020) em plantas de trigo cultivadas sob irrigação deficitária, onde as plantas tratadas com AS apresentaram número de grãos/espiga e rendimento de grãos/ha superior às plantas não tratadas.

Em feijão-caupi, Araújo et al., (2018) observaram aumento na altura de plantas e maiores teores de clorofila com a aplicação de AS (1 mM). Já Dutra et al., (2017) constataram incremento na atividade de catalase, dessa cultura, com a embebição de sementes à 1 mM, em comparação com o controle. Aplicando-se essa mesma concentração de AS, via foliar, em cultivares de feijão-caupi, Andrade et al. (2020) observaram melhoria na arquitetura de plantas cultivadas sob déficit hídrico em comparação com as plantas não tratadas e atribuíram esse resultado ao papel do AS na modulação de respostas a esse tipo de estresse, uma vez que o mesmo possibilitou o acúmulo de moléculas osmoprotetoras, contribuindo para o aumento do potencial hídrico foliar e das taxas fotossintéticas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da área de execução do experimento

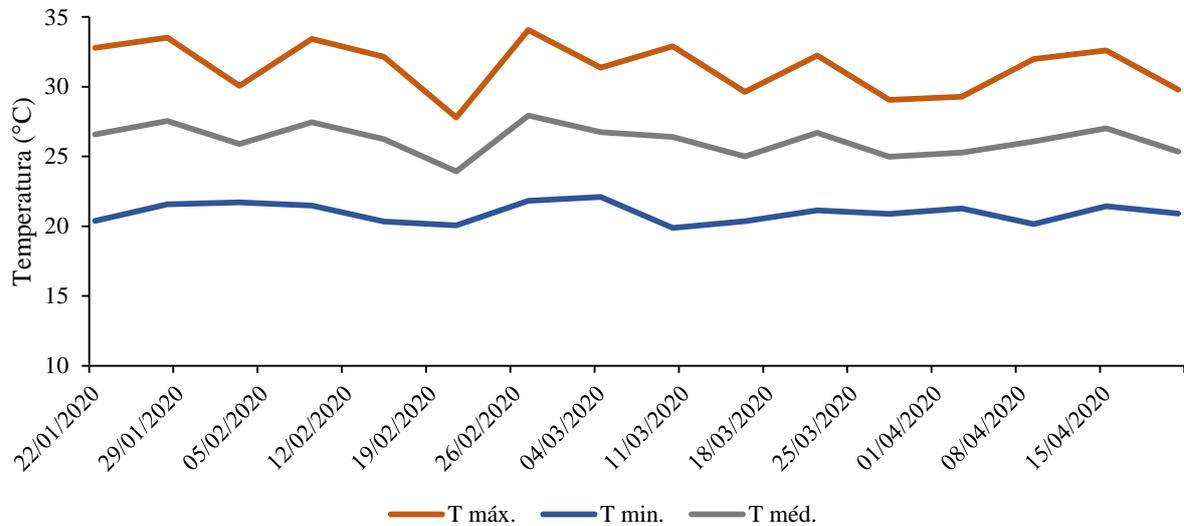
O experimento foi realizado em condições de campo, de janeiro a abril de 2020, em área agrícola pertencente ao Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA), Campus II da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Lagoa Seca - PB, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 7° 09' S; longitude 35° 52' W e altitude de 634 m (Figura 01). As análises bioquímicas foram realizadas no Laboratório de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas (ECOLAB) da UEPB, localizado no Complexo Integrado de Pesquisa Três Marias (Campus I), em Campina Grande-PB, Brasil (07° 13' 50" de latitude, 35° 52' 52" de longitude e 551 m de altitude).



**Figura 01:** Cultivares de feijão-caupi sob diferentes lâminas de irrigação e concentrações de ácido salicílico em condições de campo. Experimento realizado de janeiro a abril de 2020. Lagoa Seca – PB, 2020.

**Fonte:** ECOLAB (2021).

O clima do local da pesquisa, segundo a classificação de Köppen, é do tipo AS<sup>7</sup>, ou seja, tropical com estação seca, com médias anuais de temperatura em torno de 22 °C sendo a mínima de 19 °C e a máxima de 26 °C (Figura 02), precipitação média anual acima de 700 mm, com maiores índices pluviométricos concentrados nos meses de abril a agosto; evapotranspiração de referência média anual de 500 mm e umidade relativa média anual de 80%.



**Figura 02:** Dados de temperatura (°C) máxima (T máx.), mínima (T mín.) e média (T méd.) durante a realização do experimento. Lagoa Seca - PB, 2020.  
**Fonte:** ECOLAB (2021).

### 3.2 Fatores em Estudo

No experimento foram estudados quatro cultivares, duas lâminas de irrigação e três concentrações de ácido salicílico (AS), combinados em esquema fatorial 4x2x3. As cultivares utilizadas foram: BRS Novaera, BRS Tapaihum, BRS Pajeú e BRS Pujante (Figura 03), cujas características estão descritas na Tabela 1. Com relação as lâminas de irrigação, os tratamentos corresponderam a: plantas submetidas à restrição hídrica (W50 - 50% de reposição hídrica da água evapotranspirada pela cultura – ETc) e plantas sem restrição hídrica (W100 - 100% da ETc). Quanto ao fator AS, as plantas foram submetidas às concentrações de zero, 2 e 4 mM de ácido salicílico.

A combinação desses três fatores resultou em 24 tratamentos, arranjados no delineamento em blocos casualizados, com três repetições, constituindo 72 unidades experimentais (parcelas), as quais apresentavam 1,10 m de largura e 2 m de comprimento, com cinco linhas de irrigação contendo 10 plantas cada.



**Figura 03:** Cultivares de feijão-caupi utilizadas no experimento: BRS Novaera (A), BRS Tapaihum (B), BRS Pujante (C) e BRS Pajeú (D). Campina Grande – PB, 2020.

**Fonte:** ECOLAB (2020).

**Tabela 1.** Principais características das cultivares BRS Novaera, BRS Tapaihum, BRS Pujante e BRS Pajeú utilizadas no experimento. Campina Grande, PB, 2020.

| <b>Principais características das cultivares de feijão-caupi</b> |               |                    |                     |            |                          |
|--|---------------|--------------------|---------------------|------------|--------------------------|
| <b>Cultivares</b>  | <b>Porte</b>  | <b>Crescimento</b> | <b>Ciclo (dias)</b> | <b>NDF</b> | <b>Ano de lançamento</b> |
| BRS Novaera  | Semi-ereto    | Indeterminado      | 65-70               | 41         | 2000                     |
| BRS Tapaihum   | Ereto         | Semi determinado   | 60-65               | 36         | 2011                     |
| BRS Pujante  | Semiramador   | Indeterminado      | 70                  | 48         | 2007                     |
| BRS Pajeú  | Semiprostrado | Indeterminado      | 70- 75              | 39         | 2009                     |

OBS: NDF = Número de dias para a floração. Fonte: Portal Embrapa (2020).

### 3.3 Instalação e condução do experimento

Inicialmente, foram coletadas amostras de solo, as quais foram homogeneizadas e secas para formar uma amostra representativa da área. Posteriormente, a amostra resultante foi encaminhada ao Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) para análise das características químicas e físicas, as quais se encontram descritas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Características físico-químicas do solo utilizado no experimento. Lagoa Seca, PB, 2020.

| Características físicas |       |        |              |                         |      |        |                  |  |
|-------------------------|-------|--------|--------------|-------------------------|------|--------|------------------|--|
| Granulometria (%)       |       |        | Ct           | Ds (g/cm <sup>3</sup> ) | Dp   | Pt (%) | CE<br>(mmhos/cm) |  |
| Areia                   | Silte | Argila |              |                         |      |        |                  |  |
| 86,04                   | 12,05 | 1,91   | Areia franca | 1,62                    | 2,69 | 39,77  | 0,42             |  |

| Características químicas |                  |                 |   |  |      |                |      |           |      |
|--------------------------|------------------|-----------------|---|--|------|----------------|------|-----------|------|
| Ca <sup>2+</sup>         | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup><br>(cmolc/dm <sup>3</sup> de solo) |  | S    | H <sup>+</sup> | Al   | MO<br>(%) | pH   |
| 2,31                     | 2,30             | 0,05            | 0,27  |  | 4,93 | 0,89           | 0,00 | 1,10      | 6,62 |

**Fonte:** Setor de Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, 2019.

As sementes das cultivares utilizadas no experimento foram submetidas a uma triagem eliminando-se aquelas que continham danos físicos, biológicos e/ou má formação. Após a triagem, as sementes foram pesadas e transferidas para rolo giratório para a aplicação do fungicida Captan® em pó, na dosagem de 0,22 g para 100 g de sementes, o qual foi mantido em rotação por 5 minutos. Em seguida, as sementes permaneceram em repouso por 24 horas.

A área experimental foi irrigada com o intuito de deixar o solo na condição de capacidade de campo no dia da semeadura, a qual foi realizada manualmente, adicionando-se uma semente por cova com profundidade de 3cm, cujo espaçamento foi de 10 cm entre as covas e 0,5 m entre as linhas.

As irrigações foram realizadas diariamente de acordo com a evapotranspiração da cultura (ETc) no período das 7:00 às 8:00h da manhã, através de método localizado, utilizando-se de um sistema por gotejamento, composto por uma linha principal, quatro linhas secundárias e 20 linhas laterais. Cada linha lateral era constituída de uma fita gotejadora contendo 20 metros de comprimento, com espessura da parede de 0,2 mm, diâmetro interno de 16 mm, e emissores autocompensantes com vazão de 1,6 L hora<sup>-1</sup>, espaçados a cada 10 cm entre emissores e 0,5 m entre linhas.

As aplicações de ácido salicílico ocorreram aos 18 e 36 dias após a semeadura - DAS (estádios V3 e V9, respectivamente), numa quantidade de 200 mL por linha de irrigação (dentro de cada parcela), utilizando-se de pulverizador costal com capacidade para 20 L, direcionado às faces abaxial e adaxial das folhas do feijoeiro (Figura 04). A diferenciação das lâminas de irrigação foi realizada no dia seguinte a primeira aplicação de AS.

Aos 10 e 18 DAS, realizou-se adubação de cobertura com DripSol MAP- Fosfato Monoamônico (solubilidade em água: Nitrogênio (12%); P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(65%) e K<sub>2</sub>O (0%)), via fertirrigação, aplicando-se 390 g diluídas em 10 L de água (para cada aplicação), através de um injetor de fertilizante tipo venture; e aos 37 DAS, foi realizada a aplicação, via foliar, do inseticida Benevia®, numa quantidade de 10 mL (1g de **Ciantraniliprole**) de acordo com as recomendações do fabricante, diluídas em 20 L de água e acrescida de 4 mL de espalhante adesivo. Foram realizadas ainda aplicações de cobertura morta e o controle de plantas espontâneas, realizado de forma manual durante todo o experimento.



**Figura 04** - Aplicação de ácido salicílico com o auxílio de um pulverizador costal. Lagoa Seca - PB, 2020.  
Fonte: ECOLAB, 2020.

### 3.4 Manejo da irrigação

O manejo dos níveis de reposição hídrica foi realizado com base no monitoramento climático, por meio de dados obtidos a partir da estação agrometeorológica instalada próximo da área experimental (7°09'26.1"S 35°52'16.9"W), e calculada pelo método de Penman-Monteith – FAO (ALLEN et al., 1998), onde foi determinada a evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>), a lâmina bruta (LB), a intensidade de aplicação (I<sub>a</sub>) e o tempo de irrigação (T<sub>i</sub>), conforme as equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Eq. 1

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s + e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)}$$

Onde: ET<sub>0</sub> = Evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>); Rn = radiação líquida na superfície da cultura (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); G = fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); Δ = inclinação da curva

pressão vapor versus temperatura  $\text{kg ha}^{-1}$  do ar ( $\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $U_2$  = velocidade do vento medida a dois metros de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );  $T$  = temperatura ( $^\circ\text{C}$ );  $e_s$  = pressão de saturação do vapor d'água ( $\text{kPa}$ );  $e_a$  = pressão real do vapor d'água ( $\text{kPa}$ );  $\psi$  = fator psicrométrico ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ).

Eq. 2

$$LB = \frac{ET_0 Kc KL - Pe}{Ef}; \text{ se } LB \leq 0; LB = 0$$

Em que:  $LB$  = lâmina bruta acumulada (mm) no período ( $t_f - t_i$ ), em dias, entre irrigações consecutivas;  $ET_0$  = evapotranspiração de referência segundo a equação de Penman-Monteith parametrizada pela FAO;  $Kc$  = coeficiente de cultura;  $KL$  = coeficiente de localização da aplicação de água pelo emissor;  $Pe$  = precipitação pluvial ocorrida no período (mm);  $Ef$  = eficiência de irrigação (0,80).

Eq. 3

$$Ia = \frac{n * v}{ec}$$

Em que:  $Ia$  = intensidade de aplicação ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $n$  = número de emissores por planta;  $v$  = vazão do emissor ( $\text{L h}^{-1}$ );  $ec$  = área ocupada pela planta ( $\text{m}^2$ ) (MANTOVANI et al., 2006).

Eq. 4

$$Ti = \frac{LB}{Ia}$$

Em que:  $Ti$  = tempo de irrigação (h);  $LB$  = lâmina bruta (mm);  $Ia$  = intensidade de aplicação ( $\text{mm h}^{-1}$ ) (Mantovani et al., 2006).

De acordo com Bastos et al. (2008), utilizou-se  $Kc$  máximo para cada estágio fenológico: estágio inicial – 15 dias ( $Kc = 0,8$ ); estágio de crescimento – 25 dias ( $Kc = 1,1$ ); estágio reprodutivo – 17 dias ( $Kc = 1,4$ ); estágio final ( $Kc = 0,3$ ). Destaca-se ainda que o tempo de irrigação foi contabilizado após pressurização total do sistema e estabilização da pressão entre 0,8 e 1,0  $\text{kgf/cm}^2$  medido a partir de manômetros instalados nas linhas secundárias do sistema de irrigação, e que a lâmina de irrigação referente ao déficit hídrico ( $W_{50}$ ), foi 50% do valor referente à lâmina de irrigação sem restrição hídrica ( $W_{100}$ ).

### 3.5 Variáveis analisadas

Foram realizadas avaliações em três estádios fenológicos, após a semeadura, conforme a tabela 3.

**Tabela 3:** Nomenclatura utilizada para expor os estádios fenológicos das plantas nos dias em que foram realizadas as avaliações. Lagoa Seca – PB, 2020.

| <b>Estádios fenológicos (MOURA et al., 2012)</b> | <b>Dias após a semeadura (DAS)</b> |
|--|------------------------------------|
| V7   | 29 DAS                             |
| R2   | 51 DAS                             |
| R5   | 65 – 75 DAS                        |

### 3.5.1 Variáveis de status hídrico

#### 3.5.1.1 Potencial hídrico do pecíolo

O potencial hídrico do pecíolo ( $\Psi_w$ ) das cultivares foi determinado nos estádios V7 e R2, utilizando-se uma câmara de pressão do tipo Scholander (Scholander et al., 1965) modelo 3005F01 da “Soil Moisture Corp” (Santa Bárbara, Califórnia, EUA) e expressos na unidade MPa. As leituras foram realizadas no período da antemanhã, das 2:00 às 5:00 horas. Para isto, utilizou-se pecíolos com folhas totalmente expandidas, situadas na região mediana das plantas (FREITAS et al., 2017).

#### 3.5.1.2 Conteúdo relativo de água (CRA)

Para a avaliação do CRA (%), nos estádios V7 e R2, foram obtidos cinco discos de folhas frescas, através de cortes realizados com o uso de um perfurador de cobre (5 mm), os quais foram inicialmente pesados para a obtenção da massa fresca dos discos (MFD) e, em seguida, colocados em capsulas de alumínio, hermeticamente fechadas, contendo 10 mL de água destilada em temperatura ambiente.

Após 24 horas, o mesmo material foi secado superficialmente e pesado para obtenção da massa túrgida dos discos (MTD). Em seguida, os mesmos foram acondicionados em sacos de papel, devidamente identificados, e submetidos a uma estufa com circulação de ar forçado a 80 °C, por mais 48 horas, para aferição da massa seca dos discos (MSD). A partir desses dados, o CRA (%) foi calculado com base na equação proposta por Smart e Bingham (1974):

Eq. 5

$$\text{CRA (\%)} = \left[ \frac{(MFD - MSD)}{(MTD - MSD)} \right] * 100$$

### 3.5.2 Extravasamento de eletrólitos

O vazamento de eletrólitos (VE), que estima indiretamente o nível de danos às membranas celulares, foi medido conforme Scotti Campos e Thu Pham Thi (1997), nos estádios V7 e R2. Para isso, utilizou-se um perfurador de cobre a fim de se obter, por unidade experimental, cinco discos foliares de área 113mm<sup>2</sup> cada, os quais foram lavados e acondicionados em tubos de ensaio contendo 10 mL de água destilada, permanecendo fechados e em repouso, por 24 horas. Após esse período, foi realizada a aferição da condutividade elétrica da solução do tubo de ensaio (Xi) utilizando-se condutivímetro de bancada (MB11, MS Techonopon®).

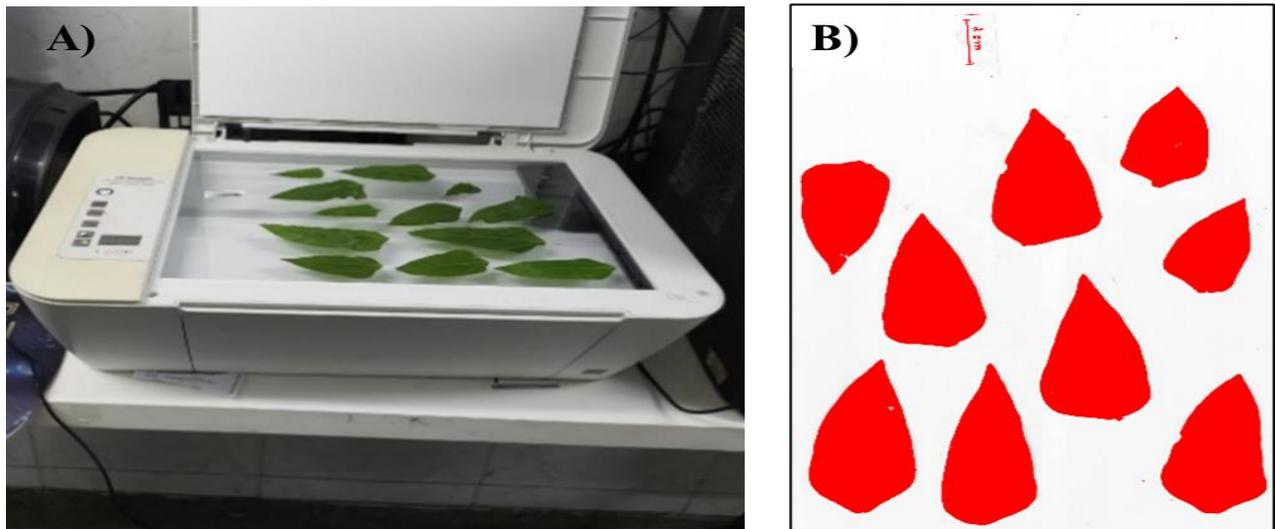
Os tubos foram novamente fechados e submetidos à temperatura de 100 °C, por 60 minutos, em banho-maria. Após resfriamento do conteúdo dos mesmos à temperatura ambiente, aferiu-se a condutividade final (Xf) da solução. O percentual de vazamentos de eletrólitos foi calculado com base na expressão a seguir (Eq. 6):

Eq. 6

$$VE (\%) = \left( \frac{Xi}{Xf} \right) * 100$$

### 3.5.3 Variáveis de Crescimento

Nos estádios V7 e R2, avaliou-se a área foliar total (AFT), massa fresca total da parte aérea (MFT) e massa seca total da parte aérea (MST). Nos estádios V7 e R2, avaliou-se a área foliar total (AFT), massa fresca total da parte aérea (MFT) e massa seca total da parte aérea (MST). A MFT foi determinada a partir da pesagem do material fresco coletado (logo após a coleta), utilizando-se balança analítica (e = 0,0001 g). Para aferição da massa seca, as plantas foram colocadas, separadamente, em sacos de papel devidamente identificados e colocadas em estufa com circulação de ar forçado a 70 °C por um período de 72 horas para secagem. Após esse período, o material vegetal foi pesado em balança analítica (e = 0,0001 g). Para a determinação da área foliar (AF), os folíolos foram destacados e digitalizados em Impressora Multifuncional HP Deskjet Ink Advantage 2545, juntamente com uma escala de dois centímetros. As imagens foram devidamente identificadas e a medição (em cm<sup>2</sup>) foi realizada através do software ImageJ (Figura 05).



**Figura 05:** Metodologia utilizada para determinação da área foliar: a) digitalização de folíolos em impressora multifuncional e b) processamento de imagens e determinação de área foliar no software ImagJ. Lagoa Seca – PB, 2020.

### 3.5.4 Avaliações bioquímicas

As avaliações bioquímicas foram realizadas nos estádios V7 e R2, para tanto, uma planta por parcela, foi coletada e acondicionada em sacos plásticos devidamente identificados, os quais foram armazenados em caixas de isopor contendo gelo, e encaminhadas para o laboratório, onde, de início, o material necessário para a realização das análises foi pesado e armazenado em freezer com temperatura de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### 3.5.4.1 Açúcares Solúveis Totais (AST)

O extrato para aferição de AST foi obtido a partir de 200 mg da massa fresca de folhas, maceradas em 2 mL de etanol 80%. Após a maceração, os tubos de centrifuga com capacidade para 2 mL, foram submetidos ao banho-maria ( $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), por 30 minutos, e transferidos à centrifuga (2.000 força g) para obtenção e coleta do sobrenadante. Retirado o sobrenadante, ao mesmo tubo, adicionou-se mais 2 mL de etanol (80%), para uma nova extração, seguido de novo aquecimento em banho-maria e posterior transferência para a centrifuga. Os sobrenadantes das duas lavagens foram misturados em tubos tipo Falcon e armazenados em dois tubos de centrifuga, com capacidade para 2 mL, totalizando 4 mL do extrato por amostra.

A quantificação de AST foi realizada pelo método de “fenol-sulfúrico” descrito por Dubois et al. (1956). Para tanto, alíquotas de 50  $\mu\text{L}$  da amostra foram adicionadas a tubos de ensaio, completados com 450  $\mu\text{L}$  de água destilada (diluição de 10 vezes), acrescido de 500  $\mu\text{L}$  de Fenol

(5%), com posterior agitação. Para iniciar a reação, foram adicionados 2500  $\mu\text{L}$  (2,5 mL) de ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Em seguida, os tubos foram agitados novamente para homogeneização da reação. Posteriormente os tubos permaneceram por 20 minutos em temperatura ambiente para posterior leitura, em espectrofotômetro a 490 nm de absorbância. A concentração de AST foi quantificada de acordo com a curva padrão de glicose, com resultados expressos em  $\text{mg AST g}^{-1} \text{MF}$ .

#### **3.5.4.2 Quantificação de Prolina Livre (PRL)**

O teor de prolina livre (PRL) foi quantificado pelo método colorimétrico, proposto por Bates et al. (1973) e modificado por Bezerra Neto & Barreto (2011). Para isso, 250 mg de tecido foliar fresco foram macerados em 5 mL de ácido sulfossalicílico a 3%, e centrifugado a 2000 rpm por 10 minutos. Posteriormente, o sobrenadante foi retirado e armazenado em tubos para centrífuga com capacidade de 2,5 mL, para posterior determinação da concentração de PRL.

O desenvolvimento da cor foi realizado através do aquecimento, em banho maria regulado a 100 °C, dos tubos de ensaio rosqueáveis contendo a mistura: extrato + ninhidrina ácida + ácido acético glacial, na proporção 1:1:1 (volume total 3 mL), durante uma hora. Após esse período, os mesmos tubos foram resfriados em banho de gelo para estabilizar a reação e posteriormente foram adicionados 2 mL do reagente tolueno aos mesmos, os quais foram agitados em agitador de tubo tipo Vortex por 20 segundos e mantidos em repouso por 10 minutos, até a separação da solução em duas fases (cromóforo e translúcida). A leitura do sobrenadante ocorreu em espectrofotômetro (520 nm), utilizando-se o tolueno puro como branco, para zerar o aparelho. A concentração de prolina livre foi quantificada com base na curva padrão de L- prolina e expressa em  $\mu\text{mol PRL g}^{-1} \text{MF}$ .

#### **3.5.4.3 Catalase (CAT) e Ascorbato peroxidase (APX)**

Para a determinação da atividade de enzimas antioxidantes (catalase e ascorbato peroxidase), 200 mg de tecido foliar fresco foram macerados em 2 mL de tampão fosfato de potássio (50 mM e pH 7,0), acrescido de ácido ascórbico (0,1 mM), EDTA (0,1 mM) e polivinilpirrolidona (3%). Posteriormente, os extratos foram centrifugados a 10000 rpm e temperatura de 4 °C durante 20 minutos, utilizando-se uma centrífuga refrigerada modelo. O sobrenadante foi aspirado e transferido para tubos de centrífuga com capacidade para 2 mL, os quais foram mantidos em freezer a -20 °C até o momento das análises.

A atividade da enzima catalase (CAT) foi determinada de acordo com Kar e Mishra (1976), a qual é definida com base no consumo de peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) pela enzima presente no extrato. Para isso, iniciou-se a reação com a adição do extrato enzimático (150  $\mu\text{L}$ ) na cubeta de quartzo, contendo o meio de reação (2,85 mL), contendo 1950  $\mu\text{L}$  de tampão de determinação (100 mM, pH: 7,5); 150  $\mu\text{L}$  do tampão de extração (50 mM, pH: 7,0) e 750  $\mu\text{L}$  de solução de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (50 mM).

Após uma leve agitação, a solução foi levada ao espectrofotômetro, regulado em 240 nm, cujos decréscimos da absorbância foram observados durante 2 min e as leituras realizadas a cada 10 segundos. Para o cálculo da atividade enzimática utilizou-se a lei de Lambert-Beer, conforme a equação a seguir:

Equação 6.

$$A = \epsilon \cdot b \cdot c$$

Onde A = diminuição da absorbância (média em duplicata);  $\epsilon$  = coeficiente de extinção molar (39,4  $\text{mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$ ); b = comprimento do caminho óptico (1 cm); c = concentração da enzima expressa em  $\text{mol L}^{-1}$ . A atividade da CAT foi expressa em  $\mu\text{M de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ .

A atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX) foi calculada com base no consumo do ascorbato, através de monitoramento do decréscimo da absorbância à 290 nm em cubeta de quartzo (NAKANO & ASADA, 1981). Para isso, foram misturados 300  $\mu\text{L}$  de extrato enzimático ao meio de reação (2,5 mL) composto por tampão fosfato de potássio (50 mM e pH 6,0) acrescido de ácido ascórbico (0,8 mM). Em seguida, a reação foi iniciada adicionando-se 200  $\mu\text{L}$  de peróxido de hidrogênio (2 mM), à qual foi monitorada pelo decréscimo da absorbância, durante 1 min, com a realização das leituras a cada 10 segundos. Os cálculos para quantificação da atividade de APX foram realizados pela equação de Lambert Beer (Equação 6), tendo como coeficiente de extinção molar o ascorbato (2,8  $\text{mM cm}^{-1}$ ). A atividade final de APX foi expressa em  $\mu\text{M ascorbato min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ .

### 3.5.5 Trocas gasosas foliares

As variáveis de trocas gasosas foliares, fotossíntese líquida ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ), transpiração ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) e condutância estomática ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) foram analisadas nos estádios V7 e R2, na ausência e presença de déficit hídrico e dos eliciadores, no período das 6 às 11 horas. As avaliações foram realizadas em folhas completamente expandidas, na porção mediana da planta, com auxílio do analisador de gás infravermelho - IRGA (Infra-red Gas Analyzer) - GFS 3000 FL.

### 3.5.7 Componentes de produção

No final do ciclo da cultura, estágio R5, avaliou-se as características agronômicas: a) comprimento de vagens (CV) - determinada pela medição do comprimento de 10 vagens por subparcela; b) número de grãos por vagem (NGV) - realizada pela contagem do número de grãos das mesmas vagens da variável anterior; c) número de vagens por planta (NVP) - dividindo-se o número total de vagens pelo de plantas na parcela; d) peso de cem grãos em gramas (PCG); e) rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

### 3.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F até 5% de probabilidade), seguidos pelo teste de pares independentes (t-student,  $P < 0,05$ ) para as lâminas de irrigação (W100 e W50), e pelo teste de comparação de médias (Tukey,  $P \leq 0,05$ ) para as cultivares e concentrações de AS, utilizando-se do software computacional SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2019).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Indicadores de status hídrico

#### 4.1.1 Potencial hídrico ( $\Psi_w$ ).

Em condições de déficit hídrico (lâmina W50) e ausência de AS, foi verificado redução do potencial hídrico em todas as cultivares no estágio fenológico V7. Tais reduções corresponderam à 71,43% na cultivar BRS Novaera, 156% na BRS Tapaihum, 60% para a BRS Pujante e 66% na BRS Pajeú, com relação à lâmina W100 (Figura 06A). Enquanto isso, no estágio fenológico R2, foi observado redução, para a mesma situação, apenas na BRS Novaera (Figura 06B).

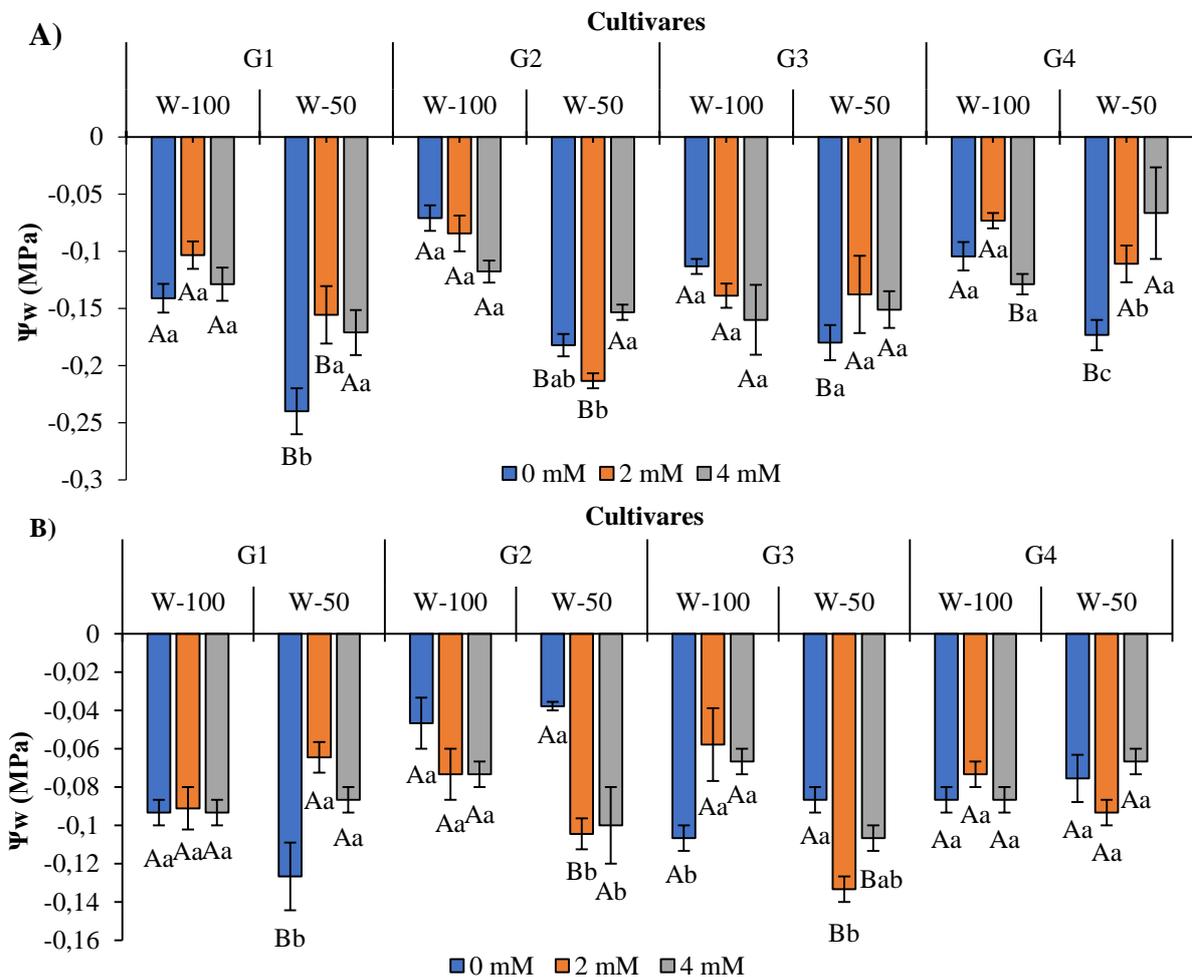
Para Taiz et al. (2017), o potencial hídrico da folha depende, dentre vários fatores, da disponibilidade de água no solo. Para tanto, em situações de deficiência hídrica, quando a taxa de transpiração é maior do que a capacidade de absorção de água, o potencial hídrico foliar se torna mais negativo, induzindo o fechamento estomático (LOPES SOBRINHO et al., 2018). Embora o fechamento estomático restrinja a fotossíntese, o que também interfere no desenvolvimento da cultura e limita a produção (SOUZA et al., 2020b)

Sob condições de restrição hídrica, Silva et al. (2019) também verificaram diminuição no potencial hídrico de cultivares de feijão-caupi, cujas reduções variaram entre 39% e 104%, em comparação com as plantas submetidas à 100% de reposição hídrica. Na ocasião, os autores relataram que a redução do potencial hídrico, em virtude da restrição hídrica, limitou o crescimento da cultura.

Ainda no estágio fenológico V7, sob condições de restrição hídrica, observou-se aumento do potencial hídrico foliar com a aplicação das concentrações de 2 e 4 mM de AS nas cultivares BRS Novaera (37,5 e 30%, respectivamente) e BRS Pajeú (35,3 e 62%, respectivamente), e com 4 mM na cultivar BRS Tapaihum, em comparação com as plantas que não receberam essa

substância. Nessas situações, os valores médios não diferiram entre as lâminas de irrigação, onde as plantas apresentaram, nesse caso, potencial hídrico semelhante aquelas que foram condicionadas à 100% de reposição hídrica. Já na lâmina W100, nesse estágio fenológico, os valores de  $\Psi_w$  não diferiram entre as concentrações de AS em nenhuma das cultivares estudadas (Figura 06A).

**Figura 06:** Potencial hídrico do pecíolo ( $\Psi_w$ ) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0; 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.



No estágio R2 (Figura 07B), dentro da lâmina W50, a cultivar BRS Novaera também expressou aumento do potencial hídrico com 2 e 4 mM de AS (52 e 32%, respectivamente) em comparação com a concentração 0 mM, se mostrando mais responsiva à aplicação de AS que as demais cultivares estudadas. Enquanto isso, nas cultivares BRS Tapaihum e BRS Pujante foi

verificado redução do potencial hídrico foliar com a aplicação do AS, em comparação com as plantas que não receberam essa substância na mesma condição hídrica. Já na lâmina W100, na cultivar BRS Pujante, as plantas submetidas às concentrações de 2 e 4 mM de AS expressam maiores valores de potencial hídrico (-0,057 e -0,067 MPa, respectivamente) que às plantas submetidas à 0 mM (-0,106 MPa).

De acordo com Andrade et al. (2020) o aumento do potencial hídrico com a aplicação do AS em condições de restrição hídrica, pode estar associado à função desse eliciador em favorecer a produção de moléculas osmoprotetoras, como a prolina, o que favorece a absorção de água, mesmo em solos com baixa disponibilidade hídrica (ANSARI et al., 2018). Desta forma, Dutra et al. (2017) e Andrade et al. (2020), ao estudarem os efeitos da aplicação de AS em cultivares de feijão-caupi, cultivadas sob condições de déficit hídrico, verificaram que essa substância potencializou o conteúdo de solutos orgânicos, o que garantiu a manutenção do *status* hídrico nas plantas estudadas.

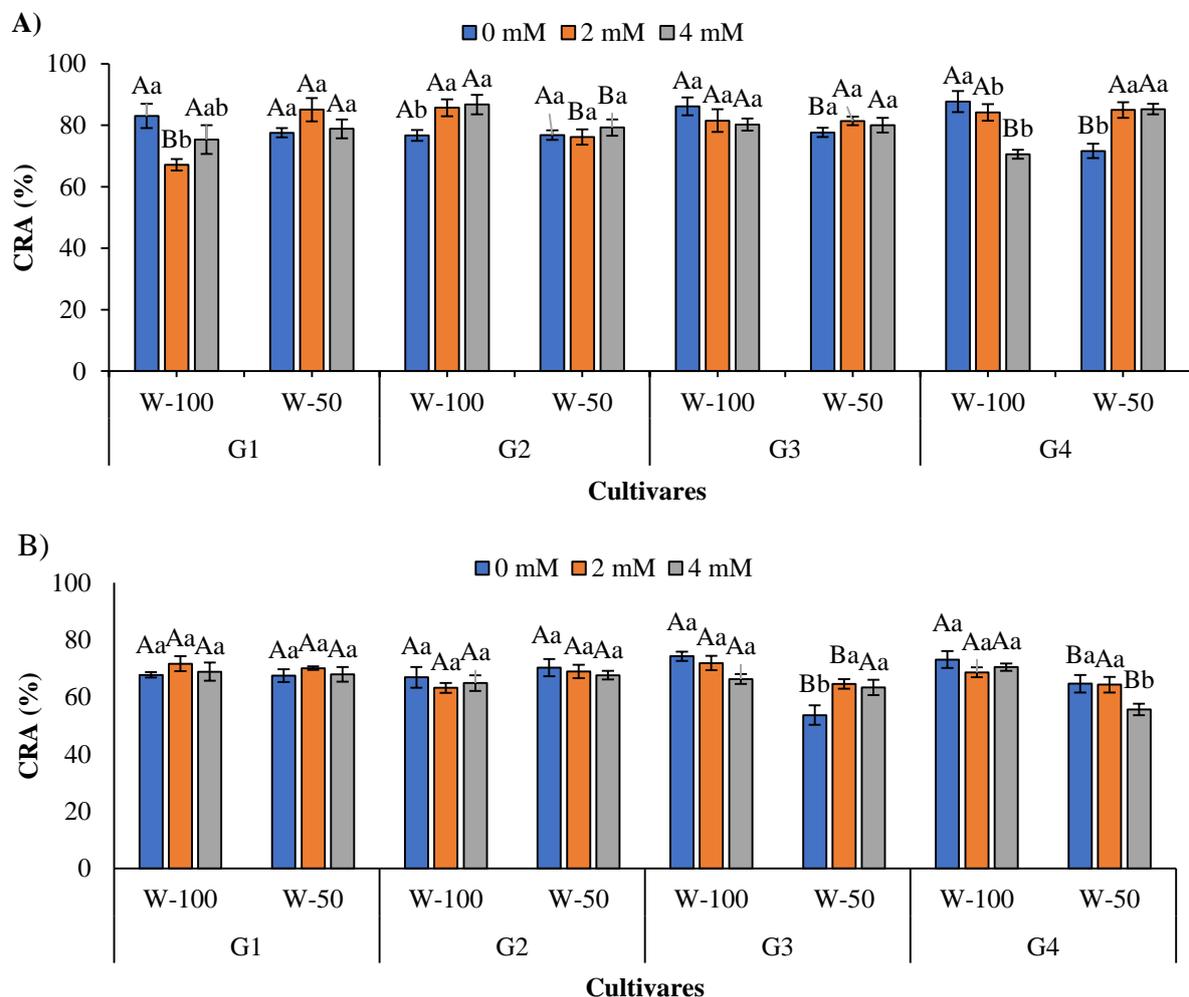
Apesar das alterações no potencial hídrico, pode-se perceber que o AS atenuou os efeitos deletérios do déficit hídrico, uma vez que os ajustes do  $\Psi_w$  foliar registrados sob aplicação dessa substância podem induzir melhoria no mecanismo de abertura dos estômatos, refletindo em aumento das taxas fotossintéticas.

#### **4.1.2 Conteúdo Relativo de Água**

Ao analisar o conteúdo relativo de água (CRA), no estágio fenológico V7, observou-se redução significativa dessa variável com a imposição ao déficit hídrico e ausência de ácido salicílico nas cultivares BRS Pujante (9,84%) e BRS Pajeú (18,31%). Enquanto isso, nessas cultivares, as plantas submetidas às concentrações de 2 e 4 mM de AS, dentro da lâmina W50, não apresentaram diferença no CRA quando comparadas com a lâmina W100. Destaca-se que na condição de estresse, as plantas condicionadas a essas concentrações de AS, na cultivar BRS Pajeú, apresentaram CRA significativamente maior que o observado nas plantas que não receberam esse atenuador na mesma condição hídrica (Figura 07A).

Nesse estágio fenológico, também foi constatado melhoria do CRA com a aplicação de AS a cultivar BRS Tapaihum, nas quais as plantas submetidas às concentrações de 2 e 4 mM, na lâmina W100, apresentaram aumento de CRA em comparação com o controle. Entretanto, nessa mesma condição hídrica, as cultivares BRS Novaera e BRS Pajeú apresentaram redução dessa variável com as concentrações de 2 e 4 mM respectivamente, em comparação com as plantas não tratada com esse ácido na mesma lâmina de irrigação (Figura 07A).

Já no estágio fenológico R2, não foi verificado efeito dos tratamentos no CRA das cultivares BRS Novaera e BRS Tapaihum. Enquanto isso, as cultivares BRS Pujante e BRS Pajeú expressaram diminuição significativa no CRA em condições de restrição hídrica e ausência de AS (28 e 11,5%, respectivamente). O mesmo foi constatado nas plantas submetidas à concentração de 2 mM na cultivar BRS Pujante e nas plantas submetidas à concentração de 4 mM na cultivar BRS Pajeú, cujos CRA foram reduzidos em 10 e 21%, respectivamente. Destaca-se, no entanto, que na cultivar BRS Pujante, a aplicação de AS, nas concentrações de 2 e 4 mM, promoveram aumento do CRA em comparação com o controle, embora o CRA ainda tenha sido menor que o observado no controle da lâmina W100 (Figura 07B).



**Figura 07:** Conteúdo Relativo de Água (CRA) dos cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0; 2 e 4 mM), estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação ( $t$ -student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.

Em estudos de Gomes et al. (2020), o CRA de variedades de feijão-caupi foi significativamente reduzido com a imposição das plantas ao déficit hídrico, assim como foi verificado nas cultivares BRS Pujante e BRS Pajeú no presente estudo, o que indica uma maior sensibilidade dessas cultivares a condições de seca.

Para Qayyum et al. (2021), o CRA é um importante indicador do estado hídrico da planta e a redução dessa variável pode promover a perda da turgescência celular e afetar diretamente os processos fisiológicos, uma vez que os mesmos estão diretamente ligados ao *status* hídrico da planta (TAIZ et al., 2017). Desta forma, destaca-se que as cultivares BRS Novaera e BRS Tapaihum conseguiram manter a turgescência celular mesmo com a redução na disponibilidade hídrica, uma vez que não apresentaram diferença nos valores de CRA na lâmina W50, o que indica uma maior tolerância dessas cultivares a restrição hídrica imposta no presente estudo (GOMES et al., 2020).

Adicionalmente, destaca-se que o AS atuou na manutenção da turgescência celular em condições de restrição hídrica, ao promover aumentos no CRA da cultivar BRS Pajeú no estágio fenológico V7 (Figura 08A) e na cultivar BRS Pujante no estágio R2 (Figura 08B). Resultados semelhantes foram observados por Carvalho et al. (2020) em plantas de manjeriço, no qual o CRA de plantas submetidas à restrição hídrica e tratadas com AS foi 44,5% maior que o das plantas não tratadas, o que sugere o favorecimento da absorção de água devido a aplicação do ácido (ANSARI et al., 2018).

#### **4.2 Vazamento de eletrólitos**

Na ausência de AS (0 mM) a redução na disponibilidade hídrica ampliou o vazamento de eletrólitos nas cultivares BRS Novaera, BRS Tapaihum e BRS Pajeú, no estágio V7 (Figura 08A). Resultado que se repetiu na BRS Pajeú no estágio R2, onde observou-se aumento do VE referente a 25,6% com a restrição hídrica (Figura 08B). Esses resultados indicam que a redução na disponibilidade de água promoveu a ocorrência de danos às membranas do feijão-caupi, uma vez que a liberação de eletrólitos ocorre mediante o aumento da ruptura e permeabilidade dessas estruturas (FIOREZE et al., 2011).

Vale salientar que sob condições de déficit hídrico, a restrição do processo fotossintético pode levar a um acúmulo de elétrons livres no metabolismo vegetal, promovendo um aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (CAMPOS et al., 2019). Em altas concentrações, essas moléculas podem promover a degradação de estruturas celulares e a peroxidação da membrana

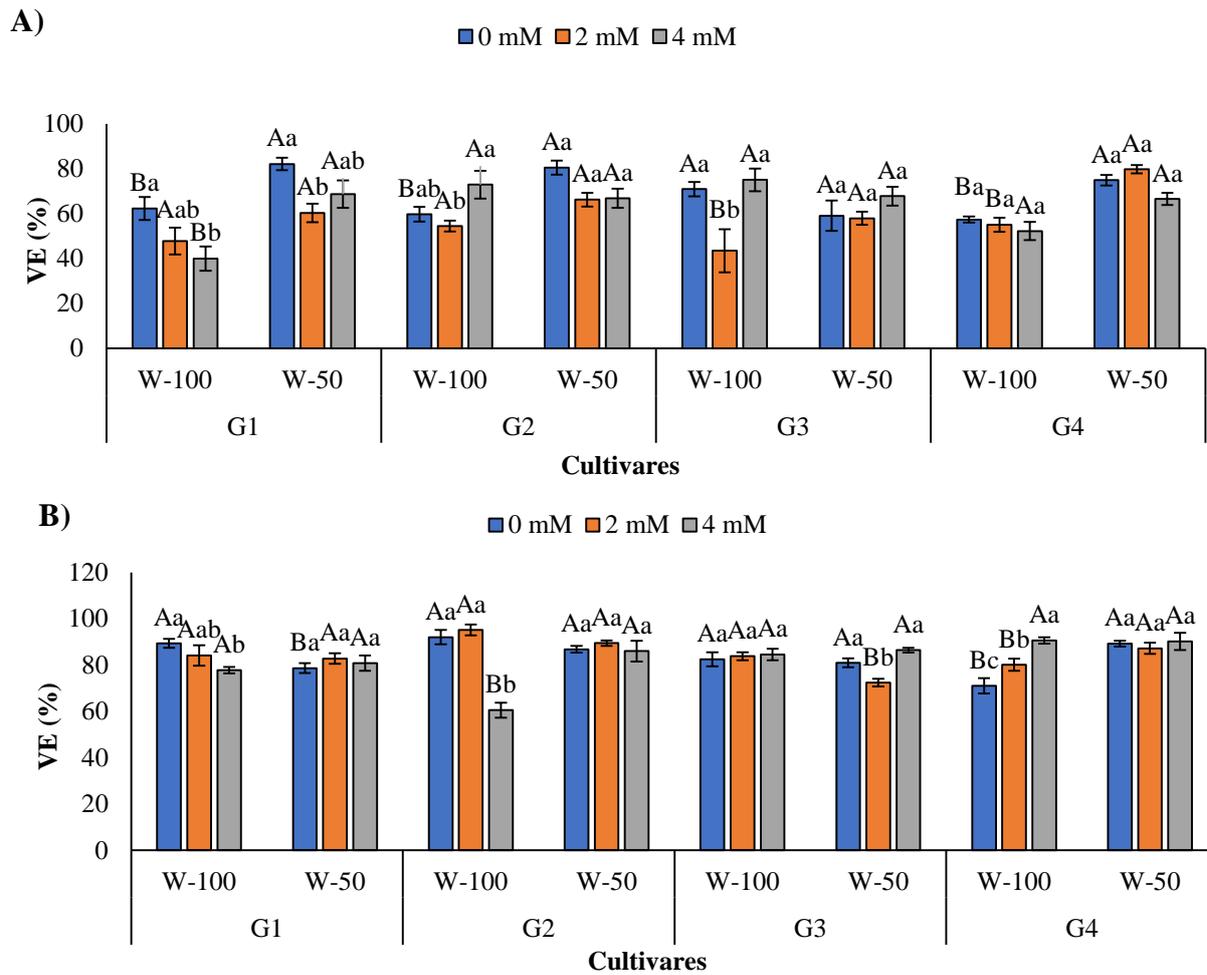
lipídica (BORJAS VENTURA et al., 2019). Desta forma, o aumento do VE observado no presente estudo, pode ter ocorrido em virtude do acúmulo de EROs, em condições de deficiência hídrica.

Entretanto, mediante a aplicação de AS, a cultivar BRS Novaera, expressou redução nos valores de VE após aplicações de 2 e 4 mM nas duas condições hídricas, em comparação com as plantas que não receberam essa substância. Destaca-se ainda que nessa cultivar não houve diferença entre as lâminas de irrigação com a concentração de 2 mM de AS. Já na BRS Pajeú, a concentração de 4 mM se mostrou mais eficiente na manutenção dos valores de VE, já que as plantas submetidas a essa concentração de AS, mesmo sob restrição hídrica, não diferiram estatisticamente da lâmina W100 (Figura 08A).

No estágio fenológico R2 (Figura 08B), observou-se pouca variação no vazamento de eletrólitos. Entretanto, nesse estágio de desenvolvimento, destaca-se o fato de a cultivar BRS Novaera ter apresentado redução dessa variável na lâmina W50, entre as plantas que não receberam o AS. Além disso, sob restrição hídrica, verificou-se redução do vazamento de eletrólitos com 2 mM de AS a cultivar BRS Pujante, enquanto que nas demais cultivares não houve diferença estatística entre os tratamentos. Ainda, nesse estágio fenológico, observou-se menores valores de VE com a concentração de 4 mM de AS nas cultivares BRS Novaera (77,7%) e BRS Tapaihum (60,5%) - na lâmina W100 - os quais foram significativamente menores que os valores apresentados pelas plantas que não receberam o eliciador (Figura 08B).

Ajustes no vazamento de eletrólitos mediante aplicação de AS podem ocorrer pelo fato da substância atuar na regulação dos mecanismos antioxidantes (DUTRA et al., 2017; LEE et al., 2019), além de ser um antioxidante não-enzimático. Desta forma, atua na eliminação das espécies reativas de oxigênio, mantendo a integridade das membranas celulares.

Em condições de restrição hídrica, Araújo et al. (2018) constataram redução no vazamento de eletrólitos em plântulas de feijão-caupi tratadas com ácido salicílico (1 mM). Fato que também foi verificado por Abdelaal et al. (2020) em plantas de cevada (*Hordeum vulgare* L.), onde as plantas cultivadas em condições de déficit hídrico e tratadas com AS apresentaram menor VE que as plantas não tratadas.



**Figura 08:** Vazamento de eletrólitos (VE) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0; 2 e 4 mM), nos es estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (*t*-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.

### 4.3. Variáveis de crescimento

#### 4.3.1 Área foliar

Quanto a área foliar total (AFT), no estágio V7, foi verificado redução dessa variável sob deficiência hídrica e ausência de AS, na cultivar BRS Tapaihum, e entre todas as concentrações de AS, na cultivar BRS Pajeú (Figura 09A). Nas cultivares BRS Novaera e BRS Pujante a AFT não foi afetada pela restrição hídrica nesse estágio fenológico.

Com relação à aplicação de AS, observou-se na lâmina W50 que os valores de AFT foram aumentados nas cultivares BRS Novaera e BRS Pujante com a concentração de 4 mM. Neste caso, as cultivares expressaram aumentos referentes a 85 e 49,1%, respectivamente, em comparação

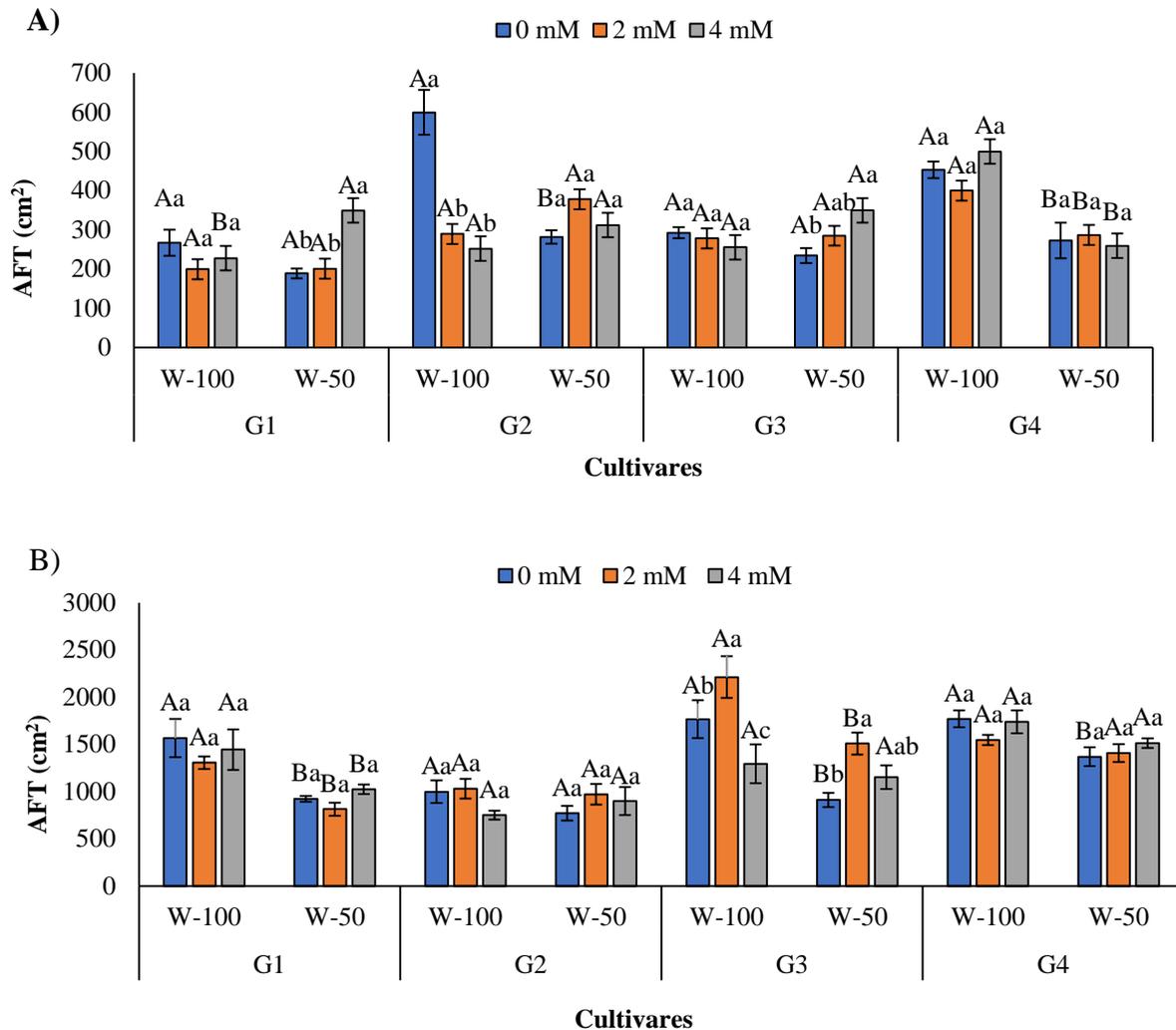
com a concentração 0 mM, nessa mesma lâmina de irrigação. Destaca-se que a cultivar BRS Novaera expressou a maior AFT ( $349,4 \text{ cm}^2$ ) com essa concentração de AS, na condição de 50% de reposição hídrica, representando um aumento de 53,5% com relação as plantas submetidas a mesma concentração na lâmina W100. Já para as cultivares BRS Tapaihum e BRS Pajeú, não foi observado efeito do AS dentro da lâmina W50. Entretanto, na lâmina W100, a cultivar BRS Tapaihum expressou menores valores de AFT com as aplicações de AS (Figura 09A).

Já no estágio R2, com 50% de reposição hídrica e ausência de AS (Figura 09B), foi observada redução da AFT nas cultivares BRS Novaera, BRS Pujante e BRS Pajeú. Destaca-se que na cultivar BRS Novaera, a redução da AFT também foi observada nas plantas submetidas às concentrações de 2 e 4 mM de AS. Esses resultados corroboram os obtidos por Olorunwa et al. (2021) em genótipos de feijão-caupi, os quais apresentaram redução da área foliar com a intensificação da deficiência hídrica.

Nesse estágio fenológico, a maior área foliar ( $2212,22 \text{ cm}^2$ ) foi observada na cultivar BRS Pujante com 100% de reposição hídrica e aplicação de 2 mM de AS, indicando um efeito benéfico dessa concentração de AS, uma vez que esse valor foi 25% maior que o observado no tratamento controle. Esse efeito também foi verificado na lâmina W50 nessa mesma cultivar, onde as plantas submetidas à concentração de 2 mM de AS apresentaram AFT 65% maior que às plantas que não receberam esse atenuador na mesma condição hídrica (Figura 09B).

Para Kapoor et al. (2020) a redução da área foliar em condições de restrição hídrica consiste em uma estratégia das plantas para evitar a perda de água por transpiração. Esse mecanismo de aclimatação ocorre pelo fato de a deficiência hídrica promover a perda do turgor nas células, reduzindo a divisão celular e, por consequência, a expansão das folhas (BANGAR et al., 2019). Com isso, a planta consegue manter o equilíbrio entre a quantidade de água absorvida e evapotranspirada (RIVAS et al., 2016), embora essa resposta reflita em redução nas taxas fotossintéticas, afetando o crescimento e a produção.

Nas plantas submetidas à aplicação de AS e que expressaram aumento da área foliar, pode-se inferir que esse composto viabilizou maior divisão celular, possibilitando a expansão dos tecidos foliares. Desse modo, aumentos na área foliar mediante aplicação dessa substância também foram verificados em plantas de feijão-caupi por Andrade et al. (2020) e em tomateiro por Galviz et al. (2021), indicando que o AS atua na mitigação dos efeitos do estresse hídrico, uma vez que possibilitou o aumento da expansão foliar mesmo em condições de restrição hídrica, assim como foi observado no presente estudo.



**Figura 09:** Área Foliar Total (AFT) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0; 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.

#### 4.3.2 Massa Fresca Total

No estágio fenológico V7, o déficit hídrico influenciou negativamente a massa fresca total (MFT) das cultivares BRS Novaera e BRS Pajeú na ausência de AS, com reduções de 36,3 e 32,7%, respectivamente, em relação à lâmina W100 (Figura 10A). Nesse caso, destaca-se que o déficit hídrico além de dificultar a expansão e a divisão celular, pode alterar o metabolismo vegetal e inibir atividades metabólicas responsáveis pela produção de biomassa (SILVA et al., 2019). Desta forma, é normal que em condições de restrição hídrica as plantas apresentem redução em indicadores de crescimento.

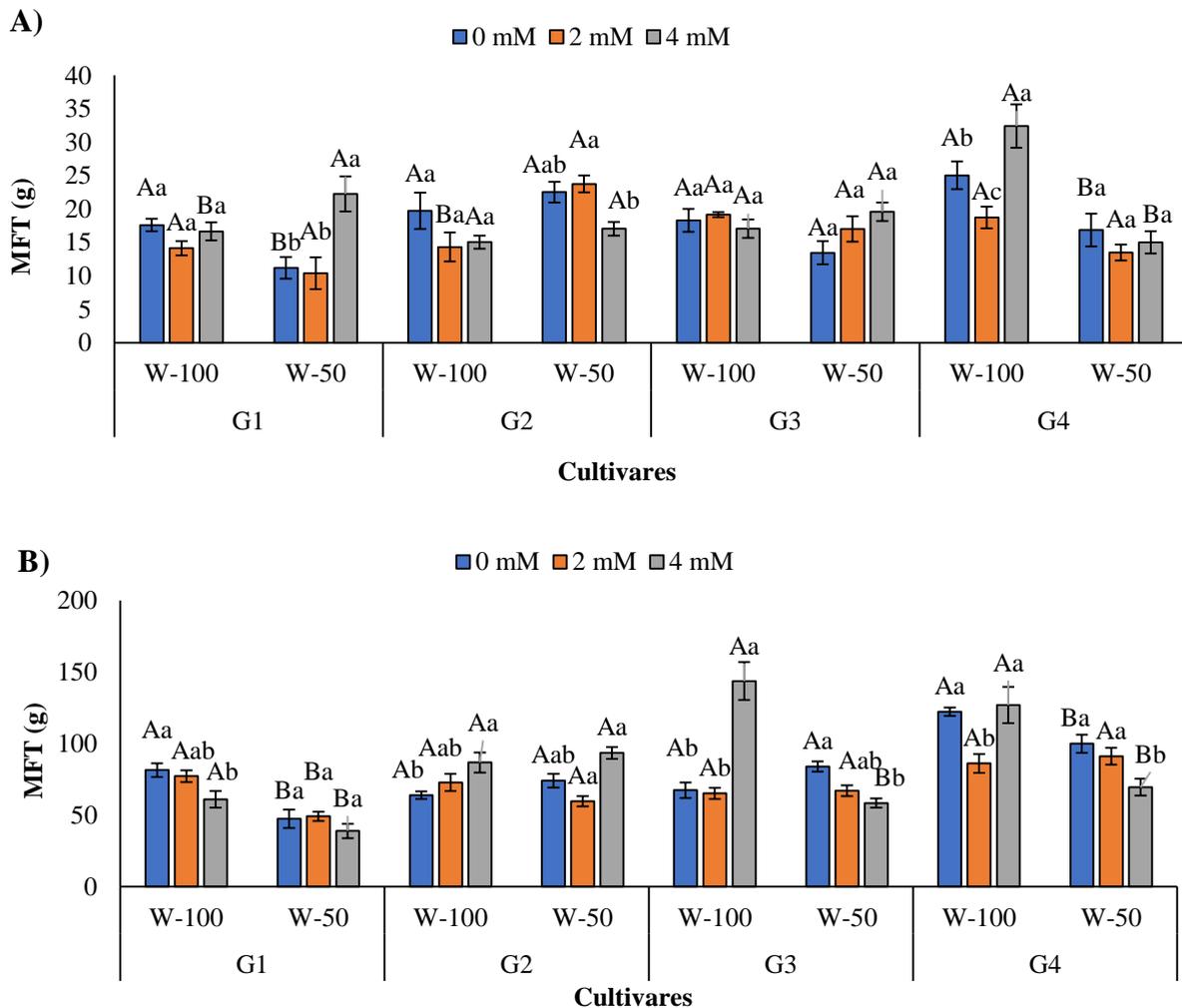
Para tanto, o efeito do déficit hídrico na MFT da cultivar BRS Novaera, no estágio V7, foi contornado com a aplicação de AS na concentração de 4 mM, a qual promoveu aumento de quase

100% dessa variável, em comparação com as plantas que não receberam o AS na mesma condição hídrica, e de 34% em comparação com a lâmina W100. Tal efeito também foi observado com 100% de reposição hídrica na cultivar BRS Pajeú, na qual a concentração de 4 mM de AS promoveu incremento de 28%, em comparação com o controle (Figura 10A).

Em plantas de milho (*Zea mays* L.), Shemi et al. (2021) verificaram que o déficit hídrico reduziu significativamente a massa fresca das plantas, e que esse parâmetro foi melhorado com a aplicação foliar de AS ( $140 \text{ mg L}^{-1}$ ), tanto nas plantas submetidas a condição de estresse hídrico (50% da capacidade de campo) quanto nas plantas bem irrigadas (85% da capacidade de campo).

Quando avaliado a MFT no estágio R2 (Figura 10B), os resultados foram semelhantes aos observados no estágio V7. Tanto a cultivar BRS Novaera quanto a BRS Pajeú apresentaram redução da MFT entre as lâminas de irrigação na ausência de AS. Destaca-se o fato de que, nesse estágio fenológico, a MFT da cultivar BRS Novaera não diferiu entre as concentrações de AS na lâmina W50 e que as cultivares BRS Pujante e BRS Pajeú expressaram redução da MFT com a concentração de 4 mM nessa mesma condição hídrica. Efeitos semelhantes foram observados por Gastl-Filho et al. (2017) em plantas de pepino, onde os autores verificaram redução da matéria fresca com o aumento na concentração de AS.

Nesse estágio fenológico, foi verificado efeito positivo do AS na MFT das cultivares BRS Tapaihum e BRS Pujante com 100% de reposição hídrica, onde a concentração de 4 mM promoveu incrementos de 36 e 113%, respectivamente, com relação ao controle (Figura 10B). Al Rawi et al. (2021) destacaram que o AS ao ser absorvido pela parte vegetativa das plantas, aumenta a transferência de seiva resultado em um maior crescimento vegetal.



**Figura 10:** Massa Fresca Total (MFT) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0; 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.

### 4.3.3 Massa Seca Total

No estágio V7, verificou-se redução de 47,6% da massa seca total (MST) da cultivar BRS Novaera sob estresse hídrico e ausência de AS. Por outro lado, na condição de estresse, verificou-se que a aplicação de 4 mM de AS, nessa cultivar, promoveu aumento de 99,1% na MST em comparação com as plantas que não foram tratadas com AS, sugerindo que essa concentração foi benéfica para o ganho de MST (Figura 11A). Tal fato também foi observado na cultivar BRS Pajeú, com 100% de reposição hídrica, na qual a concentração de 4 mM promoveu incremento de 47,6% em comparação com o controle (0 mM). Para as demais cultivares não foi verificado efeito do estresse hídrico nem das aplicações de AS nesse estágio fenológico (Figura 11A).

Já no estágio R2, foi observado redução da MST sob estresse hídrico e ausência de AS nas cultivares BRS Tapaihum, BRS Pujante e BRS Pajeú (Figura 11B). Esses resultados corroboram os achados de Olorunwa et al. (2021), cujos autores verificaram redução da massa seca de cultivares de feijão-caupi com a intensificação do déficit hídrico.

Quando avaliado o efeito da aplicação de AS sobre a MST das cultivares nesse estágio de desenvolvimento, com 50% de reposição hídrica, foi constatado aumento de 47,6% dessa variável com a concentração de 2 mM na cultivar BRS Novaera. Já com as concentrações de 2 e 4 mM na cultivar BRS Pujante, foi observado aumento de MST superior a 70%, para ambas as concentrações, em comparação com as plantas que não receberam o AS na mesma condição hídrica (Figura 11A).

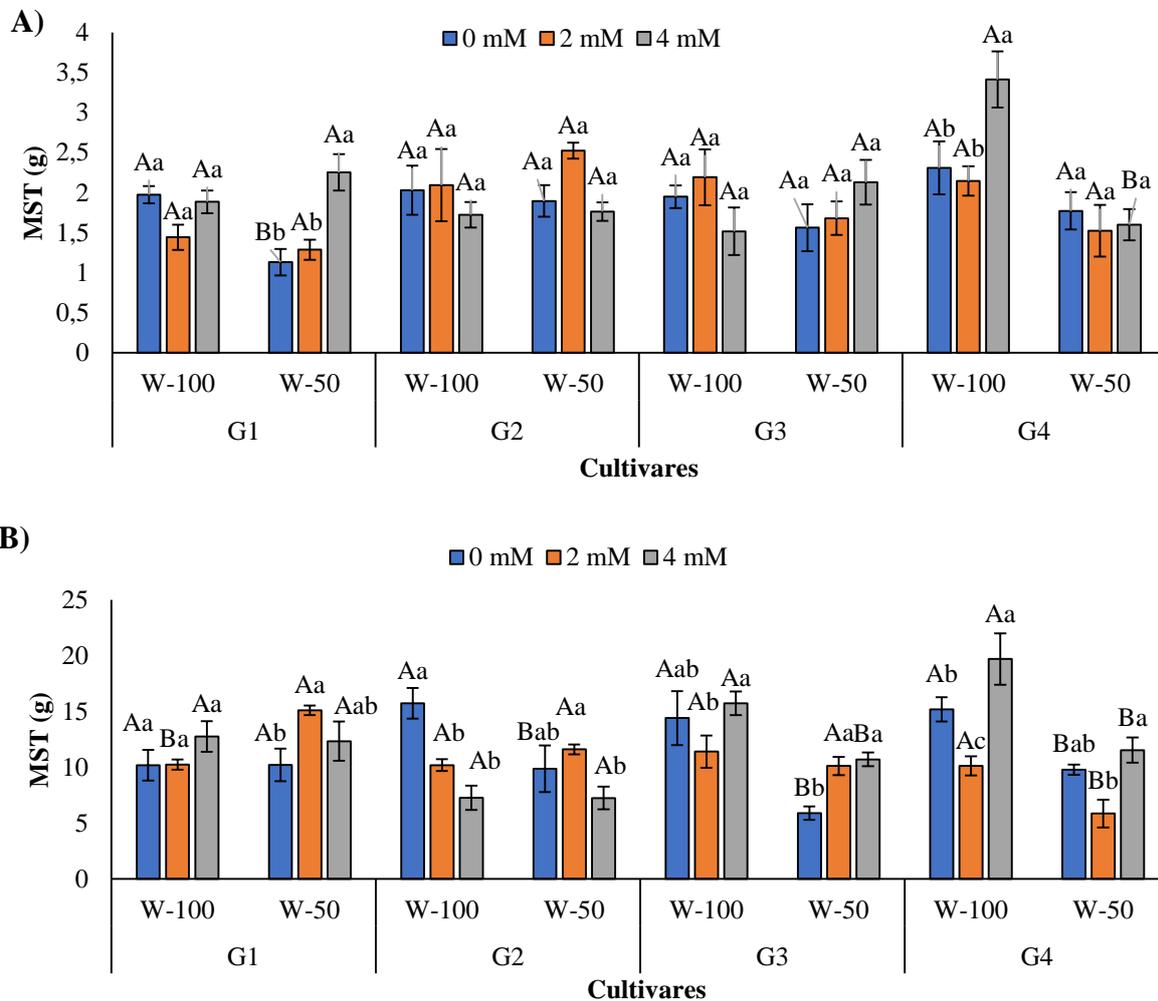
Na lâmina W100, a concentração de 4 mM promoveu aumento de 30% na MST da cultivar BRS Pajeú, enquanto isso, com a concentração 2 mM houve redução de 33% nessa variável, com relação ao controle. Além disso, na cultivar BRS Tapaihum também foi constatado redução da MST, nessa lâmina de irrigação, porém, com ambas as concentrações de AS (Figura 11A). Para tanto, essas reduções podem ter sido efeito da diminuição na área foliar observada nesses respectivos tratamentos, já que a redução na AFT pode alterar a produção e o transporte de fotoassimilados, interferindo no crescimento (PADILHA et al., 2016).

É relatado que o estresse hídrico pode promover redução na massa seca de plantas, pois nessa condição, a perda do turgor celular induz o fechamento estomático, o que restringe a absorção de CO<sub>2</sub>, e por consequência, o processo fotossintético, resultando em uma menor produção de biomassa (ZAFAR et al., 2021). Além disso, em condições de restrição hídrica, as plantas tendem a direcionar uma maior quantidade de recursos para raízes, promovendo o aumento dessas estruturas, com consequente redução da parte aérea (BARROS et al., 2021). Entretanto, a aplicação de AS parece ser uma alternativa interessante para contornar esses efeitos na cultura do feijão-caupi, uma vez que a aplicação desse ácido promoveu aumento na MST das cultivares BRS Novaera e BRS Pujante em condições de restrição hídrica.

Efeitos semelhantes aos observados no presente estudo foram verificados por Zulfiqar et al. (2021) em plantas de manjericão (*Ocimum basilicum* L.) e por Parveen et al. (2021) em plantas de trigo. Em ambas as pesquisas, os autores verificaram redução da massa seca das plantas cultivadas sob restrição hídrica e evidenciaram aumento nessa variável com a aplicação de AS em diferentes concentrações.

Para Shao et al. (2018), o aumento de MST em plantas mediante aplicação de AS, se deve ao fato desse ácido ativar enzimas fotossintéticas que restauram o fornecimento de CO<sub>2</sub> à enzima Rubisco, melhorando a eficiência de fixação fotossintética do carbono, induzindo uma maior

produção de proteína, lignina e fotoassimilados. Além disso, Mazzuchelli et al. (2014) destacaram que o AS pode atuar diretamente em outros fitormônios, regulando o crescimento e o desenvolvimento das plantas.



**Figura 11:** Massa Seca Total (MST) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0; 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.

#### 4.4. Ajustamento Osmótico

##### 4.4.1 Conteúdo de prolina livre (PRL)

No presente estudo, após 12 dias de restrição hídrica (estádio V7), foi verificado aumento do conteúdo de prolina livre (PRL), no tratamento sem AS, nas cultivares BRS Tapaihum e BRS Pajeú, com relação a lâmina W100 (Figura 12A). Esses resultados indicam uma maior resistência dessas cultivares aos efeitos adversos do estresse hídrico, uma vez que o acúmulo de prolina, em

condições de restrição hídrica, está relacionado com a tolerância das plantas a esse tipo de estresse (TOSCANO et al., 2016).

Para tanto, ao avaliar o efeito das aplicações de AS nesse estágio fenológico, na lâmina W50, foi observado redução de 43% nos valores de PRL da cultivar BRS Tapaihum com a concentração de 4 mM, bem como reduções correspondentes a 60 e 52% com 2 e 4 mM, respectivamente, na BRS Pajeú, em comparação com as plantas que não receberam essa substância (Figura 12A). Tais reduções podem ser atribuídas ao efeito do AS em manter o *status* hídrico dessas cultivares durante esse período de estresse.

Com relação as cultivares BRS Novaera e BRS Pujante, embora os valores de PRL não tenham diferido entre as lâminas de irrigação na ausência de AS, no estágio V7, foi constatado aumento de PRL com a aplicação de AS nas duas lâminas de irrigação (Figura 12A). Nesse caso, a cultivar BRS Novaera expressou aumento de 62% com a concentração de 2 mM de AS a lâmina W100, e de 64% com 4 mM na lâmina W50, em comparação com as plantas que não receberam AS. Já na cultivar BRS Pujante, dentre as plantas submetidas a concentração de 2 mM de AS, foi verificado aumento de PRL correspondente a 150% na lâmina W50, em comparação com a lâmina W100 (Figura 12A).

Avaliando o acúmulo de prolina, no estágio R2, verificou-se aumento nas cultivares BRS Tapaihum, BRS Pujante e BRS Pajeú em condições de restrição hídrica (lâmina W50) e ausência de AS. Além disso, na lâmina W50, o conteúdo de prolina livre foi potencializado com a concentração de 4 mM de AS, na cultivar BRS Tapaihum (42%), e com 2 mM na BRS Pajeú (93%), em comparação com as plantas que não receberam o AS. Já na lâmina W100, também foi verificado aumento no teor de prolina com a aplicação de AS, nas cultivares BRS Novaera (com 2 e 4 mM) e BRS Tapaihum (4 mM) em comparação com o tratamento controle (0 mM) (Figura 12B).

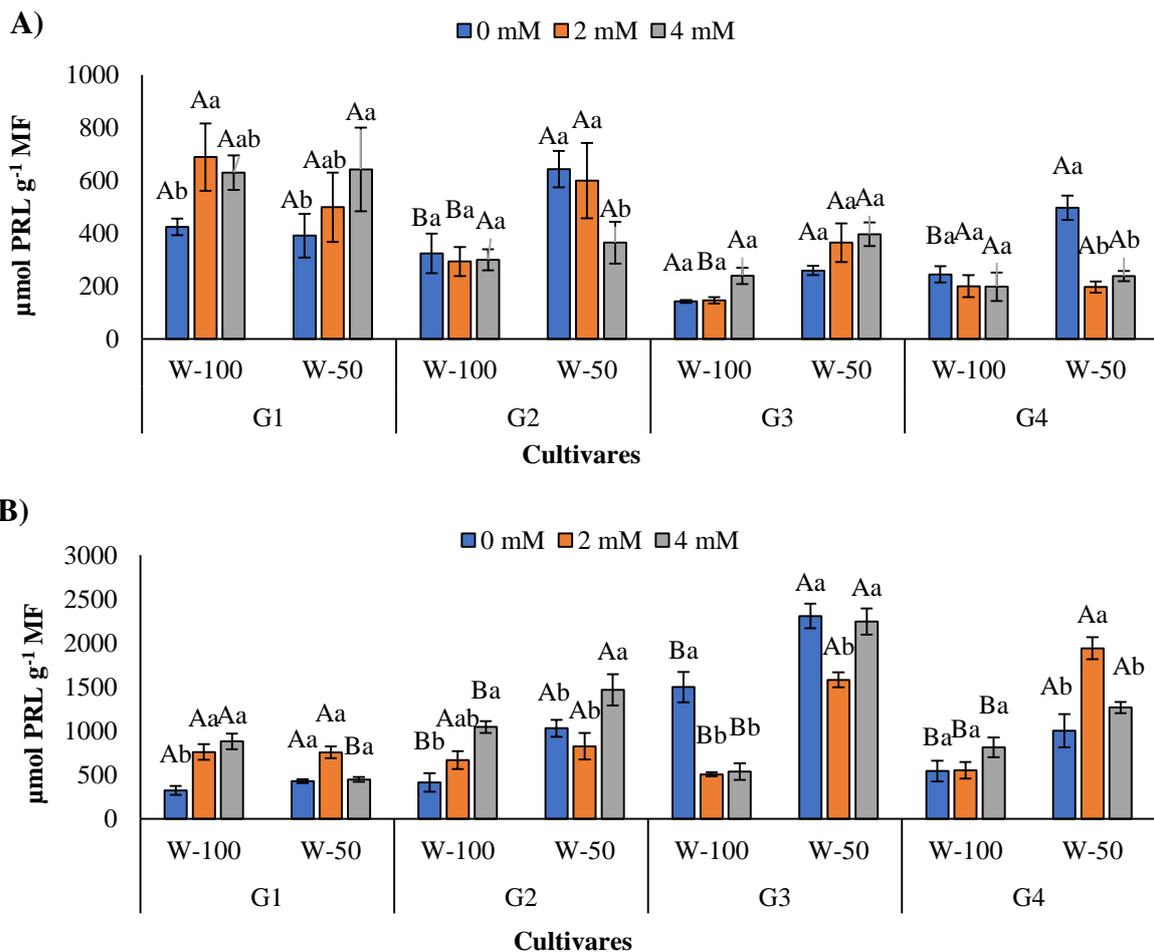
Para Mohammadi et al. (2019) o ajustamento osmótico por meio do acúmulo de prolina no citoplasma celular, consiste em um dos principais mecanismos utilizados pelas plantas para o enfrentamento da seca. Através desse processo, as plantas conseguem aumentar a absorção de água do solo e manter a hidratação das células, o que garante a ocorrência dos processos fisiológicos mesmo sob baixa disponibilidade hídrica (ANSARI et al., 2018; LOZANO-MONTAÑA et al., 2021). Desta forma, o aumento do conteúdo de prolina na lâmina W50, mesmo na ausência de AS, indica uma resposta das cultivares estudadas à diminuição de água no solo.

Assim como no presente estudo, o acúmulo de prolina em condições de restrição hídrica na cultura do feijão-caupi, também foi observado por Silva et al. (2019), o que garantiu a

manutenção da turgescência e do metabolismo celular, resultando em uma maior resistência da cultura ao déficit hídrico.

Além disso, a potencialização dos valores de prolina, observados com a aplicação do AS, sugere um efeito benéfico desse atenuador na mediação de respostas ao déficit hídrico. Esses resultados estão de acordo com os observados por Mohammadi et al. (2019) em plantas de tomilho (*Thymus kotschyanus*), onde as plantas cultivadas sob restrição hídrica e tratadas com AS apresentaram aumento de até 5,2 vezes no conteúdo de prolina livre em relação às plantas não tratadas; e com os resultados observados por Azadvari et al. (2020), em cominho preto (*Nigella sativa* L.), onde o AS aumentou o teor de prolina livre em todas as condições de irrigação.

Na cultura do feijão-caupi, Andrade et al. (2020) também observaram aumento do conteúdo de prolina livre mediante aplicação de AS, o que segundo esses autores, também contribuiu para o aumento na atividade de enzimas antioxidantes dessa cultura.



**Figura 12:** Teor de Prolina Livre (PRL) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0; 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.

#### 4.4.2 Conteúdo de Açúcares Solúveis Totais (AST)

Sob restrição hídrica e ausência de AS, no estágio V7, foi verificado aumento no conteúdo de açúcares solúveis totais (AST) nas cultivares BRS Tapaihum e BRS Pajeú, com relação a lâmina W100 (Figura 13A). Para tanto, Moura et al. (2016) destacam que o déficit hídrico pode alterar o conteúdo de AST por afetar a translocação de fotoassimilados nas plantas, com isso, a utilização dessas moléculas é reduzida e as mesmas se acumulam nas folhas na forma de solutos orgânicos compatíveis, contribuindo para o processo de ajuste osmótico (COELHO et al., 2018).

O acúmulo no conteúdo de AST sob condições de deficiência hídrica também foi verificado por Lozano-Montaña et al. (2021) em plantas de maracujá-roxo, os quais associaram esse aumento ao processo de ajuste osmótico realizado pela cultura quando a disponibilidade hídrica diminuiu. Para esses autores, o aumento na concentração dessas moléculas contribuiu para a melhoria do *status* hídrico e garantiu a manutenção dos processos fisiológicos mesmo sob baixa disponibilidade de água.

Dentre as plantas submetidas à 50% de reposição hídrica, no estágio V7, observou-se que o conteúdo de AST da cultivar BRS Pajeú incrementou-se com a aplicação de AS nas duas concentrações (2 e 4 mM), com relação às plantas que não receberam o AS nessa mesma condição hídrica (Figura 14A). Resultados semelhantes aos observados por Azadvari et al. (2020), no qual o AS aumentou o conteúdo de AST do cominho preto (*Nigella sativa* L.) em condições de restrição hídrica. Assim como no presente estudo, esses autores observaram que o conteúdo de AST foi aumentado com a imposição do déficit hídrico e potencializado mediante aplicação de AS.

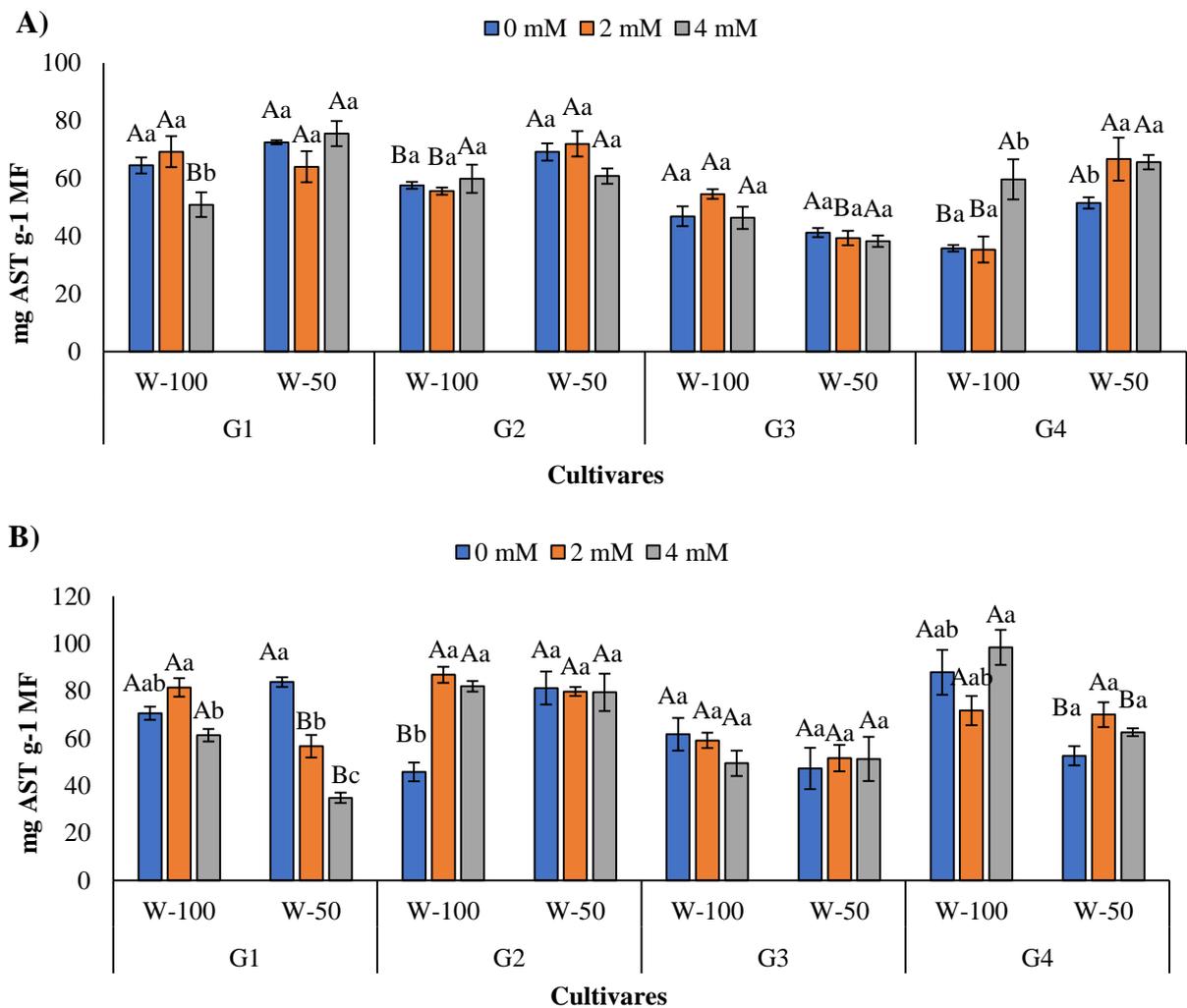
Com 100% de reposição hídrica, ainda no estágio V7, não foi verificada variação de AST entre as concentrações de AS nas cultivares BRS Tapaihum e BRS Pujante. Já com a aplicação de 4 mM de AS, os níveis de AST foram reduzidos na cultivar BRS Novaera (21%) e aumentados na ‘BRS Pajeú’ (66,7%), em comparação com o controle (0 mM) nessa mesma condição hídrica (Figura 13A).

No estágio R2, os níveis de AST da cultivar BRS Tapaihum, em condições de restrição hídrica e ausência de AS continuaram maiores que os observados na lâmina W100, enquanto que a BRS Pajeú expressou redução dessa variável nesse mesmo tratamento (Figura 13B).

Com relação às aplicações de AS, no estágio fenológico R2, a cultivar BRS Novaera expressou redução de AST na lâmina W50, com 2 mM (32%) e 4 mM (58%), comparando-se com as plantas que não receberam esse atenuador (Figura 13B). Tais reduções podem ter ocorrido em virtude de um direcionamento dos carboidratos para produção de sementes, tendo em vista que nesse estágio fenológico a cultura se encontra em fase de enchimento de grãos. Além disso, nesses

tratamentos foram observados aumento do potencial hídrico foliar dessa cultivar, o que pode ter favorecido a translocação de fotoassimilados.

Enquanto isso, na lâmina W100, a cultivar BRS Tapaihum apresentou aumento de AST com ambas as concentrações de AS, com relação ao controle (Figura 13B). Esse fato pode ser atribuído à capacidade do AS em induzir a ativação de enzimas que sintetizam carboidratos (GORNI, 2018).



**Figura 13:** Açúcares Solúveis Totais (AST) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0; 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.

## 4.5 Mecanismo Antioxidante

### 4.5.1 Atividade da enzima Ascorbato Peroxidase (APX)

Avaliando-se a atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX) no estágio V7, sob restrição hídrica e ausência de AS, verificou-se redução de 40% na cultivar BRS Tapaihum, em comparação com a lâmina W100, enquanto que as cultivares BRS Novaera e BRS Pajeú expressaram aumento de 84,7 e 35,3%, respectivamente, nessa mesma condição (Figura 14A).

Com 100% de reposição hídrica as cultivares BRS Novaera e BRS Pujante apresentaram aumento de 149% e 47%, respectivamente, na atividade de APX com a aplicação de AS na concentração de 2 mM, em comparação com o controle. Já na cultivar BRS Tapaihum, a atividade dessa enzima foi reduzida significativamente com a aplicação desse atenuador, nessa mesma condição hídrica. Na cultivar BRS Pajeú, a atividade de APX foi potencializada com as concentrações de 2 e 4mM de AS nas duas lâminas de irrigação, sendo os aumentos mais expressivos observados nas plantas submetidas à concentração de 2 mM (Figura 14A).

No estágio R2, apenas a cultivar BRS Pajeú expressou aumento na atividade de APX sob condições de restrição hídrica e ausência de AS, onde a atividade foi 80% maior que o observado no mesmo tratamento na lâmina W100 (Figura 14B).

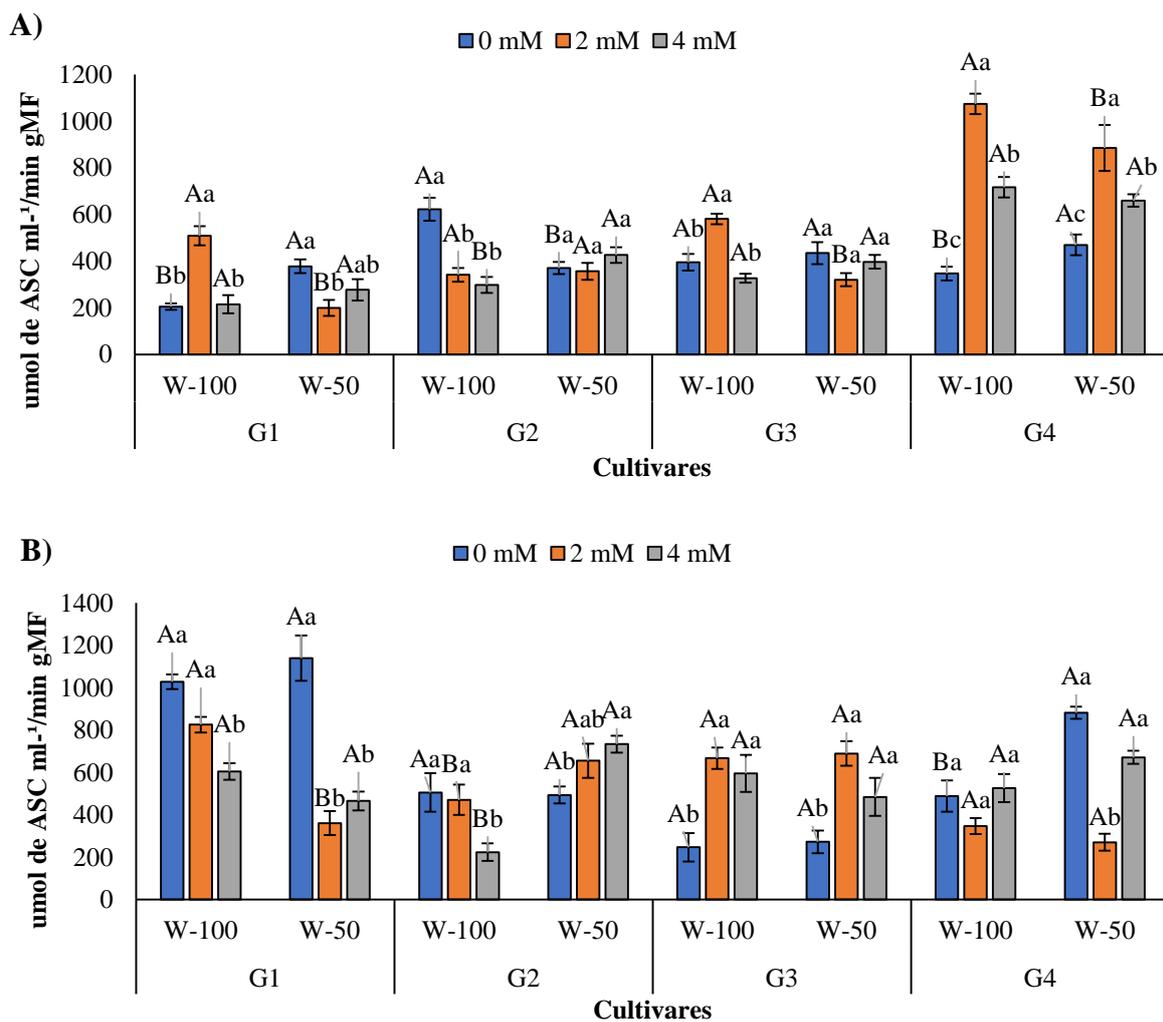
Nesse estágio fenológico, ao avaliar a atividade de APX na lâmina W50, foi verificado redução dessa variável nas plantas submetidas as concentrações de 2 e 4 mM na cultivar BRS Novaera, e com 2 mM na BRS Pajeú. Nessa lâmina de irrigação, a cultivar BRS Pujante expressou aumento de 155% na atividade de APX com a concentração de 2 mM de AS e de 78% com a concentração de 4 mM, comparando-se com a ausência desse ácido (Figura 14B).

Já na condição de 100% de reposição hídrica, nas cultivares BRS Novaera e BRS Tapaihum, as plantas submetidas a concentração de 4 mM de AS expressaram redução de 41 e 55,7%, respectivamente, em comparação com o controle. Enquanto que na cultivar BRS Pujante, nessa mesma condição hídrica, as plantas aumentaram a atividade de APX com a aplicação de AS nas concentrações de 2 e 4 mM (Figura 14B).

De acordo com Sharma et al. (2012) a enzima APX desempenha um papel importante na eliminação e controle dos níveis intracelulares de ERO's, já que, pelo fato de ter grande afinidade com o peróxido hidrogênio, consegue eliminá-lo das células vegetais com uma maior eficiência. Desta forma, aumentos na atividade de APX em condições de restrição hídrica, pode ser um importante mecanismo de controle das ERO's (DUTRA et al., 2017), o qual pode contribuir para a manutenção da integridade das membranas celulares (BARBOSA et al., 2014). Deve-se salientar, no entanto, que a variação induzida pelo estresse hídrico na atividade dessa enzima, depende do

nível de tolerância de cada cultivar a esse tipo de estresse (CARVALHO et al., 2019), o que justifica as diferentes respostas obtidas nas cultivares avaliadas no presente estudo.

O AS mitigou os efeitos deletérios do estresse hídrico ao potencializar a atividade da enzima APX sob restrição hídrica, nas cultivares BRS Pajeú (Figura 14A) e BRS Pujante (Figura 14B). Esse fato também foi constatado por Dutra et al. (2017) na cultivar de feijão-caupi BRS Gurgueia, onde os autores verificaram aumento na atividade de APX mediante a aplicação de AS (1 mM), comprovando o efeito benéfico desse ácido na indução de respostas ao estresse hídrico.



**Figura 14:** Atividade da enzima Ascorbato Peroxidase (APX) nas cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0; 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.

Adicionalmente, Dutra et al. (2017) destacam em seu estudo que o aumento na atividade dessa e de outras enzimas antioxidantes, induzida pela aplicação de AS, deve-se ao fato desse

ácido regular a expressão de genes responsáveis pela codificação dessas enzimas. Tal fato pode explicar o aumento na atividade de APX nas plantas submetidas a aplicação desse atenuador na lâmina W100, como foi observado nas cultivares BRS Novaera e BRS Pujante no estágio V7 (Figura 14A), e na cultivar BRS Pajeú nos dois estádios fenológicos (Figura 14 A e B). Vale salientar ainda, que o AS pode atuar como um antioxidante não enzimático, garantindo a remoção de ERO's e as mantendo em níveis controlados no metabolismo celular (LEE et al., 2019), o que pode ter contribuído para redução na atividade da enzima APX observada nas cultivares BRS Novaera e BRS Pajeú na lâmina W50, durante o estágio R2 (Figura 14B).

#### **4.5.2 Atividade da enzima Catalase (CAT)**

Com relação a atividade da enzima catalase (CAT), no estágio V7, foi verificado aumento de 231% na cultivar BRS Pujante com a redução na disponibilidade de água e ausência de AS. Já nas plantas que receberam o AS na concentração de 2 mM, a atividade de CAT não diferiu entre as lâminas de irrigação. Para tanto, com a concentração de 4 mM, foi verificado aumento de 56% na cultivar BRS Novaera e de 206% na cultivar BRS Pujante em comparação com as plantas submetidas a mesma concentração na lâmina W100 (Figura 15A).

Nesse estágio fenológico, destaca-se ainda o efeito do AS na atividade da catalase na cultivar BRS Pajeú, cuja aplicação desse atenuador promoveu aumento na atividade dessa enzima tanto na lâmina W100, quanto na lâmina W50 (Figura 15A). Para tanto, com 100% de reposição hídrica, foram observados aumentos de 140 e 264% com as concentrações de 2 e 4 mM de AS, respectivamente, em comparação com as plantas que não receberam o AS. Já na lâmina W50, esses aumentos foram de 67% com a concentração de 2 mM e de 107% com a concentração de 4 mM (Figura 15A).

Nas cultivares BRS Novaera e BRS Tapaihum também foi verificado aumento na atividade de CAT mediante a aplicação de AS, na concentração de 4 mM. Para a cultivar BRS Novaera, esse fato foi constatado na condição de 50%, onde a atividade de CAT foi aumentada em 172,7% em comparação com as plantas não tratadas, enquanto que na cultivar BRS Tapaihum o aumento foi verificado na lâmina W100, o qual correspondeu à 307% em comparação com o controle (Figura 15A).

No estágio R2, foi observado aumento na atividade de CAT com a submissão ao estresse nas cultivares BRS Pujante (na ausência de AS e entre as plantas submetidas a concentração de 2 mM), e na cultivar BRS Pajeú com a concentração de 2 mM (Figura 15B).

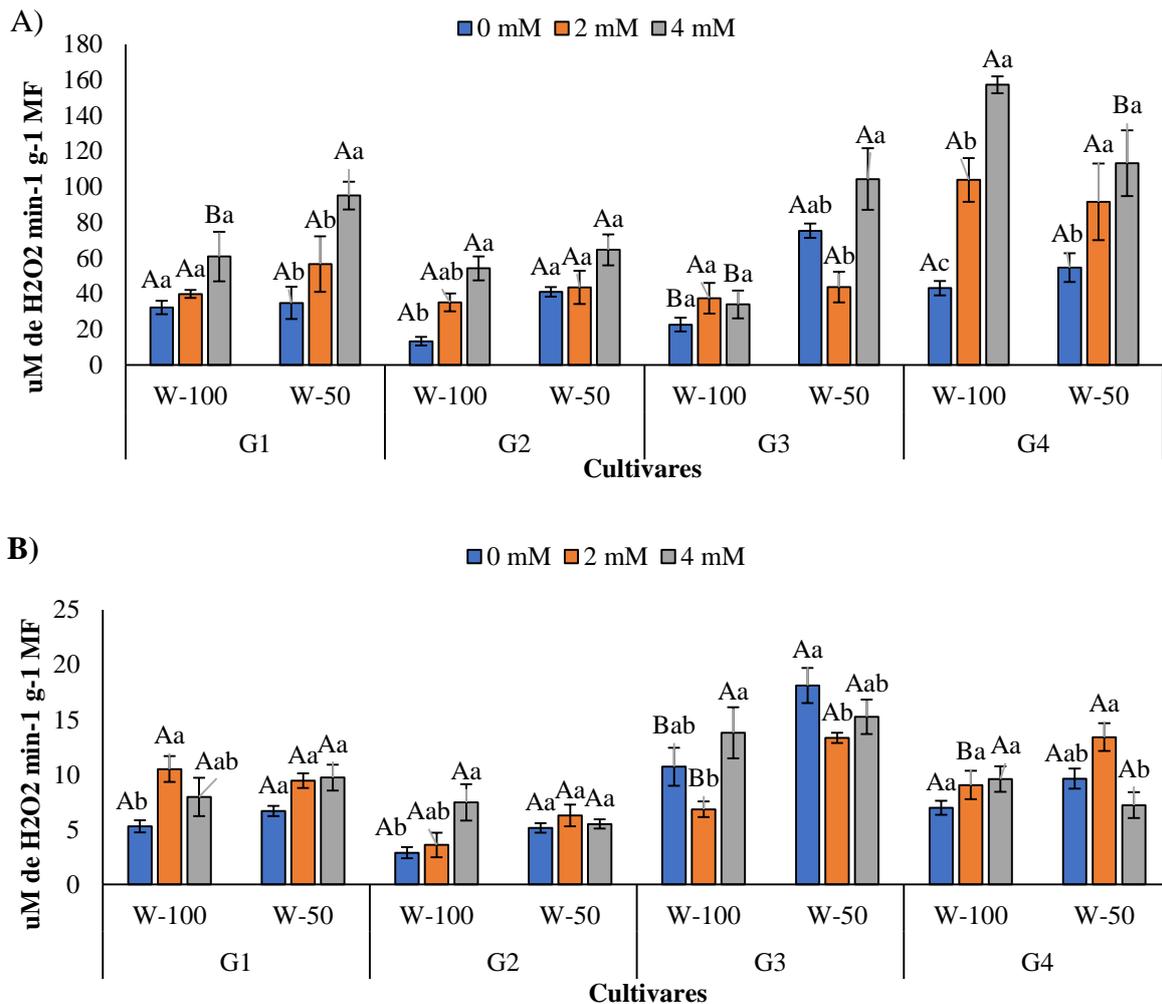
Além disso, nesse estágio fenológico, ao avaliar a atividade de CAT entre as concentrações de AS, foi verificado efeito desse atenuador nas duas lâminas de irrigação. Para tanto, na lâmina

W100, a atividade de CAT foi intensificada com a concentração de 2 mM na cultivar BRS Novaera, e com a concentração de 4 mM nas cultivares BRS Tapaihum e BRS Pujante. Já na condição de restrição hídrica, foi observado uma maior atividade de CAT na cultivar BRS Pajeú com a concentração de 2 mM, enquanto que na cultivar BRS Pujante, com essa mesma concentração, as plantas expressaram redução na atividade dessa enzima nessa mesma condição hídrica (Figura 15B).

Para Dutra et al. (2017) a enzima catalase desempenha um papel essencial no controle de  $H_2O_2$ , principalmente quando a concentração dessas moléculas no metabolismo vegetal se encontra em níveis elevados. De acordo com Sharma et al. (2012), o fato de atuar sem a necessidade de um agente redutor, essa enzima é capaz de eliminar uma grande quantidade de peróxido de hidrogênio em um curto período de tempo, evitando a ocorrência de danos às membranas e estruturas celulares, principalmente nos momentos iniciais do estresse (MERWAD et al., 2018).

Prazeres et al. (2021) destacam que o aumento na atividade de CAT em condições de restrição hídrica pode garantir uma maior tolerância a esse tipo de estresse. Desta forma, nesse estudo, a cultivar BRS Pujante demonstrou uma maior capacidade de tolerância ao estresse hídrico, pois expressou aumento na atividade dessa enzima nos dois estádios fenológicos (Figura 15 A e B). Destaca-se que uma maior atividade de CAT, sob condições de restrição hídrica, também foi observada em cultivares de feijão-caupi por Carvalho et al. (2019), os quais associaram esse fato a capacidade de tolerância dessa cultura a condições de seca.

Os aumentos na atividade de catalase observados nas cultivares com a aplicação de AS, comprovam o efeito benéfico desse ácido na indução de respostas ao déficit hídrico e na proteção celular. Para tanto, Andrade et al. (2020) confirmam os resultados dessa pesquisa, quando estudaram cultivares de feijão-caupi submetidos a diferentes condições hídricas, e também constataram aumento na atividade de CAT mediante aplicação de ácido salicílico.



**Figura 15:** Atividade da enzima Catalase (CAT) nas cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0; 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.

#### 4.6 Trocas gasosas foliares

Avaliando-se as duas lâminas de irrigação, após 12 dias de restrição hídrica (Estádio V7), foi verificada redução na condutância estomática ( $gs$ ) das cultivares BRS Tapaihum (30%) e BRS Pajeú (38%) com relação a lâmina W100, na ausência de AS. Para tanto, na condição de estresse, a cultivar BRS Tapaihum expressou aumento de 61% nessa variável com a concentração de 2 mM de AS, e de 29% com a concentração de 4 mM, com relação ao tratamento controle, com as plantas apresentando, nesse caso, valores de  $gs$  semelhantes aos observados na lâmina W100. Na cultivar BRS Pajeú, não houve efeito das concentrações de AS nas plantas submetidas à 50% de reposição hídrica nesse estágio fenológico (Figura 16A).

Nas cultivares BRS Novaera e BRS Pujante não foi verificada variação na condutância estomática entre as lâminas de irrigação no estágio V7. Contudo, destaca-se que essas cultivares apresentaram aumento dessa variável com a concentração de 4 mM de AS na lâmina W100. Nessa mesma condição hídrica, essa concentração de AS promoveu redução na condutância estomática da cultivar BRS Pajeú (Figura 16A).

Avaliando-se a condutância estomática no estágio R2 (Figura 16B), verificou-se que a restrição hídrica promoveu redução dessa variável entre todas as doses de AS nas cultivares BRS Novaera e BRS Pajeú, e entre as plantas submetidas às concentrações de 0 e 4 mM, na cultivar BRS Tapaihum. Entretanto, com a aplicação de AS (2 e 4 mM), na lâmina W50, o efeito foi contornado nas cultivares BRS Tapaihum e BRS Pajeú, onde as plantas apresentaram aumento da condutância estomática com relação ao tratamento controle (0 mM), e valores médios semelhantes aos observados no controle da lâmina W100 (Figura 16B).

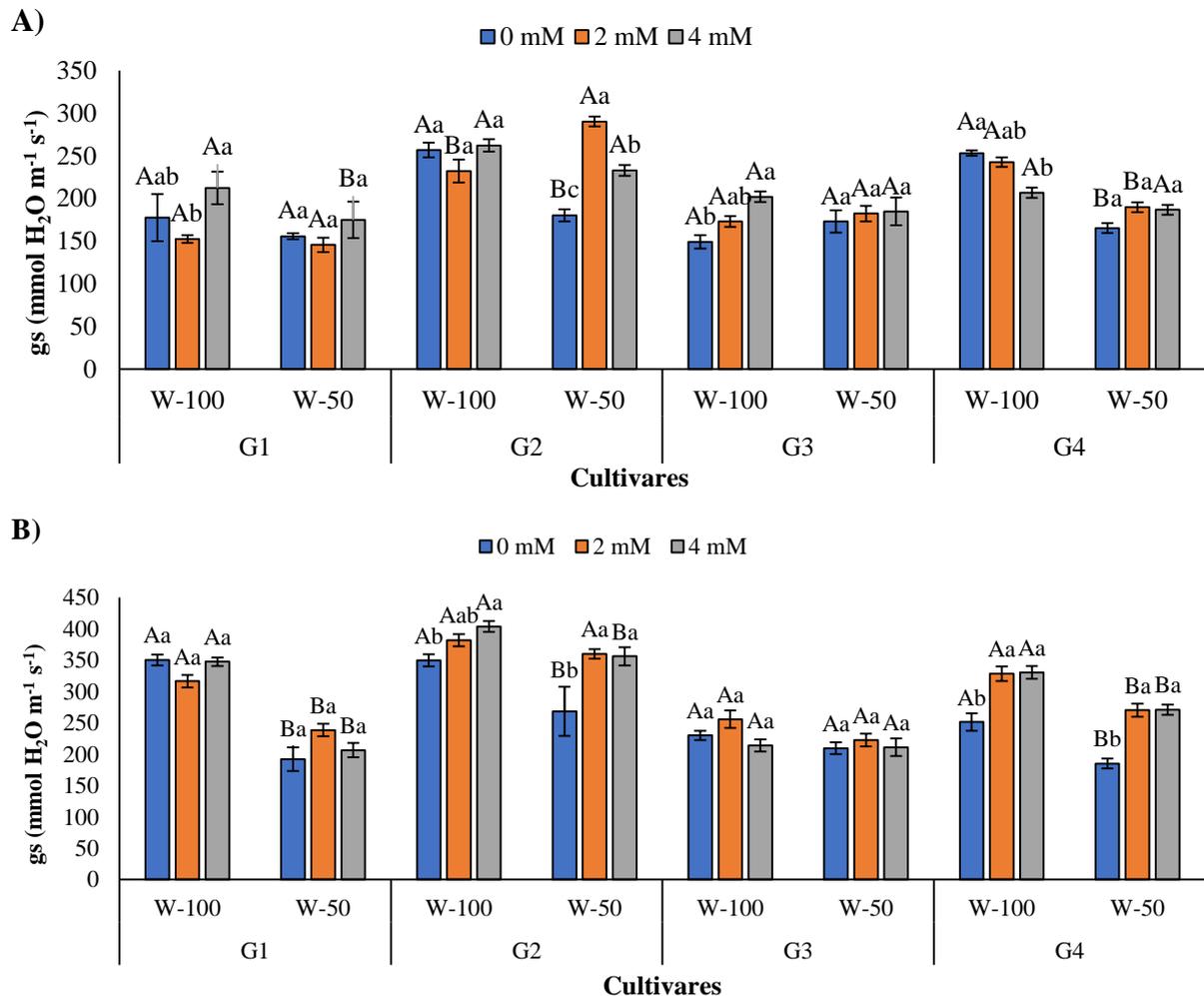
Com 100% de reposição, no estágio R2, a cultivar BRS Pajeú também apresentou maiores valores de  $g_s$  com as concentrações de 2 e 4 mM de AS, representando aumentos de 31 e 30%, respectivamente, em relação ao controle. Esse efeito também foi verificado na cultivar BRS Tapaihum, nessa mesma lâmina de irrigação, onde as plantas submetidas a concentração de 4 mM apresentaram condutância estomática significativamente maior que as plantas não tratadas com AS (Figura 16B).

As reduções na condutância estomática, observadas com a submissão ao estresse, são explicadas por Souza et al. (2020b), os quais relatam que em condições de estresse hídrico, as plantas reduzem a abertura dos estômatos como medida de proteção para evitar a perda de água por transpiração. Destaca-se que no presente estudo, as reduções de  $g_s$ , em geral, foram acompanhadas por redução nas taxas transpiratórias ( $E$ ) das cultivares nos dois estádios fenológicos (Figura 17 A e B). Para Freitas et al. (2017) a diminuição da condutância estomática em condições de restrição hídrica parece ser uma resposta imediata do feijão-caupi à restrição de água no solo.

Embora esse mecanismo seja uma estratégia interessante para a sobrevivência em condições de seca, Verma et al. (2020) e Ferreira et al. (2021) destacam que o mesmo pode limitar o influxo de  $CO_2$  afetando negativamente a fotossíntese. Desta forma, no presente estudo, o ácido salicílico, ao promover aumentos na condutância estomática das cultivares, mesmo em condições de restrição hídrica, pode ter contribuído para mitigação dos efeitos do estresse hídrico nesse importante processo fisiológico.

Os aumentos de  $g_s$  observados mediante aplicação de AS nessa pesquisa, corroboram os resultados de Carvalho et al. (2020) em plantas de manjerição, onde os autores verificaram que o

tratamento com AS aumentou em 17% a condutância estomática de plantas bem irrigadas, e em mais de 100% nas plantas submetidas a restrição hídrica.



**Figura 16:** Condutância estomática ( $g_s$ ) dos cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0; 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.

No estágio V7, as cultivares BRS Tapaihum e BRS Pajeú apresentaram menores taxas de transpiração ( $E$ ) com a imposição ao estresse hídrico (lâmina W50), no tratamento sem ácido salicílico (Figura 17A). No entanto, com a aplicação de AS (2 mM) na lâmina W50, a cultivar BRS Tapaihum apresentou aumento de 50% nessa variável, em comparação com as plantas que não receberam o AS na mesma condição hídrica. Já na cultivar BRS Pajeú, não foi observado diferença estatística na transpiração entre as diferentes concentrações de AS dentro da lâmina W50, embora os valores médios de transpiração das plantas submetidas as concentrações de 2 e 4 mM desse atenuador tenham sido maiores que os observados no tratamento sem AS na mesma condição hídrica, os quais não diferiram dos valores observados na lâmina W100 (Figura 17A).

Já no estágio R2, a condição de 50% de reposição hídrica influenciou negativamente a transpiração das cultivares BRS Novaera e BRS Pajeú, as quais apresentaram redução dessa variável em todas as concentrações de AS. As cultivares BRS Tapaihum e BRS Pujante não apresentaram diferença significativa nos valores de transpiração entre as condições hídricas nesse estágio fenológico (Figura 17B).

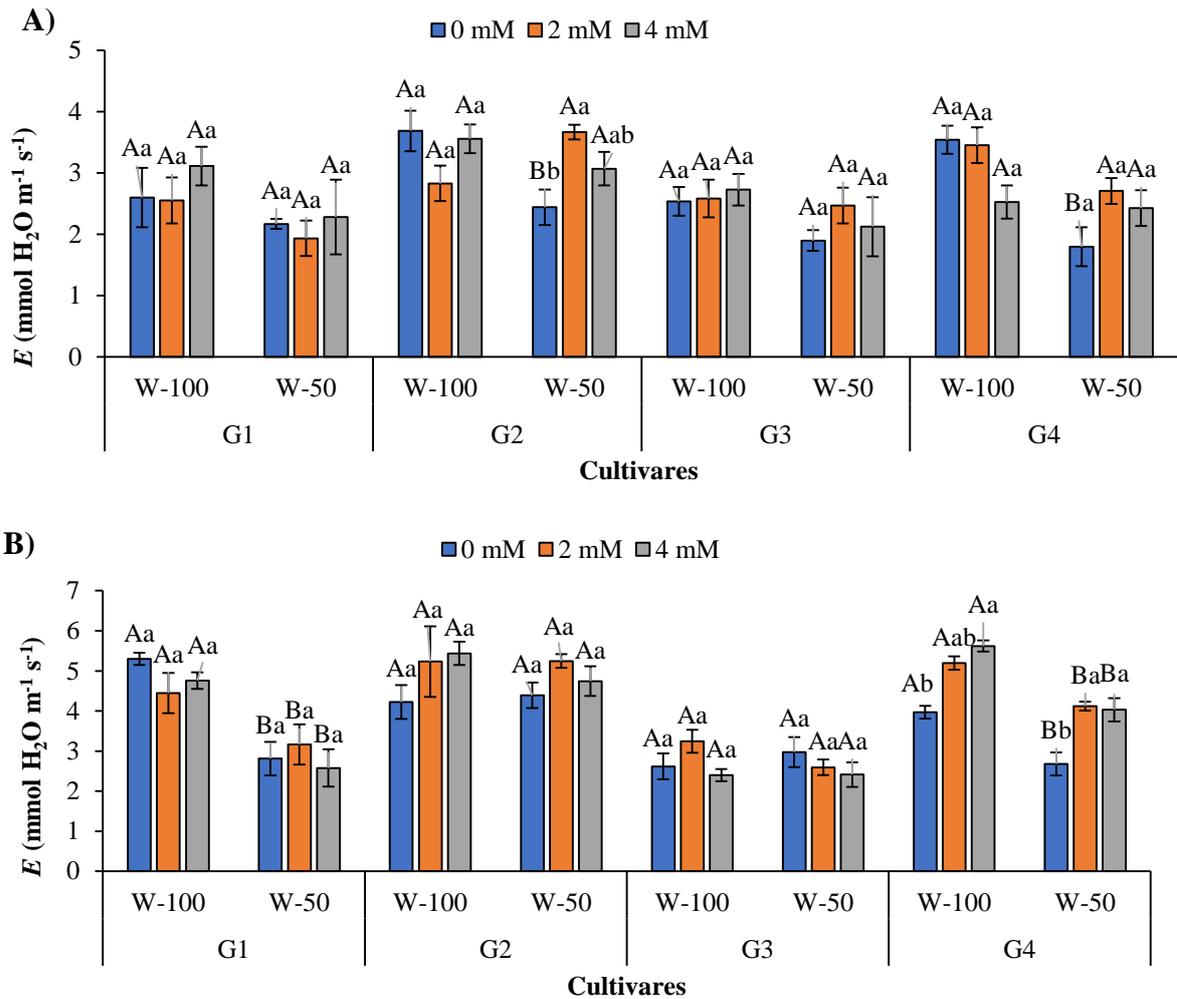
Com a aplicação de AS, no estágio R2, foi verificado aumento na transpiração foliar da cultivar BRS Pajeú com as concentrações de 2 e 4 mM na lâmina W50, cujo valores foram significativamente maiores que o observado nas plantas que não receberam esse atenuador. Além disso, na lâmina W100, essa cultivar também apresentou aumento da transpiração foliar com a aplicação de AS (4 mM), sendo, portanto, 41% maior que o valor observado no tratamento controle.

A redução da transpiração foliar é uma das principais estratégias adotadas pelas plantas para evitar a desidratação celular e sobrevivência em período de seca (FERREIRA et al., 2021). Desta forma, quando submetidas a condições de restrição hídrica, elas geralmente diminuem as taxas de transpiração através de reduções na área foliar (KAPOOR et al., 2020) e/ou do fechamento estomático (SOUZA et al., 2020b), assim como foi observado no presente estudo.

Com relação a cultivar BRS Pajeú, destaca-se que a mesma apresentou diminuição da área foliar com 50% de reposição hídrica nos dois estágios fenológicos (Figura 09 A e B), o que pode ter contribuído para a diminuição da transpiração foliar nessa mesma condição hídrica, corroborando Kapoor et al. (2020).

Nas demais cultivares, a redução da transpiração foliar em condições de estresse pode estar ligada ao fechamento estomático, observado pela redução da condutância estomática nos mesmos tratamentos (Figura 16 A e B). Para tanto, esses resultados estão de acordo com o estudo de Ferreira et al. (2021) os quais destacaram redução na transpiração foliar de feijão-caupi pela diminuição da condutância estomática em condições de déficit hídrico.

Nos tratamentos com AS, o aumento da transpiração foliar foi paralelo ao aumento observado na condutância estomática das cultivares, indicando que esse atenuador aumentou a transpiração das cultivares ao promover melhoria na  $g_s$  (Figuras 16 e 17).



**Figura 17:** Transpiração ( $E$ ) dos cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0; 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.

Após 12 dias de restrição hídrica (estádio V7), no tratamento sem AS, foi verificado redução da fotossíntese ( $A$ ) em todas as cultivares, quando comparado com a lâmina W100 (Figura 18A), cujas reduções corresponderam à 11% na cultivar BRS Novaera, 19% na BRS Tapaihum, 23% na BRS Pujante e 12% na BRS Pajeú. Esses resultados também foram observados por Carvalho et al. (2019) e Olorunwa et al. (2021), onde foram verificadas reduções da fotossíntese dessa cultura após 10 e 14 dias de estresse, respectivamente.

O déficit hídrico pode afetar a fotossíntese de várias maneiras, dentre as quais se destaca a limitação do fornecimento de  $\text{CO}_2$  ocasionado pelo fechamento estomático (SOUZA et al., 2020b; FERREIRA et al., 2021). Desta forma, nesse estágio fenológico, as reduções de  $A$  nas cultivares BRS Tapaihum e BRS Pajeú na lâmina W50, ocorreram possivelmente em decorrência da redução de  $g_s$  observada nos referidos tratamentos (Figura 18A). Além disso, Parveen et al. (2021)

destacaram que o déficit hídrico pode promover redução no conteúdo de clorofila e desta forma inibir a fotossíntese, o que pode ter ocasionado as reduções observadas nas cultivares BRS Novaera e BRS Pujante, uma vez que, para esses mesmos tratamentos, essas cultivares não apresentaram diferença de  $g_s$  entre as lâminas de irrigação.

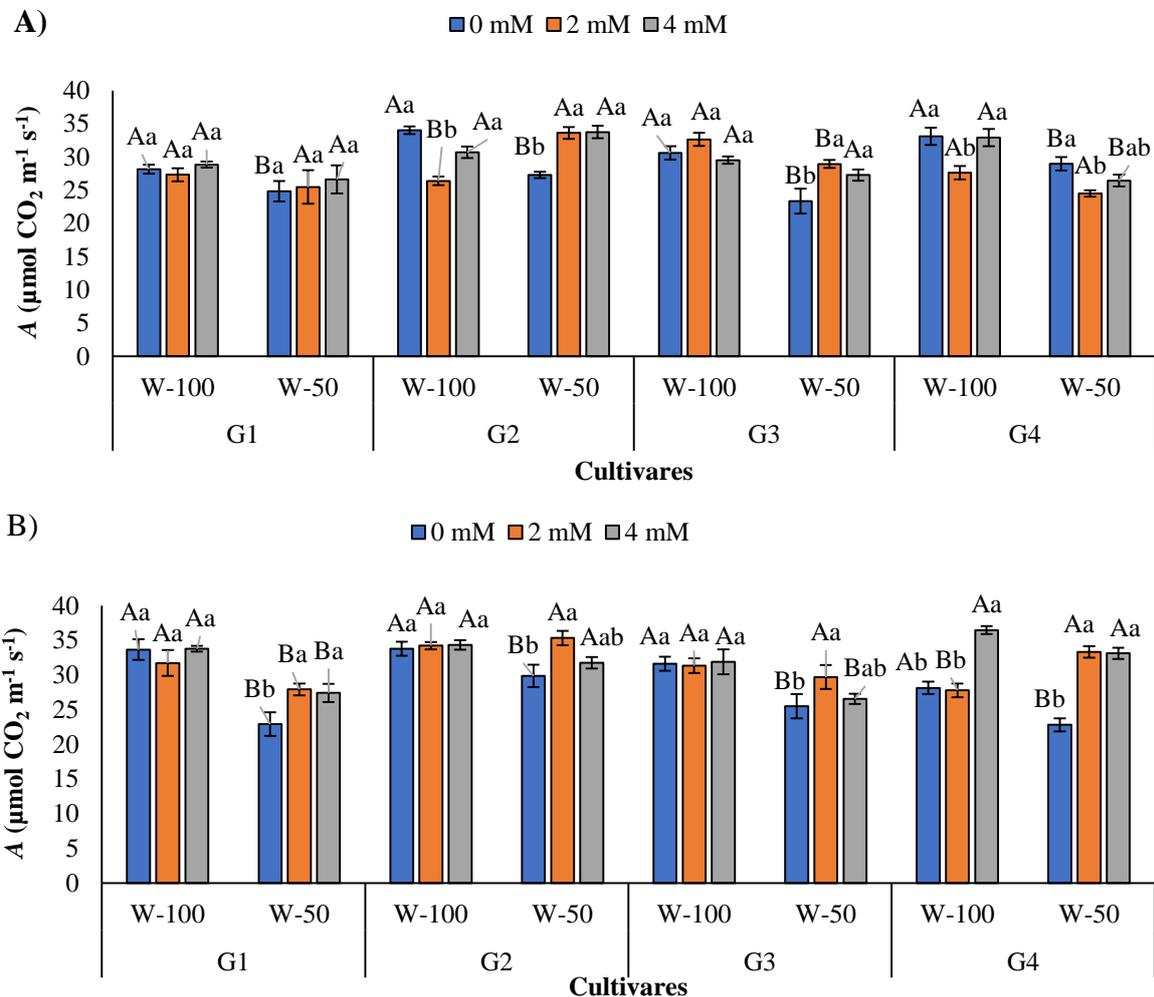
Quando avaliado o efeito do AS na fotossíntese das cultivares submetidas à restrição hídrica, foi observado efeito positivo desse atenuador na BRS Tapaihum e BRS Pujante, onde as plantas submetidas às concentrações de 2 e 4 mM apresentaram aumento da fotossíntese em comparação com o controle. Já na lâmina W100, com a concentração de 2 mM, foi observado redução da fotossíntese nas cultivares BRS Tapaihum (22%) e BRS Pajeú (16,5%) em comparação com as plantas que não receberam esse ácido (Figura 18A).

No estágio R2, também foi observado redução na fotossíntese de todas as cultivares, na lâmina W50 e ausência de AS (Figura 18B). Vale salientar que, com exceção da cultivar BRS Pujante, todas as demais apresentaram redução de  $g_s$  nesse estágio fenológico, o que pode ter ocasionado as reduções de  $A$  observadas nessa fase de desenvolvimento. Para tanto, destaca-se que esses resultados corroboram o estudo de Souza et al. (2020b), os quais constataram que a fotossíntese do feijão-caupi foi fortemente afetada pela ocorrência de déficit hídrico na fase reprodutiva. Esses autores ressaltaram que a redução de fotoassimilados nesse estágio fenológico, em decorrência da redução nas taxas fotossintéticas, pode afetar os componentes de produção dessa cultura e interferir na produtividade final.

Nesse estágio fenológico, o efeito benéfico do AS pôde ser verificado pelos aumentos na fotossíntese promovidos por esse atenuador na lâmina W50, com as concentrações de 2 e 4 mM nas cultivares BRS Novaera e BRS Pajeú, e com a concentração de 2 mM nas cultivares BRS Tapaihum e BRS Pujante, onde os valores médios de  $A$  foram maiores que os observados nas plantas que não o receberam esse atenuador na mesma condição hídrica (Figura 18B). Destaca-se ainda, o aumento observado com a concentração de 4 mM na cultivar BRS Pajeú, na lâmina W100, onde foi verificada taxa fotossintética 30% maior que o observado no tratamento controle (Figura 18B).

O efeito benéfico do AS na melhoria das taxas fotossintéticas de plantas submetidas à restrição hídrica, também foi constatado por Shao et al. (2018) em plantas de milho, e por Khalvandi et al. (2021) em plantas de trigo. Para esses autores, esses resultados são explicados pelo fato de o AS melhorar o fornecimento de  $CO_2$  para realização da fotossíntese ao induzir o aumento da abertura estomática (KHALVANDI et al., 2021), assim como foi constatado na cultivar BRS Pajeú no presente estudo (Figura 18B), ou pela capacidade do AS de garantir a

ativação de enzimas fotossintéticas que restauram o fornecimento de CO<sub>2</sub> para a Rubisco, ajudando a superar as limitações estomáticas (SHAO et al., 2021).



**Figura 18:** Fotossíntese (A) das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0; 2 e 4 mM), nos estádios fenológicos V7 (A) e R2 (B). Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.

#### 4.7 Componentes de Produção

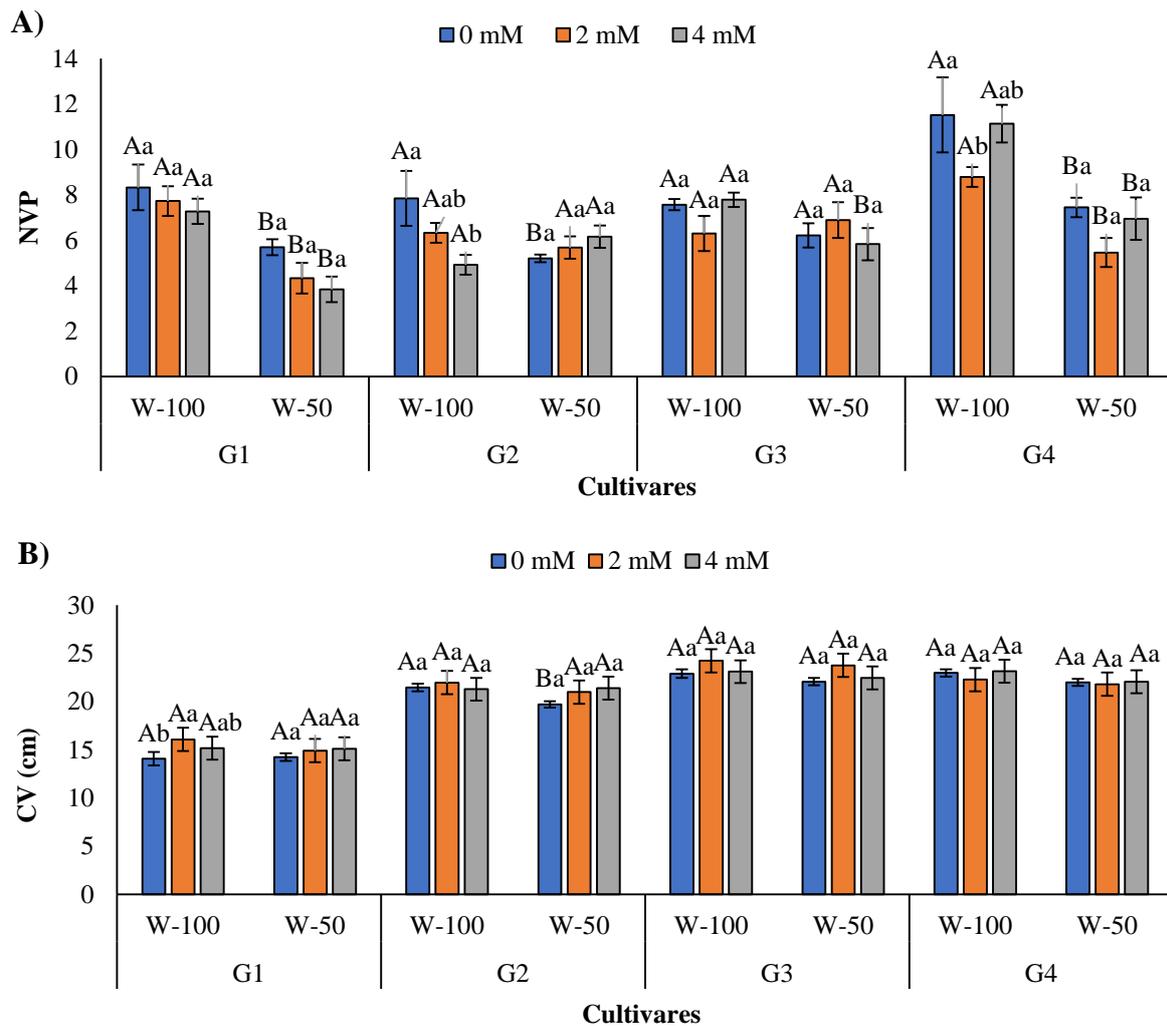
No presente estudo, o déficit hídrico afetou negativamente o número de vagens por planta (NVP) nas cultivares BRS Novaera, BRS Tapaihum e BRS Pajeú (Figura 19A). Esses resultados corroboram os achados de Barros et al. (2021) na cultivar de feijão-caupi BRS Rouxinol, e de Barbosa et al. (2021) em plantas de soja. Segundo esses autores, o déficit hídrico pode promover uma série de alterações fisiológicas, causando a perda de flores e abortamento de vagens, e desta forma reduzir o número de vagens por planta, principalmente quando ocorre durante o período

reprodutivo. Destaca-se que nesse estudo as plantas permaneceram sob restrição hídrica durante a fase reprodutiva, o que pode ter contribuído para as reduções de NVP observadas nessas cultivares.

Com relação às aplicações de AS, não foi verificado efeito desse atenuador na lâmina W50 em nenhuma cultivar. Entretanto, destaca-se que na lâmina W100, as cultivares BRS Tapaihum e BRS Pujante apresentaram redução dessa variável com as concentrações de 4 e 2 mM respectivamente (Figura 19A).

Quanto ao comprimento de vagem (CV), foi observado efeito da restrição hídrica apenas na cultivar BRS Tapaihum, no tratamento sem AS, onde o CV na lâmina W50 mostrou-se 8% menor que o observado nas plantas submetidas à 100% de reposição hídrica (Figura 19B). No entanto, destaca-se que as plantas expostas às concentrações de 2 e 4 mM de AS, nessa cultivar, não apresentaram diferença de CV entre as lâminas de irrigação, indicando um efeito benéfico desse atenuador contra os efeitos do déficit hídrico, uma vez que vagem menor pode comportar uma menor quantidade de grãos, afetando o desempenho produtivo.

A cultivar BRS Novaera apresentou os menores valores de CV entre as cultivares estudadas nessa pesquisa (Figura 19B). Para tanto, destaca-se que essa cultivar apresentou o maior valor de CV (16,08 cm) na lâmina W100 com a aplicação de 2 mM de AS, o que representou um aumento de 14% em relação ao observado nas plantas que não receberam esse ácido na mesma condição hídrica. Esse resultado indica um efeito benéfico do AS para essa cultivar, uma vez que vagens maiores podem comportar uma maior quantidade de grãos (PÚBLIO-JUNIOR et al., 2017) e corrobora os resultados de Soni et al. (2021), os quais verificaram que o comprimento de vagem de ervilhas (*Pisum sativum* L. var. Kashi Nandni) foi aumentado pela aplicação foliar de AS (0,5 mM).



**Figura 19:** Número de vagens por planta (NVP) e Comprimento de Vagens (CV) dos cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0; 2 e 4 mM), no estágio fenológico R5. Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.

Já o número de grãos por vagem (NGV) foi reduzido com a restrição hídrica e ausência de AS nas cultivares BRS Tapaihum e BRS Pujante (Figura 20A). Esse fato pode estar relacionado a restrição do processo fotossintético na lâmina W50, que afetou a produção de fotoassimilados necessários para a produção dos grãos, promovendo a redução de NGV (MARTINS et al., 2017). Destaca-se nesse caso, que as cultivares BRS Novaera e BRS Pajeú, embora não tenham apresentado redução do NGV, expressaram menor quantidade de vagens por plantas sob condições de restrição hídrica (Figura 20A), e que a cultivar BRS Pujante se mostrou mais sensível à restrição hídrica imposta nesse estudo, pois além de diminuir o número de vagem por planta, também reduziu o número de grãos por vagem.

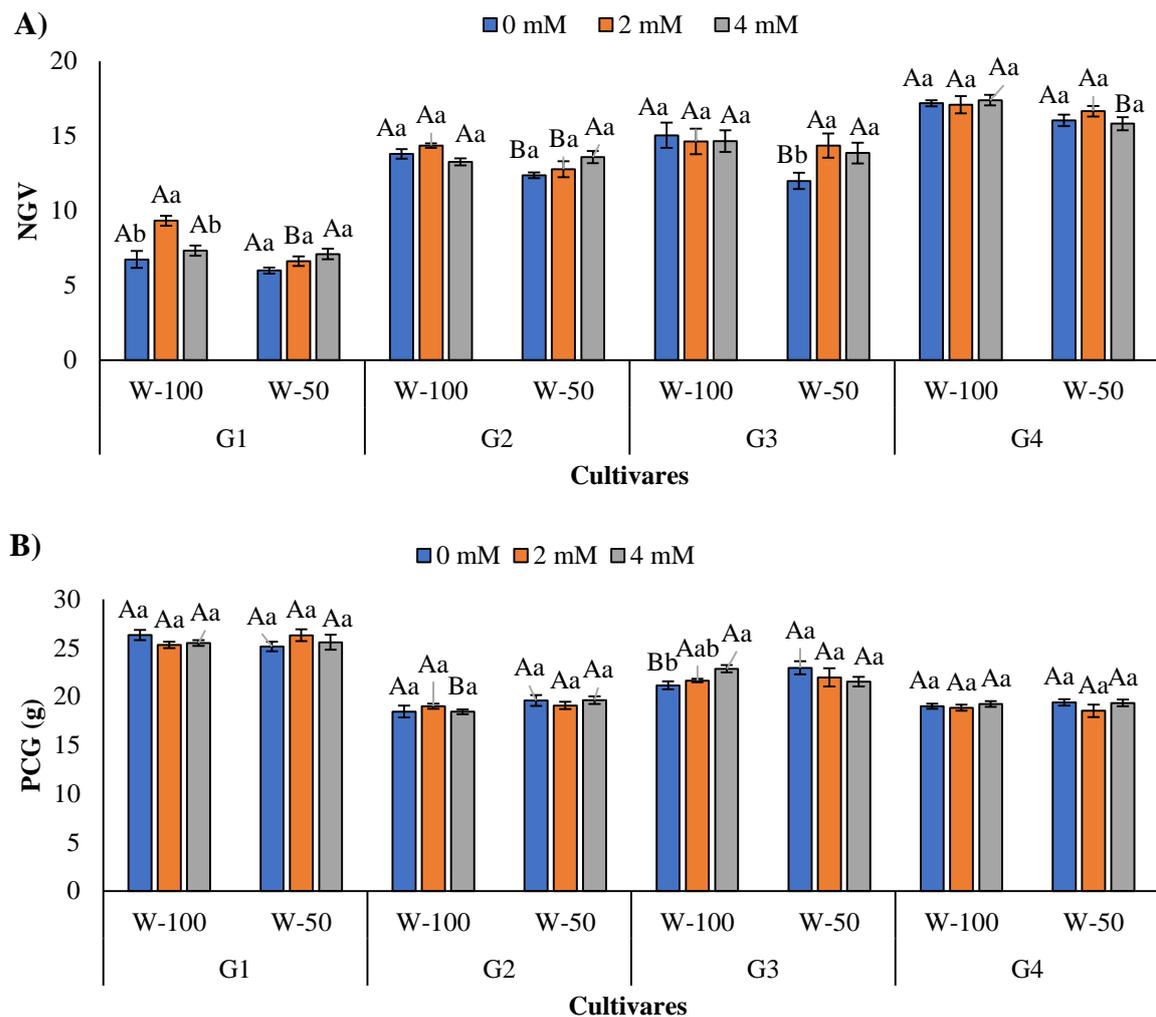
No entanto, na cultivar BRS Pujante, a redução de NGV imposta pela restrição hídrica foi contornada com as concentrações de 2 e 4 mM de AS (Figura 20A), as quais possibilitaram aumentos de 19,7 e 15,5%, respectivamente, do NGV na condição de estresse, em comparação com as plantas que não foram tratadas com esse atenuador. Destaca-se que as plantas submetidas a essas concentrações de AS nessa cultivar, não apresentaram diferença no NGV entre as lâminas de irrigação (Figura 20A).

O efeito benéfico do AS também foi verificado na cultivar BRS Novaera, com 100% de reposição hídrica, onde as plantas submetidas a concentração de 2 mM apresentaram uma média de aproximadamente nove grãos por vagem, valor 38% maior que o observado no tratamento controle, onde as plantas apresentaram aproximadamente sete grãos por vagem (Figura 20A). Da mesma forma, Sadeghipour et al. (2012) observaram em plantas de feijão-comum, que a aplicação de AS promoveu incremento no número de grãos por vagem tanto nas plantas submetidas à restrição hídrica, quanto nas plantas bem irrigadas.

Com relação ao peso de cem grãos (PCG), não foi verificado efeito dos tratamentos nas cultivares BRS Novaera e BRS Pajeú. Já nas cultivares BRS Tapaihum e BRS Pujante, observaram-se aumento nessa variável na lâmina W50 entre as plantas submetidas a 4 e 0 mM de AS, respectivamente (Figura 20B).

Segundo Locatelli et al. (2014), o peso de cem grãos é uma característica de alta herdabilidade genética e, portanto, apresenta uma maior resistência à fatores ambientais, o que explica a baixa interação dos tratamentos com essa variável no presente estudo. De acordo com Valeriano et al. (2019), essa variável está relacionada com a translocação de fotoassimilados no organismo vegetal, e que alterações na mesma estão ligada a relação fonte/dreno. Para tanto, o aumento no PCG da cultivar BRS Pujante observado nesse estudo, na lâmina W50 (Figura 20B), pode estar relacionado com a redução do número de grãos por vagem ocorrida no mesmo tratamento, pois a produção de fotoassimilados foi direcionada para uma quantidade menor de grãos e, conseqüentemente, aumentando a massa seca de cada grão.

Além disso, destaca-se que as médias de PCG apresentadas pelas cultivares BRS Novaera e BRS Pujante estão dentro dos padrões de preferência de produtores, compradores e empacotadores que, segundo Públio Junior et al. (2017), preferem grãos com peso acima de 20g por 100 grãos.



**Figura 20:** Número de grãos por vagem (NGV) e Peso de cem grãos (PCG) dos cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0; 2 e 4 mM), no estágio fenológico R5. Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (t-student  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.

A restrição hídrica afetou negativamente a produtividade das cultivares BRS Novaera e BRS Pajeú, independentemente da concentração de ácido salicílico aplicada (Figura 21). Já na cultivar BRS Pujante, foi verificada redução da produtividade (na lâmina W50) apenas nas plantas que não receberam AS (0 mM), e naquelas submetidas à concentração de 4 mM (Figura 21).

Esses resultados comprovam que a deficiência hídrica pode prejudicar a produção do feijão-caupi, além de corroborar os estudos de Souza et al. (2020a) e Silva et al. (2020), os quais evidenciaram redução na produtividade de cultivares de feijão-caupi nos estados do Pará e da Paraíba, respectivamente, em decorrência da restrição hídrica durante o período de cultivo.

Para Souza et al. (2020a), as reduções em componentes de produção e no rendimento de grãos do feijão-caupi, assim como observado no presente estudo, estão diretamente ligadas às reduções nas trocas gasosas ocasionadas em decorrência da restrição hídrica, principalmente relacionado à *gs*. O fechamento estomático limita a assimilação de CO<sub>2</sub>, afetando o processo fotossintético e automaticamente a produção de fotoassimilados necessários para a formação dos grãos (MARTINS et al., 2017; FERREIRA et al., 2021). Associado a isso, a redução da área foliar ocorrida nesses mesmos tratamentos (Figura 10 A e B) também pode ter contribuído para a diminuição da produtividade dessas cultivares, pois com a redução da AFT, a interceptação de luz também é reduzida, afetando a fotossíntese e, por consequência, a produtividade final (FERREIRA et al., 2021).

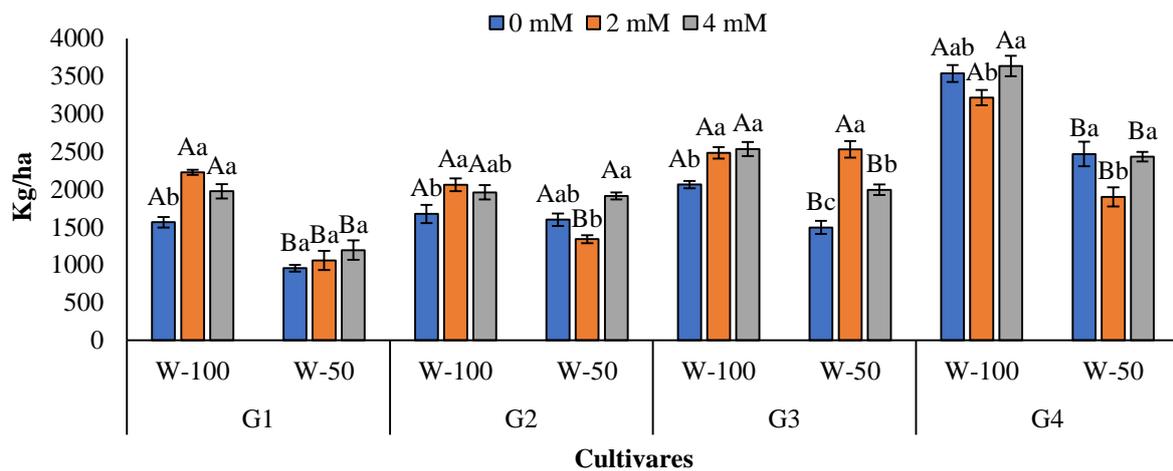
No entanto, quando avaliado o efeito do AS na produtividade das cultivares, verificou-se, na lâmina W50, aumento de 69,3% no rendimento da cultivar BRS Pujante com a concentração de 2 mM, onde as plantas expressaram produtividade estimada de 2.532,83 kg ha<sup>-1</sup>, a qual não diferiu das plantas condicionadas à 100% de reposição hídrica (Figura 21). Destaca-se, ainda, para essa cultivar, que as plantas submetidas à concentração de 4 mM de AS, na condição hídrica W50, expressaram aumento na produtividade correspondente à 25% (1996,27 kg ha<sup>-1</sup>) em comparação com o controle (1496,20 kg ha<sup>-1</sup>). Ressalte-se que embora tenha sido estatisticamente menor que o observado na mesma concentração de AS e 100% de reposição hídrica, aproximou-se da produtividade apresentada no tratamento controle da lâmina W100, em que a produtividade foi de 2064,97 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 21). Para tanto, esses resultados indicam que o AS pode manter a produtividade dessa cultivar mesmo em condições de deficiência hídrica.

O efeito benéfico do AS na produtividade do feijão-caupi também foi constatado na condição de 100% de reposição hídrica, uma vez que esse atenuador promoveu aumento na produtividade das cultivares BRS Novaera e BRS Pujante com as concentrações de 2 e 4 mM, e na cultivar BRS Tapaihum com a concentração de 2 mM (Figura 21). Desta forma, fica evidente que o ácido salicílico pode promover um maior rendimento do feijão-caupi, quando aplicado (via foliar) durante o seu desenvolvimento.

De maneira semelhante aos resultados da presente pesquisa, estudos recentes em plantas de trigo (EL-SANATAWY & ZEDAN, 2020) e ervilha (SONI et al., 2021) evidenciam o aumento da produtividade das plantas tratadas com AS, submetidas ou não à restrição hídrica.

Além disso, comparando-se a produtividade das cultivares estudadas nessa pesquisa, destaca-se o rendimento apresentado pela cultivar BRS Pajeú, onde foram observados os maiores valores de produtividade (Figura 21). Nessa mesma cultivar, observou-se que, embora o rendimento tenha sido significativamente reduzido na lâmina W50, os valores obtidos nessa

condição hídrica ainda foram superiores aos observados nas demais cultivares, mesmo comparando-as na lâmina W100. Cabe destacar que a cultivar BRS Tapaihum demonstrou uma maior resistência à restrição hídrica imposta nesse estudo, já que, na ausência de AS, não teve seu rendimento afetado pela restrição hídrica (Figura 21).



**Figura 21:** Rendimento total das cultivares de feijão-caupi: BRS Novaera (G1), BRS Tapaihum (G2), BRS Pujante (G3) e BRS Pajeú (G4), condicionadas à duas lâminas de irrigação (W-100 e W-50) e três concentrações de AS (0; 2 e 4 mM), no estágio fenológico R5. Letras maiúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as concentrações de AS (Tukey  $P < 0,05$ ). Campina Grande, PB, 2020.

## 5. CONCLUSÕES

A restrição hídrica afetou negativamente o *status* hídrico, crescimento e a produção das cultivares BRS Novaera, BRS Pujante e BRS Pajeú, na ausência de ácido salicílico.

O ácido salicílico manteve o *status* hídrico das cultivares BRS Novaera, BRS Pujante e BRS Pajeú, assim como, atuou na regulação dos processos fotossintéticos das cultivares BRS Tapaihum e BRS Pajeú em condições de estresse.

Na lâmina W50, o ácido salicílico reduziu o vazamento de eletrólitos e melhorou o crescimento das cultivares BRS Novaera e BRS Pujante.

Após a aplicação de ácido salicílico a atividade da APX foi potencializada nas cultivares BRS Tapaihum, BRS Pujante e BRS Pajeú, enquanto que a atividade de CAT foi potencializada nas cultivares BRS Novaera e BRS Pajeú.

A aplicação de ácido salicílico contribuiu para o ajustamento osmótico ao promover aumento no conteúdo de PRL das cultivares BRS Novaera e BRS Tapaihum; e no conteúdo de PRL e AST da cultivar BRS Pajeú.

BRS Novaera, BRS Tapaihum e BRS Pujante apresentaram maior rendimento quando cultivadas com 100% de reposição hídrica e tratadas com ácido salicílico. Além disso, a aplicação de AS manteve o rendimento da cultivar BRS Pujante em condições de estresse.

A concentração de 2 mM de ácido salicílico se mostrou mais eficiente na mitigação dos efeitos deletérios da restrição hídrica e a cultivar BRS Pujante foi mais responsiva a aplicação foliar desse ácido em condições de campo. Adicionalmente, a cultivar BRS Tapaihum se mostrou mais tolerante à restrição hídrica imposta no presente estudo.

## REFERÊNCIAS

ABAYOMI, Y. A.; AFOLABI, E. S.; ADEROLU, M. A. Effects of water stress at different stages on growth, grain yield and seed quality of cowpea genotypes. **NISEB Journal**, v. 1, n. 1, p. 87-97, 2019.

ABDELAAL, K. A.; ATTIA, K. A.; ALAMERY, S. F.; EL-AFRY, M. M.; GHAZY, A. I.; TANTAWY, D. S.; AL-DOSS, A. A.; EL-SHAWY, E. E.; ABU-ELSAOUD; A. M., Hafez, Y. M. Exogenous application of proline and salicylic acid can mitigate the injurious impacts of drought stress on barley plants associated with physiological and histological characters. **Sustainability**, v. 12, n. 5, p. 1736, 2020.

AGOSTINETTO, D.; RUCHEL, Q.; FRAGA, D. S.; VARGAS, A. A. M.; VARGAS, L. Water deficit and plant recovery affect interaction between soybean and slender amaranth. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 4, p. 1-9, 2020.

AL RAWI, A. T. M.; GHANI, E. T. A.; SABRY, N. A. The adaptability of maize (*Zea Mays* L.) to drought tolerance by using Salicylic Acid (SA) foliar application under the middle area conditions of Iraq. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, p. 012009, 2021.

ALI, F.; BANO, A.; FAZAL, A. Recent methods of drought stress tolerance in plants. **Plant Growth Regulation**, v. 82, n. 3, p. 363, 2017.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

ANDRADE JUNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; SILVA, M. V. P.; SILVA JUNIOR, J. S.; MONTEIRO, J. E. B. A. Índice de satisfação da necessidade de água do feijão-caupi sob sistema de cultivo convencional e plantio direto. **Agrometeoros**, v. 26, n. 1, p. 201-211, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v26i1.26371>

ANDRADE, W. L. de.; MELO, A. S. de.; MELO, Y, L.; SÁ, F. V. da. S.; ROCHA, M. M. R.; OLIVEIRA, A. P. da. S; FERNANDES-JÚNIOR, P. I. Bradyrhizobium Inoculation Plus Foliar

Application of Salicylic Acid Mitigates Water Deficit Effects on Cowpea. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 39, n. 1, p. 1-12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10130-3>.

ANDRADE, Wellerson Leite de. **Aplicação de ácido salicílico e inoculação com *Bradyrhizobium mitigam* os efeitos da restrição hídrica em cultivares de feijão-caupi**. 2018. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018.

ANSARI, W. A.; ATRI, N.; SINGH, B.; KUMAR, P.; PANDEY, S. Morpho-physiological and biochemical responses of muskmelon genotypes to different degree of water déficit. **Photosynthetica**, v. 56, n. 4, p. 1019-1030, 2018.

ARAÚJO, E. D.; MELO A. S.; ROCHA, M. S.; CARNEIRO, R. F.; ROCHA, M. M.; Germination and initial growth of cowpea cultivars under osmotic stress and salicylic acid. **Revista Caatinga**, v.31, n. 1, p. 80-89, 2018. DOI:<https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n110rc>

AYALA, C. C.; VILLADIEGO, C. C.; PACHECO, C. P.; TATIS, H. A.; CAMACHO, M. M. E. Growth, biomass distribution, gas exchange and chlorophyll fluorescence in cowpea (*Vigna unguiculata*(L.) Walp.) under drought conditions. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 2, p. 371-381, 2020.

AZAD, N.; REZAYIAN, M.; HASSANPOUR, H.; NIKNAM, V.; EBRAHIMZADEH, H. Physiological Mechanism of Salicylic Acid in *Mentha pulegium* L. under salinity and drought stress. **Brazilian Journal of Botany**, v. 44, n. 2, p. 359-369, 2021.

AZADVARI, H.; MASOUMEH, N., GHOLIZADEH, A.; NAKHZARI MOGHADDAM, A. Evaluation of salicylic acid application on the physiological responses of black cumin (*Nigella sativa* L.) under different irrigation conditions. **Environmental Stresses in Crop Sciences**, v. 13, n. 4, 1904-1626, 2020.

BADIANI, F. A.; DIOUF, M.; DIOUF, D. Cowpea. In: Singh M, Bischt IS, Dutta M, editors, **Broadening the Genetic Base of Grain Legumes**. Springer India, 2014.

BANDURSKA, H.; E STROÍŃSKI, A. The effect of salicylic acid on barley response to water déficit. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 27, n. 3, p. 379-386, 2005. doi: 10.1007 / s11738-005-0015-5

BANGAR, P.; CHAUDHURY, A.; TIWARI, B.; KUMAR, S.; KUMARI, R.; BHAT, K.V. Morphophysiological and biochemical response of mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] varieties at different developmental stages under drought stress. **Turkish Journal of Biology**, v. 43, n. 1, p. 58-69, 2019.

BARBOSA, J. R.; FILHO, J. V. P.; DE OLIVEIRA, V. M.; GOMES, G.; DE SOUSA, G. F. G.; LEITE, K. N. Produtividade da cultura da soja irrigada com déficit hídrico regulado no cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 14, n. 4, p. 4200-4210, 2020.

BARBOSA, M. R.; ARAÚJO-SILVA, M. M.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.

BARROS, J. R. A.; GUIMARÃES, M. J. M.; SILVA, R. M. E; SIMÕES, W. M.; MELO, N. L. DE; ANGELOTTI, F. Production and biochemical responses of cowpea under thermal and water stress. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, n.2, p. e8599, 2021.

BASTOS, E. A.; FERREIRA, V. M.; DA SILVA, C. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no Vale do Gurguéia, Piauí. **Irriga**, v. 13, n. 2, p. 182-190, 2008.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for 4159 water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. N. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Recife: UFRPE, 2011. 267p.

BORJAS VENTURA, R.; MENDOZA SOTO, V.; JULCA OTINIANO, A.; LUPINO GRATÃO, P. Effect of water stress and temperature increase on productive, physiological and biochemical variables of "cacao" *Theobroma cacao* L. **Arnaldoa**, v. 26, n. 1, p. 287-296, 2019.

BOUKAR O.; BELKO N.; CHAMARTHI S.; TOGOLA A.; BATIENO J.; OWUSU E.; HARUNA, M.; DIALLO, S.; UMAR, M. U.; OLUFAJO, O.; FATOKUN, C. Cowpea (*Vigna unguiculata*): genetics, genomics and breeding. **Plant Breeding**, v. 1, n. 1, p. 1–10, 2018.

CAMARA, F. T.; MOTA, A. M. D.; NICOLAU, A. F. E.; PINTO, A. A.; SILVA, J. M. F. Produtividade de feijão-caupi crioulo em função do espaçamento entre linhas e número de plantas por cova. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 2, p. 19-24, 2018.

CAMPOS, C. N.; ÁVILA, R. G.; DE SOUZA, K. R. D.; AZEVEDO, L. M.; ALVES, J. D. Melatonin reduces oxidative stress and promotes drought tolerance in young *Coffea arabica* L. plants. **Agricultural Water Management**, v. 211, n. 1, p. 37-47, 2019.

CAMPOS, F. L.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. C. de A.; RIBEIRO, V. Q.; SILVA, R. Q. B. da.; ROCHA, M. de M. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp): uma proposta de escala de desenvolvimento. **Revista Científica Rural**, v. 5, n. 2, p. 110-116, 2000.

CARVALHO, J. S. B.; DA SILVA, J. P. R.; BATISTA, R. C. M. Uso do ácido salicílico como atenuador aos efeitos do déficit hídrico em plantas de manjeriço. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1561-1574, 2020.

CARVALHO, M.; CASTRO, I.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; CORREIA, C.; EGEA-CORTINES, M.; MATOS, M.; LINO-NETO, T. Evaluating stress responses in cowpea under drought stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 241, p. e153001, 2019.

COELHO, D. S.; SIMÕES, W. L.; SALVIANO, A. M.; MESQUITA, A. C.; ALBERTO, K. D. C. Gas exchange and organic solutes in forage sorghum genotypes grown under different salinity levels. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 22, n. 4, 231-236, 2018.

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V. 8-safra 2020/2021, nono levantamento, junho 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?limitstart=0>. Acesso em 02 jul. 2021.

DE CARVALHO, J. S. B.; DA SILVA, J. P. R.; BATISTA, R. C. M. Uso do ácido salicílico como atenuador aos efeitos do déficit hídrico em plantas de manjeriço. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1561-1574, 2020.

DOS SANTOS, M. R.; TEIXEIRA, N. G. M.; GOMES JUNIOR, F. A.; FARIAS, T, S, F.; LEONARDO, F. A. P. Germinação e vigor de sementes de feijão-caupi em condições de déficit hídrico. **Revista Cultura Agrônômica**, v. 29, n. 4, p. 389-399, 2020.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric 4194 Method for determination of sugars and related compounds. **Analytical Chemistry**, v.28, n. 4195 3, p. 350-356, 1956.

DUROJAYE, H. A.; MOUKOUMBI, Y. D.; DANIA, V. O.; BOUKAR, O.; RANAJIT, B.; ORTEGA-BELTRAN, A. Evaluation of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) landraces to bacterial blight caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *vignicola*. **Crop Protection (Guildford, Surrey)**, v. 116, n. 2, p. 77-81, 2019.

DUTRA, W. F.; MELO, A.S. de; SUASSUNA, J. F.; MAIA, J. M.; Dutra, A. F.; SILVA, D. C. Antioxidative responses of cowpea cultivars to water deficit and salicylic acid treatment. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 3, p. 895-905, 2017.

EL-SANATAWY, A. M.; ZEDAN, A. T. M. Seed treatment for improving wheat productivity under deficit irrigation conditions in arid environment. **Soil and Environment**, v. 39, n. 1, p. 38-49, 2020.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FERREIRA, D. P.; SOUSA, D. P.; NUNES, H. G. G. C.; PINTO, J. V. N.; FARIAS, V. D. S.; COSTA, D. L. P.; MOURA, V. B.; TEIXEIRA, E.; SOUSA, A. M. L.; PINHEIRO, H. A.; SOUZA, P. J. DE O. Cowpea Ecophysiological Responses to Accumulated Water Deficiency during the Reproductive Phase in Northeastern Pará, Brazil. **Horticulturae**, v. 7, n. 5, p. 116, 2021.

FIGUEIREDO, S. L.; PIVETTA, L. G.; FANO, A.; MACHADO, F. R.; GUIMARÃES, V. F. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**, v.58, n.3, p. 342-349, 2011.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D. e; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina-PI: Embrapa Meio-Norte, p. 84, 2011.

FREITAS, R.; DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, F. C. L. D.; NOGUEIRA, N. W.; PINTO, J. R. D. S Physiological responses of cowpea under water stress and rewatering in no-tillage and conventional tillage systems. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 559-567, 2017.

GALVIZ, Y. C.; BORTOLIN, G. S.; GUIDORIZI, K. A.; DEUNER, S.; REOLON, F.; MORAES, D. M. Effectiveness of seed priming and soil drench with salicylic acid on tomato growth, physiological and biochemical responses to severe water deficit. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 3, p. 2364-2377, 2021.

GASTL-FILHO, J.; BONETTI, L. L. da. S.; ARAUJO, R. da. S.; SANTI, S. L. de.; NASCIMENTO, V. A.; VOLARINHO, M. S. Ácido salicílico e potencial germinativo na germinação de sementes de pepino. **Revista Inova Ciência & Tecnologia**, v. 3, n. 2, p. 7-12, 2017.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidante machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 12, p.909-930, 2010.

GOMES, A. M.; RODRIGUES, A. P.; ANTÓNIO, C.; RODRIGUES, A. M.; LEITÃO, A. E.; BATISTA-SANTOS, P.; RAMALHO, J. C. Drought response of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) landraces at leaf physiological and metabolite profile levels. **Environmental and Experimental Botany**, v. 175, p. 104060, 2020.

GOMES, C. A.; ASSIS, A. C. de L. P.; ALVES, D. P.; REIS, M. R. dos. Aplicação de ácido salicílico como atenuador dos efeitos de déficit hídrico no milho. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 4, n. 03, p. 0359-0363, 2018.

GONÇALVES, A.; GOUFO, P.; BARROS, A.; DOMÍNGUEZ- PERLES, R.; TRINDADE, H.; ROSA, E. A. et al. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp), a renewed multipurpose crop for a more sustainable agri- food system: nutritional advantages and constraints. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 9, p. 2941-2951, 2016.

GONDWE, T. M.; ALAMU, E. O.; MDZINISO, P.; MAZIYA-DIXON, B. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) for food security: an evaluation of end-user traits of improved varieties in Swaziland. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-6, 2019.

GORNI, Pedro Henrique. **Atividade elicitora do ácido salicílico sobre o perfil de metabólitos primário e secundário com potencial antioxidante de *Achillea Millefolium* L. cultivada a campo**. 2018. 114f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2018.

GOUFO, P.; MOUTINHO-PEREIRA, J. M.; JORGE, T. F.; CORREIA, C. M.; OLIVEIRA, M. R.; ROSA, E. A. S.; ANTÓNIO, C.; TRINDADE, H. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) metabolomics: osmoprotection as a physiological strategy for drought stress resistance and improved yield. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 586-586, 2017.

GUIMARÃES, D.G.; OLIVEIRA, L. M.; GUEDES, M. O.; FERREIRA, G. F. P.; PRADO, T. R.; AMARAL, C. L. F. Desempenho da cultivar de feijão-caupi BRS Novaera sob níveis de irrigação e adubação em ambiente protegido. **Ciência Agrônômica**, v. 29, p. 61-75, 2020.

JAYATHILAKE, C.; VISVANATHAN, R.; DEEN, A.; BANGAMUWAGE, R.; JAYAWARDANA, B.C.; NAMMI, S.; LIYANAGE, R. Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 13, p. 4793-4806, 2018.

KAPOOR, D.; BHARDWAJ, S.; LANDI, M.; SHARMA, A.; RAMAKRISHNAN, M.; SHARMA, A. The impact of drought in plant metabolism: how to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. **Applied Sciences**, v. 10, n. 16, p. 5692, 2020.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant physiology**, v. 57, n. 2, p. 315-319, 1976.

LAMAOU, M.; JEMO, M.; DATLA, R.; BEKKAOU, F. Heat and Drought Stresses in Crops and Approaches for Their Mitigation. **Frontiers in chemistry**, v. 6, n. 2, p. 26, 2018.

LEE, B. R.; ISLAM, M. T.; PARK, S. H.; JUNG, H. I.; BAE, D. W.; KIM, T. H. Characterization of salicylic acid-mediated modulation of the drought stress responses: Reactive oxygen species, proline, and redox state in *Brassica napus*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 157, p. 1-10, 2019.

LI, G.; WU, X.; HU, Y.; Muñoz-Amatriaín, M.; LUO, J.; ZHOU, W.; WANG, B.; WANG, Y.; WU, X.; LU, L. H. Z.; XU, P. Orphan genes are involved in drought adaptations and ecoclimatic-oriented selections in domesticated cowpea. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, n. 12, p. 3101-3110, 2019.

LIMA, E. N.; PIRES, K. R. A.; CELIN, E. F.; DE MAGALHÃES BERTINI, C. H. C.; MESQUITA, R. O. Identificação de genótipos de feijão-caupi tolerantes e suscetíveis ao déficit hídrico. **Nativa**, v. 6, n. 6, p. 608-612, 2018.

LOCATELLI, V. E. R.; MEDEIROS, R. D. D.; SMIDERLE, O. J., DE; ALBUQUERQUE, J. D. A.; ARAÚJO, W. F.; DE SOUZA, K. T. Componentes de produção, produtividade e eficiência da irrigação do feijão-caupi no cerrado de Roraima. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 6, p. 574-580, 2014.

LOPES SOBRINHO, O. P.; ARRIERO, S. S.; Ó, L. M. G.; SOUSA, A. B.; SALES, M. L. S.; SILVA, E. F.; COSTA, A. G.; SILVA, G. S.; CANTANHEDE, E. K. P.; ALVIM, J. F.; PEREIRA, A. I. S. Uso de potenciais da água na planta no manejo da irrigação: uma revisão. In: On-line Conference – Agronomy, 6., 2018, **Anais...** 2018. p. 1-18.

LOZANO-MONTAÑA, P. A.; SARMIENTO, F.; MEJÍA-SEQUERA, L. M.; ÁLVAREZ-FLÓREZ, F.; MELGAREJO, L. M. Physiological, biochemical and transcriptional responses of *Passiflora edulis* Sims f. *edulis* under progressive drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 275, p. e109655, 2021.

MANTOVANI, E. C.; BERNADO, S.; PALORETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 6 ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 2006.

MARTINS, C. A. S. D.; REIS, E. F. D., GARCIA, G. O. D.; TOMAZ, M. A. Efeito do déficit hídrico na fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum. **Nativa**, v. 5, n. 6, p. 386-395, 2017.

MATOS, F. S.; BORGES, L. P.; AMARO, C. L.; OLIVEIRA, D. B.; CARMO, M. S.; TORRES JÚNIOR, H. D. **Folha seca: introdução à fisiologia vegetal**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2019.

MAZZUCHELLI, E. H. L.; SOUZA, G. M.; PACHECO, A. C. Rustificação de mudas de eucalipto via aplicação de ácido salicílico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 443-450, 2014.

MERWAD, A. R. M. A.; DESOKY, E. S. M.; RADY, M. M. Response of water déficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. **Scientia Horticulturae**, v. 228, p. 132–144, 2018.

MITTLER, R. ROS are good. **Trends in plant science**, v. 22, n. 1, p. 11-19, 2017.

MIURA, K.; TADA, Y. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. *Frontiers in plants in Science*, v.1, p.1-12, 2014.

MOHAMMADI, H.; AMIRIKIA, F.; GHORBANPOUR, M.; FATEHI, F.; HASHEMPOUR, H. Salicylic acid induced changes in physiological traits and essential oil constituents in different ecotypes of *Thymus kotschyanus* and *Thymus vulgaris* under well-watered and water stress conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 129, p. 561-574, 2019.

MOURA, A. R. D.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, J. A. A. D.; LIMA, T. V. D. Relações hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes hídricos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 345-354, 2016.

MOURA, J. Z.; PADUA, L. E. M.; MOURA, S. G.; TORRES, J. S.; RAMALHO E SILVA, P. R. Escala de desenvolvimento fenológico e exigência térmica associada a graus-dia do feijão-caupi. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 3, p. 66-71, 2012.

MOZGOVA I.; MIKULSKI P.; PECINKA A.; FARRONA S. Epigenetic Mechanisms of Abiotic Stress Response and Memory in Plants. In: ALVAREZ-VENEGAS R.; DE-LA-PEÑA, C.; CASAS-MOLLANO, J. (eds) **Epigenetics in plants of agronomic importance: fundamentals and applications**. Alemanha. Springer, Cham. 2019. Cap.1, p 1-64.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidases in spinach chloroplast. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, n.5, p. 867-880, 1981.

NASCIMENTO, S P.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C.; FREIRE-FILHO, F. R.; SILVA, E. M. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.853–860, 2011.

NUNES-JUNIOR, F. H.; GONDIM, F. A.; FREITAS, V. S.; BRAGA, B. B.; BRITO, P. O. B.; MARTINS, K. Crescimento foliar e atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico. **Revista Ambiente & Água**, v.12, n. 1, p. 71-86, 2017.

NXELE, X.; KLEIN, A.; NDIMBA, B. K. Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. **South African Journal of Botany**, v. 108, p. 261-266, 2017.

OLIVEIRA-NETO, C. F. DE; OLIVEIRA, T. B. DE; SILVA, K. R. S.; NOGUEIRA, G. A. DOS S.; MALTAROLO, B. M.; COSTA, T. C.; CARDOSO, K. P. S; SOUZA, L. C. SILVA, R. T. L. de, SIQUEIRA, J. A. M. da. Nitrogen compounds and enzyme activity in Young muruçi (*Byrsonima crassifolia* L.) plant subjected to water stress. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 1, p. 111-117, 2016.

OLORUNWA, O. J.; SHI, A.; BARICKMAN, T. C. Varying drought stress induces morpho-physiological changes in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) genotypes inoculated with *Bradyrhizobium japonicum*. **Plant Stress**, v. 2, p. e100033, 2021.

PADILHA, N. de. S.; SILVA-JOSÉ, C.; PEREIRA, S. B.; SILVA-NETO, J. A. da.; HEIDI, D. M.; BOTTEGA, S. P.; SCALON, S. de. P. Q. Crescimento inicial do pinhão-manso submetido a diferentes regimes hídricos em latossolo vermelho distrófico. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 513-521, 2016.

PADULOSI, Stefano. **Genetic diversity, taxonomy and ecogeographic survey of the wild relatives of cowpea** (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). 1993. Tese de Doutorado. UCL-Université Catholique de Louvain.

PAIVA, A. L. S. **Respostas bioquímicas do feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* L. (Walp.)] ao estresse salino e infecção pelo vírus do mosaico severo do caupi (CPSMV) reveladas pela proteômica quantitativa livre de marcação**. 2015. 200 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, Universidade Federal do Ceará.

PARVEEN, A.; ASHRAF, M. A.; HUSSAIN, I.; PARVEEN, S.; RASHEED, R.; MAHMOOD, Q.; HUSSAIN, S.; DITTA, A.; HASHEM, A.; AL-ARJANI, A. F.; ALQARAWI, A.; ALLAH, E. F. A. Promotion of growth and physiological characteristics in water-stressed triticum aestivum in relation to foliar-application of salicylic acid. **Water**, v. 13, n. 9, p. 1316, 2021.

PRAZERES, C. S.; COELHO, C. M. M.; SOUZA, C. A. Biochemical compounds and enzymatic systems related to tolerance to water déficit of maize seedlings. **Plant Physiology Reports**, v. 26, n. 3, p. 402-411, 2021.

PÚBLIO JÚNIOR, E.; MORAIS, O. M.; ROCHA, M. M.; PÚBLIO, A. P. P. B.; BANDEIRA, A. S. Características agronômicas de genótipos de feijão-caupi cultivados no sudoeste da Bahia. **Científica**, v.45, n.3, p.223-230, 2017.

QAYYUM, A.; AL AYOUBI, S.; SHER, A.; BIBI, Y.; AHMAD, S.; SHEN, Z.; JENKS, M. A. Improvement in Drought Tolerance in Bread Wheat is Related to an Improvement in Osmolyte Production, Antioxidant Enzyme Activities, and Gaseous Exchange. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 9, p. 5238-5249, 2021.

RIVAS, R.; FALCÃO, H. M.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; PIMENTEL, C.; SANTOS, M. G. Drought tolerance in cowpea species is driven by less sensitivity of leaf gas exchange to water deficit and rapid recovery of photosynthesis after rehydration. **South African Journal of Botany**, v. 103, p. 101-107, 2016.

ROCHA, D. S., RODRIGUES, C. S., GALLO, P. B., TICELLI, M., & PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Drought tolerance in intervarietal maize hybrids. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 80-89, 2021.

SADEGHIPOUR, O.; AGHAEI, P. Response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to exogenous application of salicylic acid (SA) under water stress conditions. **Advances in Environmental Biology**, v. 6, n. 3, p. 1160–1168, 2012.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; HEMMINGSEN, E. A.; BRADSTREET, E. D. Sap pressure in vascular plants. **Science**, v.148, p.339-346, 1965.

SCOTTI CAMPOS, P.; THU PHAN THI, A. Effect of abscisic acid pretreatment on membrane leakage and lipid composition of *Vigna unguiculata* leaf discs subject to osmotic stress. **Plant Science**, v. 130, n.1, p. 11-18, 1997.

SERAJ, R. G. M.; BEHNAMIAN, M.; AHMADIKHAH, A.; SHARIATI, V.; DEZHSETAN, S. Chitosan and salicylic acid regulate morpho-physiological and phytochemical parameters and improve water-deficit tolerance in milk thistle (*Silybum marianum* L.). **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 43, n. 7, p. 1-17, 2021.

SHAO, R. X.; XIN, L. F.; GUO, J. M.; ZHENG, H. F.; MAO, J.; HAN, X. P.; JIA, L.; JIA, S. J.; DU, C. G.; SONG, R.; YANG, Q. H.; ELMORE, R. W. Salicylic acid-induced photosynthetic adaptability of *Zea mays* L. to polyethylene glycol-simulated water deficit is associated with nitric oxide signaling. **Photosynthetica**, v. 56, n. 4, p. 1370-1377, 2018.

SHARMA, A., SIDHU, G. P. S., ARANTI, F., BALI, A. S., SHAHZAD, B., TRIPATHI, D. K., BRESTIC, M.; SKALICKY, M.; LANDI, M. The role of salicylic acid in plants exposed to heavy metals. **Molecules**, v. 25, n. 3, p. 540, 2020.

SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, v. 2012, n. 1, p. 1-26, 2012.

SHEMI, R.; WANG, R.; GHEITH, E. S. M.; HUSSAIN, H. A.; HUSSAIN, S.; IRFAN, M.; CHOLIDAH, L. ; ZHANG, K.; ZHANG, S; WANG, L. Effects of salicylic acid, zinc and glycine betaine on morpho-physiological growth and yield of maize under drought stress. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1-14, 2021.

SHINE, M.; YANG, J. W; EL-HABBAK, M.; NAGYABHYRU, P.; FU, D. Q; NAVARRA, D.; GHABRIAL, S.; KACHROO, P.; KACHROO, A. Cooperative functioning between phenylalanine ammonia lyase and isochorismate synthase activities contributes to salicylic acid biosynthesis in soybean. **New Phytologist**, v. 212, n. 3, p. 627-636, 2016.

SILVA JÚNIOR, J. F.; LOPES, M. C.; CARDOSO, S. S. Características biométricas em cultivares de feijão-caupi. **Holos Environment**, v. 15, p. 75-81, 2015.

SILVA, A. C. da; VASCONCELOS, P. L. R. de; Melo, L. D. F. de A.; SILVA, V. S. G. da; JÚNIOR, J. L. D. A. M.; Santana, M. de B. Diagnóstico da produção de feijão-caupi no Nordeste brasileiro. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, p. 1-5, n. 2, 2018.

SILVA, D. C. da; MELO, A. S. de; MELO, Y. L.; ANDRADE, W. L. de; LIMA, L. M. de; SANTOS, A. R. Silicon foliar application attenuates the effects of water suppression on cowpea cultivars. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, n. 1, p. e023019, 2019. <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943023019>

SILVA, G. C.; MAGALHÃES, R. C.; SOBREIRA, A. C.; SCHMITZ, R.; SILVA, L. C. Dry grain yield and production components in cowpea genotypes under irrigated and rainfed cultivation. **Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 4, p. 342-350, 2016.

SILVA, J. S. **Estresse hídrico em variedades tradicionais de feijão-caupi: estratégias fisiológicas e bioquímicas para tolerância ao déficit hídrico**. Fortaleza, 2019. 64f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará.

SILVA, L. D. R.; CARTAXO, P. H. A.; SILVA, M. C.; GONZAGA, K. S.; ARAÚJO, D. B.; SOUSA, E. S.; SANTOS, J. P. O. Effect of rainfall variability on the production of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. in the semi-arid region of Paraíba. **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 9, p. 26-32, 2020.

SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; VITORINO, H. S.; RHEIN, A. F. L. Pigmentos fotossintéticos e índice spad como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 173-181, 2014.

SINDHU, M.; KUMAR, A.; YADAV, H.; CHAUDHARY, D.; JAIWAL, R.; JAIWAL, P. K. Current advances and future directions in genetic enhancement of a climate resilient food legume crop, cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 139, n. 3, p. 429-453, 2019.

SMART, R. E.; BINGHAM, G. E. Rapid estimates of relative water content. **Plant Physiology**, v. 53, n. 2, p. 258-260, 1974.

SONI, P.; NAIR, R.; JAIN, S.; SAHU, R. K. Salicylic acid induced drought tolerance and yield stability under water déficit stress condition in pea (*Pisum sativum* L. var. Kashi Nandni). **The Pharma Innovation**, v. 10, n. 10, p. 701-705, 2021.

SOUZA, P. J. O. P.; FARIAS, V. D. S.; PINTO, J. V.; NUNES, H. G.; DE SOUZA, E. B.; FRAISSE, C. W. Yield gap in cowpea plants as function of water déficits during reproductive stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 6, p. 372-378, 2020a.

SOUZA, P. J. O. P.; FERREIRA, D. P., SOUSA, D. D. P., NUNES, H. G. G. C.; BARBOSA, A. V. C. Trocas Gasosas do Feijão-Caupi Cultivado no Nordeste Paraense em Resposta à Deficiência Hídrica Forçada Durante a Fase Reprodutiva. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 13-22, 2020b.

SOUZA, P. J. O. P.; RAMOS, T. F.; FIEL, L. de C. S.; FARIAS, V. D. da S.; SOUSA, D. de P.; NUNES, H. G. G. C. Yield and water use efficiency of cowpea under water déficit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.2, p.119-125, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia do desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 918p.

TARDIEU, F.; SIMONNEAU, T.; MULLER, B. The physiological basis of drought tolerance in crop plants: a scenario-dependent probabilistic approach. **Annual review of plant biology**, v. 69, n.1, p. 733-759, 2018.

VALERIANO, T. T. B.; BORGES, R. D. M.; ALMEIDA, F. D. S.; SILVA NETO, O. F. D; DE SANTANA, M. J.; SILVA, K. A. Desempenho agrônômico de cultivares de feijão caupi em função da densidade de plantas. **Revista Inova Ciência & Tecnologia**, v. 5, n. 1, p. 12-17, 2019.

VARELA, A. L. N.; OLIVEIRA, J. T. A.; KOMATSU, S.; SILVA, R. G. G.; MARTINS, T. F.; SOUZA, P. F. N.; LOBO, A. K. M.; VASCONSELOS, I. M.; CARVALHO. F. E. L.; SILVEIRA, J. A. G. A resistant cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) genotype became susceptible to cowpea severe mosaic virus (CPSMV) after exposure to salt stress. **Journal of Proteomics**, v. 194, n. 1, p. 200-217, 2019.

VERMA, K. K.; SONG, X. P.; ZENG, Y.; LI, D. M.; GUO, D. J.; RAJPUT, V. D.; BARAKHOV, A.; MINKINA, T. M.; LI, Y. R. Characteristics of leaf stomata and their relationship with photosynthesis in *Saccharum officinarum* under drought and silicon application. **ACS omega**, v. 5, n. 37, p. 24145-24153, 2020.

ZAFAR, Z.; ATIF, R. M.; JAVED, M. A.; MAQSOOD, M.; GAILING, O. Foliar Application of Salicylic Acid Improves Water Stress Tolerance in *Conocarpus erectus* L. and *Populus deltoides* L. Saplings: Evidence from Morphological, Physiological, and Biochemical Changes. **Plants**, v. 10, n. 6, p. 1242, 2021.

ZEGAOU, Z.; PLANCHAIS, S.; CABASSA, C.; DJEBBAR, R.; BELBACHIR, O. A.; CAROL, P. Variation in relative water content, proline accumulation and stress gene expression in two cowpea landraces under drought. **Journal of Plant Physiology**, v. 218, p. 26-34, 2017.

ZHANG, A.; LIU, M.; GU, W.; CHEN, Z.; GU, Y.; PEI, L.; TIAN, R. Effect of drought on photosynthesis, total antioxidant capacity, bioactive component accumulation, and the transcriptome of *Atractylodes lancea*. **BMC plant biology**, v. 21, n. 1, p. 1-14, 2021.

ZHANG, W.; YU, X.; LI, M.; LANG, D.; ZHANG, X.; XIE, Z. Silicon promotes growth and root yield of *Glycyrrhiza zauralensis* under salt and drought stresses through enhancing osmotic adjustment and regulating antioxidant metabolism. **Crop Protection**, v. 107, n. 5, p. 1–11, 2018.

ZHANG, Y.; LI, X. Salicylic acid: biosynthesis, perception, and contributions to plant immunity. **Current opinion in plant biology**, v. 50, n. 1, p. 29-36, 2019.

ZHAO, J.; XUE, Q. W.; JESSUP, K. E.; HOU, X. B.; HAO, B. Z.; MAREK, T. H.; XU, W.; EVETT, S. R.; O'SHAUGHNESSY, S. A.; BRAUER, D. K. Shoot and root traits in drought tolerant maize (*Zea mays* L.) hybrids. **Journal of Integrative Agriculture**, Shanghai, v. 17, p. 1093-1105, 2018.

ZULFIQAR, F.; CHEN, J.; FINNEGAN, P. M.; YOUNIS, A.; NAFEES, M.; ZORRIG, W.; HAMED, K. B. Application of Trehalose and Salicylic Acid Mitigates Drought Stress in Sweet Basil and Improves Plant Growth. **Plants**, v. 10, n. 6, p. 1078, 2021.