



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS**

LUCYELLY DÂMELA ARAÚJO BORBOREMA

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE FEIJÃO-CAUPI BRS ITAIM SOB
RESTRIÇÃO HÍDRICA E *SEED PRIMING* COM PEG 6000 E SILÍCIO**

**SUMÉ - PB
2022**

LUCYELLY DÂMELA ARAÚJO BORBOREMA

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE FEIJÃO-CAUPI BRS ITAIM SOB
RESTRIÇÃO HÍDRICA E *SEED PRIMING* COM PEG 6000 E SILÍCIO**

Monografia apresentada ao Curso Engenharia de Biosistemas do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Biosistemas.

Orientador: Professor Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz.

**SUMÉ - PB
2022**



B729p Borborema, Lucyelly Dâmela Araújo.
Plasticidade fenotípica do feijão-caupi BRS Itaim
sob restrição hídrica e Seed Priming com PEG 6000 e
silício. / Lucyelly Dâmela Araújo Borborema. - 2022.

51 f.

Orientador: Professor Dr. Rener Luciano de Souza
Ferraz.

Monografia - Universidade Federal de Campina
Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do
Semiárido; Curso de Engenharia de Biosistemas.

1. Feijão-caupi BRS Itaim. 2. Seed priming. 3. PEG
6000. 4. Tolerância ao déficit hídrico - feijão-caupi.
5. Silício. 6. Cultura do feijão. 7. Polietilenoglicol
6000. 8. Vigna unguiculata (L.) Walp. 9. Estresse
abiótico. 10. Déficit hídrico - cultura do feijão. I.
Ferraz, Rener Luciano de Souza. II. Título.

CDU: 626.81/.84(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

LUCYELLY DÂMELA ARAÚJO BORBOREMA

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE FEIJÃO-CAUPI BRS ITAIM SOB
RESTRIÇÃO HÍDRICA E *SEED PRIMING* COM PEG 6000 E SILÍCIO**

Monografia apresentada ao Curso Engenharia de Biosistemas do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Biosistemas.

BANCA EXAMINADORA:

**Professor Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz.
Orientador - UATEC/CDSA/UFCG**

**Professor Dr. Alberto Soares de Melo.
Examinador Externo - UEPB**

**Professora Dra. Joelma Sales dos Santos.
Examinadora Interna - UATEC/CDSA/UFCG**

Trabalho aprovado em: 28 de julho de 2022.

SUMÉ - PB

“Não temas, porque eu sou contigo; não te assombres porque eu sou o teu Deus; eu te esforço, e te ajudo, e te sustento com a destra da minha justiça. ”

Isaías 41:10

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, por me proporcionar sabedoria, coragem e fé para aguentar os dias difíceis;

Aos meus pais, Domício Borborema da Cruz (*in memoriam*) e Lucinete Araújo de Sousa, por todo apoio, por serem meu alicerce e terem me ajudado para que esse sonho se tornasse possível, sem vocês eu não seria capaz;

Aos meus tios, minha irmã Dryelly Borborema, meu sobrinho Phyetto Kaynam e meu padrasto José Adelson, por darem-me ânimo e confiança;

Agradeço de coração a Everton Alcântara, por me tranquilizar nos dias difíceis, por todo apoio, carinho e compreensão;

Ao meu orientador Prof. Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz, a Me. Patrícia da Silva Costa e meu supervisor de estágio Prof. Dr. Alberto Soares de Melo por todo ensinamento, paciência, confiança e pelas oportunidades concebidas, obrigada por toda orientação.

Aos professores do CDSA, Aldinete Barreto, Tatiana Simões, Morgana Canuto, Fabiana Pimentel, Ranoel José e, em especial, agradeço de coração a Joelma Sales, por além de ter sido professora se tornou uma amiga;

A todos os meus amigos de caminhada, em especial a Ádela, Júlio, Levi, Larissa, Matheus, Ronicleiton, Rosana, Valdézia e Yanka, por terem sido meus parceiros em todos esses anos;

Ao pessoal do EcoLab, Rayanne, Yngrid, Guilherme, Igor, Deibson, Ibrahim e Priscylla, por terem me recebido no laboratório da melhor forma possível, terem me ajudado durante a execução da pesquisa e proporcionado experiências gratificantes;

Agradeço a todos que fizeram parte dessa caminhada, que de alguma forma contribuíram para o meu aprendizado e permanência no curso até a conclusão, meu muito obrigada.

“Não temas, porque eu sou contigo; não te assombres porque eu sou o teu Deus; eu te esforço, e te ajudo, e te sustento com a destra da minha justiça. ”

Isaías 41:10

RESUMO

A região do Nordeste brasileiro se caracteriza por suas altas variações de níveis de radiação solar e altas temperaturas do ar, prejudicando o crescimento do feijão-caupi, neste sentido, há necessidade de pesquisas que utilize de estratégias para atenuar os estresses ocasionados pela restrição hídrica. Objetivou-se induzir tolerância ao déficit hídrico em feijão-caupi, cultivar BRS Itaim, a partir da aplicação de *seed priming* com polietilenoglicol 6000 e silício. Foi conduzido um experimento em campo utilizando-se de delineamento inteiramente casualizado, sendo duas lâminas de irrigação (W50 e W100% da ETo - Evapotranspiração de referência) e seis combinações de *seed priming* - SP ($\Psi_0 + 0\text{Si}$, $\Psi_0 + 200\text{Si}$, $\Psi_{-0,4} + 0\text{Si}$, $\Psi_{-0,4} + 200\text{Si}$, $\Psi_{-0,8} + 0\text{Si}$ e $\Psi_{-0,8} + 200\text{Si}$), com quatro repetições. Foram avaliados o potencial hídrico do pecíolo, conteúdo relativo de água na folha, vazamento de eletrólitos celulares, teor prolina, a atividade da superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e matéria seca total do solo. Os dados foram submetidos à análise de variância e testes de comparações de médias. Verificou-se que o *seed priming* com polietilenoglicol 6000 e silício atenua o estresse hídrico através da homeostase das relações hídricas, do ajustamento osmótico e mecanismo antioxidante do feijão-caupi cultivar BRS Itaim.

PALAVRAS-CHAVE: Silício; Polietilenoglicol; *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

ABSTRACT

BORBOREMA, Lucyelly Dâmela Araújo. **Phenotypic plasticity of BRS Itaim cowpea under water restriction and seed priming with PEG 6000 and silicon.** 2022. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia), Curso de Engenharia de Biosistemas, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande - Sumé - Paraíba - Brasil, 2022.

The Brazilian Northeast region is characterized by its high variations in solar radiation levels and high air temperatures, harming the growth of cowpea, in this sense, there is a need for research that uses strategies to mitigate the stresses caused by water restriction. The objective was to induce water deficit tolerance in cowpea, cultivar BRS Itaim, from application of seed priming with polyethylene glycol 6000 and silicon. An experiment was conducted in the field using an entirely randomized design, with two irrigation rates (W50 and W100% of ETo - Reference Evapotranspiration) and six combinations of seed priming – SP ($\Psi_0 + 0\text{Si}$, $\Psi_0 + 200\text{Si}$, $\Psi_{-0,4} + 0\text{Si}$, $\Psi_{-0,4} + 200\text{Si}$, $\Psi_{-0,8} + 0\text{Si}$ e $\Psi_{-0,8} + 200\text{Si}$), with four replications. Petiole water potential, relative leaf water content, cellular electrolyte leakage, proline content, superoxide dismutase activity, ascorbate peroxidase and total soil dry matter were evaluated. Data were submitted to analysis of variance and means comparison tests. It was found that seed priming with polyethylene glycol 6000 and silicon attenuates water stress through the homeostasis of water relations, osmotic adjustment and antioxidant mechanism of cowpea cultivar BRS Itaim.

KEYWORDS: Silicon; Polyethylene glycol; *Vigna Unguiculata* (L.) Walp.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aplicação de <i>seed priming</i> em feijão-caupi com polietilenoglicol 6000 e silício..	22
Figura 2 - Unidades experimentais distribuídas em delineamento em blocos casualizados...	23
Figura 3 - Câmara de pressão do tipo Scholander (A) e análise do potencial hídrico (B).....	24
Figura 4 - Tubos de ensaio contendo os discos para a estimativa do vazamento de eletrólitos celulares.....	25
Gráfico 1 - Potencial hídrico foliar de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e <i>seed priming</i> com polietilenoglicol 6000 e silício.....	30
Gráfico 2 - Conteúdo relativo de água na folha de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e <i>seed priming</i> com polietilenoglicol 6000 e silício.....	31
Gráfico 3 - Vazamento de eletrólitos celulares de folhas de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e <i>seed priming</i> com polietilenoglicol 6000 e silício.....	32
Gráfico 4 - Teor de prolina de folhas de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e <i>seed priming</i> com polietilenoglicol 6000 e silício.....	33
Gráfico 5 - Atividade da superóxido dismutase de folhas de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e <i>seed priming</i> com polietilenoglicol 6000 e silício.....	34
Gráfico 6 - Atividade da ascorbato peroxidase de folhas de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e <i>seed priming</i> com polietilenoglicol 6000 e silício.....	35
Gráfico 7 - Atividade da catalase de folhas de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e <i>seed priming</i> com polietilenoglicol 6000 e silício.....	36
Gráfico 8 - Massa da matéria seca total de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e <i>seed priming</i> com polietilenoglicol 6000 e silício.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- APX** - ascorbato peroxidase
- CAT** - catalase
- CRA** - conteúdo relativo de água na folha
- DAS** - dias após a semeadura
- EROs** - espécies reativas de oxigênio
- MAP** - fosfatomonamônico
- MST** - massa da matéria seca total
- MF** - matéria fresca
- 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
- PEG 6000** - polietilenoglicol 6000
- PRO** - prolina
- Si** - silício
- SOD** - superóxido dismutase
- SP** - *seed priming*
- VE** - vazamento de eletrólitos celulares

LISTA DE SÍMBOLOS

Ψ_w - potencial hídrico

μL - microlitros

μM - micromol

CO_2 - gás carbônico

H_2O_2 - peróxido de hidrogênio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3.1 CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI.....	13
3.1.1 Características.....	13
3.1.2 Cultivo e importância.....	14
3.2 ESTRESSE ABIÓTICO.....	15
3.3 DÉFICIT HÍDRICO NA CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI.....	15
3.4 MECANISMOS DE TOLERÂNCIA (AJUSTADORES OSMÓTICOS E MECANISMOS ANTIOXIDANTES).....	17
3.5 <i>SEED PRIMING</i>	18
3.6 POLIETILENO GLICOL (PEG 6000).....	19
3.7 SILÍCIO Si.....	19
4 METODOLOGIA.....	21
4.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO, DELINEAMENTO ESTATÍSTICO E TRATAMENTOS.....	21
4.2 VARIÁVEIS ANALISADAS.....	23
4.2.1 Avaliação do <i>status</i> hídrico.....	23
4.2.1.1 Potencial hídrico do pecíolo.....	23
4.2.1.2 Conteúdo relativo de água na folha (CRA%).....	24
4.2.1.3 Vazamento de eletrólitos celulares (VEC).....	24
4.2.2 Avaliações bioquímicas.....	25
4.2.2.1 Indicador de ajuste osmótico.....	26
4.2.2.1.1 <i>Prolina</i>	26
4.2.2.1.2 <i>Enzimas antioxidantes</i>	26
4.2.4 Massa da matéria seca total (MST).....	28
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
6 CONCLUSÃO.....	38
7 REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

A região semiárida do Nordeste brasileiro possui como característica a alta variação dos níveis de radiação solar e temperatura do ar, tornando a agricultura uma atividade de risco, principalmente em anos de seca severa (CAVALCANTE *et al.*, 2021). Considerada uma região que sofre com restrições hídricas, é de grande importância a exploração de recursos genéticos adaptados e alternativas na agricultura que venham satisfazer a demanda hídrica das culturas na determinada região (BORBOREMA *et al.*, 2022).

Associado a tal fator, a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) prevê que, até 2050, ocorra um aumento de 34% da população humana concentrada principalmente nas áreas urbanas, o que restringirá a produção e distribuição de alimentos, resultando em fome e desnutrição, atingindo especialmente grupos de baixa renda (PHILIPPIDIS *et al.*, 2021). Nesse contexto, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), se torna uma alternativa promissora, considerando a sua importância socioeconômica como cultura de subsistência, especialmente nas regiões Norte e Nordeste (HARA *et al.*, 2022).

O feijão-caupi se destaca dentre as leguminosas por ser uma planta de boa adaptabilidade nas regiões tropicais e subtropicais do mundo (NARAYANA; ANGAMUTHU, 2021), e na região do semiárido apresentando uma baixa demanda por insumos agrícolas e tolerância ao déficit hídrico (MELO *et al.*, 2022).

Apesar do seu cultivo e rusticidade, algumas pesquisas têm demonstrado que a produtividade do feijão-caupi pode ser afetada de forma drástica pela deficiência hídrica em pelo menos uma das fases de seu desenvolvimento, podendo apresentar baixas produtividades quando é submetido às práticas inadequadas de manejo (SOUZA *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2020). O déficit hídrico é um fator agravante para a perda da produtividade vegetal, por afetar o desenvolvimento e limitar a assimilação líquida de carbono (CAVALCANTE, 2021).

Para garantir o abastecimento de alimentos e de outros produtos agrícolas, inovações tecnológicas têm sido propostas para causar alterações fisiológicas em sementes, permitindo a sua germinação em menores períodos e aumento na atividade das culturas, a exemplo disso, tem-se a utilização de *seed priming*, tratamento de pré-semeadura que estimula as sementes e proporciona resistência para as plantas contra estresses bióticos e abióticos (ROUPHAEL; COLLA, 2020; ARNOTT *et al.*, 2021).

Pesquisas realizadas a respeito da utilização de polietilenoglicol (PEG 6000) para tornar o potencial hídrico negativo, têm demonstrado eficácia na indução de tolerância às plantas (LEI *et al.*, 2021), sendo o agente usado com maior frequência, considerando que o

PEG 6000 não entra na parede celular e suas moléculas com peso superior a 3.000 aparentemente não são absorvidas, além de possuir natureza não tóxica (MEHER *et al.*, 2018).

Além do PEG 6000, faz-se necessário o uso de outros atenuadores de estresses abióticos no feijão-caupi, a exemplo do silício (Si), que é um elemento químico benéfico aos vegetais, que proporciona aumento na produtividade de diversas culturas, pois é capaz de promover maior tolerância às situações de restrição hídrica (POHLMANN *et al.*, 2022).

Desta forma, considerando a sua importância socioeconômica na região Norte e Nordeste do Brasil, responsáveis por mais de 75% da produção nacional de feijão-caupi, tornam-se necessários estudos a respeito de alternativas que potencializem a produtividade dessa cultura, amenizando os impactos causados pelo estresse hídrico, haja vista que a sua produção se encontra diretamente relacionada com a quantidade de água disponível no solo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Induzir tolerância ao déficit hídrico em feijão-caupi, cultivar BRS Itaim, a partir da aplicação de *seed priming* com PEG 6000 e silício.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o *status* hídrico do feijão-caupi, cultivar BRS Itaim, a partir da aplicação de *seed priming* com polietilenoglicol 6000 e silício, sob restrição hídrica;
- Quantificar o teor do aminoácido ajustador osmótico prolina do feijão-caupi, cultivar BRS Itaim, a partir da aplicação de *seed priming* com polietilenoglicol 6000 e silício, sob restrição hídrica;
- Determinar a atividade de enzimas antioxidantes do feijão-caupi, cultivar BRS Itaim, a partir da aplicação de *seed priming* com polietilenoglicol 6000 e silício, sob restrição hídrica;
- Determinar a massa da matéria seca total do feijão-caupi, cultivar BRS Itaim, a partir da aplicação de *seed priming* com polietilenoglicol 6000 e silício, sob restrição hídrica;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI

3.1.1 Características

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como feijão-de-corda, feijão-miúdo, feijão-fradinho, feijão-frade ou feijão-macassá, é uma leguminosa pertencente à família Fabaceae e nativa da África Central, sendo cultivada principalmente nas áreas secas dos trópicos na América Latina, África e sul da Ásia, é uma espécie autógama, herbácea e anual e se destaca pelo seu alto potencial produtivo, o qual caracteriza grandes atributos à cultura (GUPTA *et al.*, 2019). Os seus grãos são ricos em nutrientes que podem ser utilizados na dieta da população, evitando as deficiências causadas pela falta de minerais (DIAS-BARBOSA *et al.*, 2021).

É uma planta de ciclo anual, de estação quente e para se ter um bom desenvolvimento, deve ser cultivado em temperaturas na faixa de 18 a 34°C, possuindo uma temperatura de crescimento ideal na faixa de 28°C. A respeito da sua germinação, a temperatura varia de 8 a 11°C, enquanto para o estágio de floração inicial, de 8 a 10°C (CRAUFURD *et al.*, 1996). É principalmente uma planta de dia curto, as suas sementes podem pesar entre 80 mg e 320 mg, suas vagens contêm entre 8 e 18 sementes que apresentam formato cilíndrico e curvado, ou reto, e o tegumento da semente varia na textura, na cor, e na uniformidade (TIMKO; SINGH, 2008).

O feijão-caupi apresenta duas grandes fases fenológicas, sendo elas, vegetativa (V) e reprodutiva (R) (MOURA *et al.*, 2012). De acordo com Campos *et al.* (2000), a fase vegetativa é constituída dos estádios: V0 – Semeadura; V1 – Emergência; V2 – Folhas primárias unifolioladas; V3 – Primeira folha trifoliolada; V4 – Segunda folha trifoliolada aberta; 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.

Em relação aos estádios fenológicos reprodutivos, é caracterizado pelas fazes: R1 – Pré-floração, ocorrendo o desenvolvimento dos primeiros ramos secundários e o surgimento dos primeiros botões florais; R2 – Floração, o início desse estágio ocorre quando a planta apresenta 50% de suas flores abertas; R3 – Formação de vagens, as flores, já fecundadas,

murcham as pétalas e ocorre a formação das primeiras vagens (canivetes); R4 – Enchimento das vagens, essa fase começa com o enchimento dos grãos e, conseqüentemente, o aumento do volume das vagens; R5 – Maturação, as vagens perdem a cor e começam a secar e as sementes adquirem a cor característica da cultivar (CAMPOS *et al.*, 2000).

Os principais hábitos de crescimento das plantas são eretos, semi-eretos ou prostrados. A maioria das plantas de feijão-caupi é indeterminada no hábito de crescimento, porém algumas que possuem a sua maturação precoce recém-desenvolvidas têm um fenótipo de crescimento determinado (TIMKO; SINGH, 2008).

Alguns dos genótipos que possuem floração precoce podem produzir uma safra de grãos secos em 60 dias, enquanto os de estação mais longa podem exigir mais de 150 dias para amadurecer, dependendo do fotoperíodo (TIMKO; SINGH, 2008).

Devido seus grãos apresentarem características nutricionais essenciais, o feijão-caupi é considerado uma espécie de grande relevância para a alimentação humana, possuindo 20-29% de proteínas, 56-74% de amido e uma quantidade elevada de vitaminas, minerais e fibras alimentares; além de uma baixa quantidade de lipídios, sendo de 2% (JAYATHILAKE *et al.*, 2018; GONDWE *et al.*, 2019).

3.1.2 Cultivo e importância

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) possui uma importância significativa na região do Amazonas, predominando o seu cultivo por pequenos produtores, tanto em terra firme quanto em várzea (SANTOS *et al.*, 2017), considerando-se uma excelente fonte de proteína. Ainda que, por mais que o feijão-caupi possua sua importância na região norte, a cultura apresenta baixa produtividade, devido ao baixo nível de tecnologias disponíveis oferecidas para a produção na região e, de acordo com Silva *et al.* (2018), o seu cultivo é predominantemente feito por pequenos agricultores, que na maioria das vezes negligenciam os aspectos técnicos do manejo da cultura.

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2020), o Brasil é o terceiro maior produtor de feijão-caupi do mundo, totalizando a safra no ano agrícola de 2019/2020 uma área de 1.307.800 ha, com produção de 712.600 toneladas e produtividade de 545 kg ha⁻¹. Na região Nordeste, cerca de 25 milhões de pessoas consomem essa cultura, principalmente para obter proteínas e minerais, como ferro e zinco, em substituição às fontes de proteína animal de alto custo (FREITAS *et al.*, 2022).

Predominantemente cultivado no sertão semiárido da região do Nordeste e em pequenas áreas na Amazônia, as práticas de cultivo do feijão-caupi são de domínio tradicional, com baixo uso de tecnologias e baixas produtividades de grãos. Entretanto, a partir das tecnologias advindas, permitindo o seu cultivo totalmente mecanizado, houve um aumento de áreas cultivadas, de produção e produtividade na região Centro-Oeste, mais precisamente no Estado do Mato Grosso. Nessa área o feijão-caupi é cultivado em larga escala, com a participação de médios e grandes produtores, apresentando maior produtividade de grãos (ROCHA *et al.*, 2017).

3.2 ESTRESSE ABIÓTICO

Os estresses abióticos afetam diretamente, de forma negativa, no crescimento e desenvolvimento das culturas, na qual as plantas respondem a estas condições ambientais através de modificações morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares (KOLLIST *et al.*, 2018). Dentre os estresses abióticos, a seca e a temperatura alta são duas ameaças independentes para a expansão das culturas e agricultura sustentável em todo o mundo (VITAL, 2019).

À medida que a temperatura é aumentada, geralmente a água no solo irá ser reduzida e, conseqüentemente, a capacidade da planta em reduzir a perda de água a um mínimo se torna crucial para a sua sobrevivência (ARAÚJO *et al.*, 2018). Sob estas condições, o fechamento estomático seria a resposta que antecede qualquer comprometimento bioquímico da fotossíntese, particularmente por reduzir a fixação de CO₂ (MELO *et al.*, 2022).

A região do nordeste brasileiro apresenta como características as temperaturas mais altas do país, sujeita a períodos de escassez severa de água (FÉ *et al.*, 2022). Logo, é de grande interesse a seleção de atenuadores que possam ser utilizados no processo de indução de tolerância a estresses abióticos, sendo um elemento de fundamental importância associado à estratégia de adaptação às mudanças climáticas (ANDRADE, 2021).

3.3 DÉFICIT HÍDRICO NA CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI

A água é um recurso essencial à vida e é o principal constituinte dos seres vivos, considerando que os vegetais necessitam da água em todas as fases do seu crescimento e do seu desenvolvimento, exercendo inúmeras funções fisiológicas e ecológicas na planta (LEMOS *et al.*, 2022).

No entanto, a partir do momento que as plantas não adquirem a água em suas fases de crescimento e desenvolvimento, a mesma passará por estresse de deficiência hídrica, que sem dúvidas é o mais limitante (NXELE *et al.*, 2017; MATOS, 2019). A deficiência hídrica é conceituada como uma quantidade de água que se encontra abaixo do maior valor de hidratação que um tecido ou célula necessita (TAIZ *et al.*, 2017). Os seus efeitos nas plantas são adversos e vão depender 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).

Apesar da sua adaptação a diversas condições edafoclimáticas, com predominância em regiões tropicais, o feijão-caupi pode apresentar baixas produtividades. Entretanto, na região do Nordeste brasileiro, a principal influência que ocasiona a diminuição da produtividade do feijão-caupi está relacionada ao fornecimento inadequado de água por irrigação, afetando diretamente na produtividade agrícola (SOUZA *et al.*, 2022)

O déficit hídrico na cultura do feijão-caupi, atua na diminuição da condutância estomática e aumenta a resistência ao vapor de água, através do fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e, por conseguinte, o suprimento de CO₂ para a fotossíntese (DUTRA *et al.*, 2017).

Conforme Santos *et al.* (2020) e Paiva *et al.* (2018), quando ocorre a deficiência hídrica no período após a semeadura do feijão-caupi, implicações são ocasionadas diretamente na sua germinação, limitando assim o seu crescimento inicial e o vigor das plântulas, todavia, a germinação se mantém mesmo em altos níveis de estresse, indicando uma certa tolerância a tal fator. Na fase vegetativa, Silva *et al.* (2019) relatam que, ocorre a diminuição do potencial hídrico foliar e desta forma reduz o crescimento dessa cultura. Por conseguinte, 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.

A interferência na fixação biológica do N no feijão-caupi tem reflexo nos caracteres produtivos, sendo que, a definição dos fatores de resposta da cultura ao regime hídrico permite indicar em qual período fenológico há maior sensibilidade ao estresse hídrico (KEFFER *et al.*, 2019).

O conhecimento a respeito do crescimento da cultura do feijão-caupi sob a função da água disponível no solo é de fundamental importância, aja vista que será possível explicar as perdas de produção em condições de déficit hídrico (HARA *et al.*, 2022).

3.4 MECANISMOS DE TOLERÂNCIA (AJUSTADORES OSMÓTICOS E MECANISMOS ANTIOXIDANTES)

Através de ajustes fisiológicos, metabólicos e morfológicos as plantas respondem aos estresses térmico e déficit hídrico (VITAL, 2019). Como exemplos de ajustadores importantes na manutenção do turgor celular e no crescimento das plantas, tem-se o controle estomático (HAWORTH *et al.*, 2018), a eficiência do uso da água (EUA) e o ajustamento osmótico (BLUM, 2017).

O ajuste osmótico das plantas é visto como uma das principais respostas ao estresse hídrico, estando relacionado ao grau de tolerância vegetal e estudos realizados a respeito desses ajustadores, tem evidenciado mecanismos que atuam na redução da perda de água em plantas, dentre estes, destaca-se o ajustamento osmótico através do aumento da concentração de solutos como, açúcares, glicerol, prolina, glicina betaína, açúcares álcoois, dentre outros (HARSH *et al.*, 2016). Como exemplo, o aminoácido prolina, que promove o ajuste osmótico e previne a desidratação tecidual (Araújo *et al.*, 2017).

As plantas tolerantes aos estresses hídrico e térmico, ativam mecanismos enzimáticos na proteção contra espécies reativas de oxigênio (EROs), constituindo o sistema de defesa antioxidante (VITAL, 2019). O aumento de EROs estimula a síntese de carotenóides, pigmentos que protegem as plantas contra danos oxidativos quando a produção de clorofila se encontra comprometida (MELO *et al.*, 2022).

De acordo com a produção das EROs, as plantas de feijão-caupi desenvolveram um mecanismo denominado sistema antioxidante de sinalização e defesa contra o estresse hídrico (MELO *et al.*, 2022).

O mecanismo enzimático é constituído de enzimas importantes na rota de detoxificação de EROs, destacando-se o dismutase do peróxido (SOD), peroxidase do ascorbato (APX) e a catalase (CAT) (HASANUZZAMAN *et al.*, 2020).

A SOD (EC 1.15.1.1) é uma enzima que faz parte de um grupo de metaloproteínas que catalisam a formação de H_2O_2 a partir do radical superóxido (O_2^-) (TAIZ; ZEIGER, 2013), são sintetizados em qualquer compartimento celular onde há transporte de elétrons, desta forma, presente em todos os compartimentos celulares suscetíveis ao estresse oxidativo (LOCATO *et al.*, 2018). Sua classificação é de acordo com o seu metal cofator, sob diferentes grupos, sendo o tipo e a quantidade de isoformas variáveis entre espécies vegetais (HASANUZZAMAN *et al.*, 2020).

A APX (EC 1.11.1.11) é uma heme peroxidase encontrada nos cloroplastos, citosol, mitocôndria e peroxissomos, é a enzima mais importante da eliminação de H_2O_2 no citosol e

cloroplastos, através da utilização de ascorbato como seu doador de elétrons para reduzir o peróxido de hidrogênio à água, fazendo parte do ciclo ascorbato-glutationa (BERWAL; RAM, 2018; LOCATO *et al.*, 2018), sendo a responsável pela fina regulação da resposta as espécies reativas de oxigênio (EROs).

A CAT (EC 1.11.1.6) é uma enzima tetramérica Fe porfirina que tem a função de neutralizar o H₂O₂ em água e oxigênio molecular, liberado durante a transformação do glicolato a glioxilato durante a fotorrespiração e está presente nos peroxissomas (HASANUZZAMAN *et al.*, 2020). As catalases podem ser divididas em três classes: I (removem o H₂O₂ produzido durante a fotorrespiração em tecidos fotossintéticos), II (produzidas em tecidos vasculares, mas sua função biológica permanece desconhecida) e III (presentes nas sementes e plantas jovens, cuja atividade está relacionada à remoção de H₂O₂ produzido durante a degradação dos ácidos no glioxissoma (ALI *et al.*, 2019; NAING; KIM, 2021).

3.5 SEED PRIMING

O *seed priming* é um tratamento de pré-semeadura, capaz de causar uma mudança fisiológica na semente que permite que ela germine mais rapidamente a atividade das culturas, estimulando a resistência das plantas contra estresses abióticos e bióticos (ARNOTT *et al.*, 2021).

A preparação do priming é feita antes do plantio, usando métodos tradicionais como a exemplo da pré-umidificação e revestimento, em que, após a preparação do priming as sementes são secadas até o teor de umidade usual do processo regular do manuseio e prontas para a semeadura (NILO *et al.*, 2022).

A partir da aplicação do *seed priming*, ocorre a ativação de mecanismos moleculares que atuam em nível genético para regular alterações nos teores de metabólitos e atividade de enzimas antioxidantes, gerando uma certa memória transgeracional nas plantas e garantindo tolerância aos estresses expostos (SEM *et al.*, 2021).

Hydropriming, osmopriming, hormonal priming, nutri-priming, on-farm priming e bio-priming são exemplos de processos de priming atuais que mostraram benefícios potenciais para as culturas, incluindo melhores taxas de germinação, energia de germinação, crescimento e desenvolvimento, aumento da tolerância ao estresse abiótico e biótico e aumento do rendimento das culturas (ACHARYA *et al.*, 2020).

Em plantas submetidas a estresses abióticos a aplicação do *seed priming* pode aumentar o potencial de tolerância à exposição a esses mesmos estresses no futuro, se o estímulo e o estresse são os mesmos, é definido como *cis priming* ou tolerância ao estresse, ou seja, o tipo de estímulo de *priming* pode prever um estresse próximo e específico e, portanto, atuar especificamente no estressor, porém, quando o estímulo é diferente do estresse, é conhecido como *trans priming* ou tolerância cruzada, nesse caso, um estímulo de *priming* também pode ser preditivo de outros estresses ou indicar estresse em geral e, assim, atuar como estressor de forma não específica (JOHNSON; PUTHUR, 2021).

3.6 POLIETILENOGLICOL (PEG 6000)

O polietilenoglicol (PEG 6000) é um agente osmopríming popular que pode aliviar os impactos negativos de estresses abióticos (LEI *et al.*, 2021).

O PEG 6000 gera estresse osmótico que reduz a taxa fotossintética, que posteriormente afeta os teores de clorofila 'a' e clorofila 'b', qualquer estresse na planta afeta o mecanismo de fotossíntese em nível celular que inclui pigmentos, fotossistemas, sistema de transporte de elétrons e CO₂ e vias de redução da fotossíntese (MEHER *et al.*, 2018)

Na maioria dos casos, as plantas preparadas com PEG exibem efeitos positivos na germinação de sementes, estabelecimento de plântulas e rendimento, mas o benefício é variável dependendo de vários fatores, como espécie de cultura e tipo de estresse (TABASSUM *et al.*, 2018).

3.7 SILÍCIO (Si)

Na cultura do feijão-caupi, a ação eliciadora de Silício (Si) contribui para a adaptação dos mecanismos de plantas sob condições de restrição hídrica (SILVA *et al.*, 2019; ANDRADE *et al.*, 2021).

Os elicitores exógenos são importantes para intensificar os mecanismos de tolerância ao estresse em plantas e incluem reguladores de crescimento ou seus produtos derivados, a exemplo do Silício (AHMAD *et al.*, 2019).

100 e 200 mg L⁻¹ de Si é capaz de minimizar os efeitos deletérios do déficit hídrico em diferentes cultivares de feijão-caupi, aumentando o potencial hídrico foliar, a concentração de prolina e a atividade da ascorbato peroxidase, o que garante o crescimento da espécie (SILVA *et al.*, 2019), considerando que, além disso, o Si melhora as características anatômicas da

folha do feijão-caupi sob restrição hídrica, o que garante melhor translocação de fotoassimilados e nutrientes para serem utilizados em diferentes processos metabólicos (MELO *et al.*, 2022).

4 METODOLOGIA

4.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO, DELINEAMENTO ESTATÍSTICO E TRATAMENTOS

O experimento foi realizado no ano de 2022, em condições de campo, na área experimental localizada na Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Centro de Ciências Biológicas e da Saúde (CCBS), Departamento de Ciências Biológicas, Campus I, Campina Grande, PB, cujas coordenadas geográficas são 7° 13' 51'' latitude sul e 35° 52' 54'' longitude oeste, com altitude de 512 m, possuindo precipitação média anual de 503 mm, com clima do tipo 'Aw' tropical segundo Köppen Geiger.

As unidades experimentais foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), utilizando-se de duas lâminas de irrigação (W50 e W100% da ETo - evapotranspiração de referência) e seis combinações de potencial hídrico (Ψ_w) e silício (Si) denominadas de *seed priming* - SP ($\Psi_0 + 0\text{Si}$, $\Psi_0 + 200\text{Si}$, $\Psi_{-0,4} + 0\text{Si}$, $\Psi_{-0,4} + 200\text{Si}$, $\Psi_{-0,8} + 0\text{Si}$ e $\Psi_{-0,8} + 200\text{Si}$) (Tabela 1), com quatro repetições, totalizando 48 unidades experimentais. Os potenciais hídricos foram induzidos por polietilenoglicol (PEG 6000).

Tabela 1 - Constituição dos *seed priming* (SP) a partir da combinação de três potenciais hídricos induzidos por polietilenoglicol PEG 6000 e duas concentrações de silício.

Identificação	Combinações de <i>seed priming</i> (SP)
1	$\Psi_0 \text{ MPa} + 0 \text{ mg L}^{-1} \text{ de Si}$
2	$\Psi_0 \text{ MPa} + 200 \text{ mg L}^{-1} \text{ de Si}$
3	$\Psi_{-0,4} \text{ MPa} + 0 \text{ mg L}^{-1} \text{ de Si}$
4	$\Psi_{-0,4} \text{ MPa} + 200 \text{ mg L}^{-1} \text{ de Si}$
5	$\Psi_{-0,8} \text{ MPa} + 0 \text{ mg L}^{-1} \text{ de Si}$
6	$\Psi_{-0,8} \text{ MPa} + 200 \text{ mg L}^{-1} \text{ de Si}$

Ψ : potencial hídrico em Mega Pascal (MPa); e Si: silício em miligramas por litro (mg L^{-1}).

Fonte: Elaborada pela autora.

O SP foi constituído das combinações de três potenciais hídricos induzidos por polietilenoglicol 6000 (PEG 6000), sendo o moderado (-0,4 MPa), alto (-0,8 MPa) e sem déficit hídrico (0 MPa) e duas concentrações de silício (0 e 200 mg L^{-1}) (FERRAZ *et al.*,

2014). A aplicação do SP foi conduzida em condição de luminosidade com luz vermelha com comprimento de onda de 600 a 680 nm, em temperatura constante de 40°C.

Sementes da cultivar BRS Itaim foram utilizadas, de início, triadas, descartando as que continham danos físicos, biológicos e/ou com má formação. Em seguida, as sementes foram tratadas com fungicida (Captan®), na dosagem de 0,22 g 100 g⁻¹ de sementes, permanecendo em repouso por 24 horas. Após esse período, foram lavadas e secadas para a aplicação do SP. As sementes foram inseridas em Caixas Gerbox (Figura 1), preenchidas com as soluções correspondentes às combinações de SP. Posteriormente, as caixas foram fechadas e acondicionadas em Câmara de Germinação (B.O.D), localizada no laboratório de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas (EcoLab), durante cinco horas, sob condição de luz vermelha a 40°C.

Figura 1 - Aplicação de *seed priming* em feijão-caupi com polietilenoglicol 6000 e silício.



Fonte: Laboratório de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas (EcoLab), Campina Grande, PB, 2022.

Vasos de polietileno com capacidade de 0,8 L foram preenchidos com 1 kg de substrato, na proporção de 75% de solo homogêneo com 25% de esterco bovino (Figura 2). Tanto o solo quanto o esterco foram adquiridos no setor de mudas *Campus II* da UEPB, localizado na cidade de Lagoa Seca, PB, cujas coordenadas são: 7°09'13.3" de latitude Sul e 35°52'14.7" de longitude Oeste.

Figura 2 - Unidades experimentais distribuídas em delineamento em blocos casualizados.



Fonte: Laboratório de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas (EcoLab), Campina Grande, PB, 2022.

Os substratos foram irrigados com água de abastecimento público proveniente da CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba) para atingirem a umidade do solo a nível próximo da capacidade de campo (CC). Após o tempo de acondicionamento na B.O.D, as sementes foram semeadas em profundidade padrão de $\cong 3$ cm. Em seguida, o manejo dos níveis de reposição hídrica foi realizado normalmente, utilizando-se de 100% da ET_o , até os 20 dias após a semeadura (DAS). Aos 21 DAS iniciou-se o estresse hídrico, a partir da diferenciação das lâminas de irrigação.

Após o início do estresse hídrico, realizou-se adubação de cobertura via fertirrigação, aplicando 5 g L^{-1} de DripSol Map – Fosfato Monoamônico com solubilidade em água e garantias de 12% de nitrogênio (N) e 65% de P_2O_5 .

4.2 VARIÁVEIS ANALISADAS

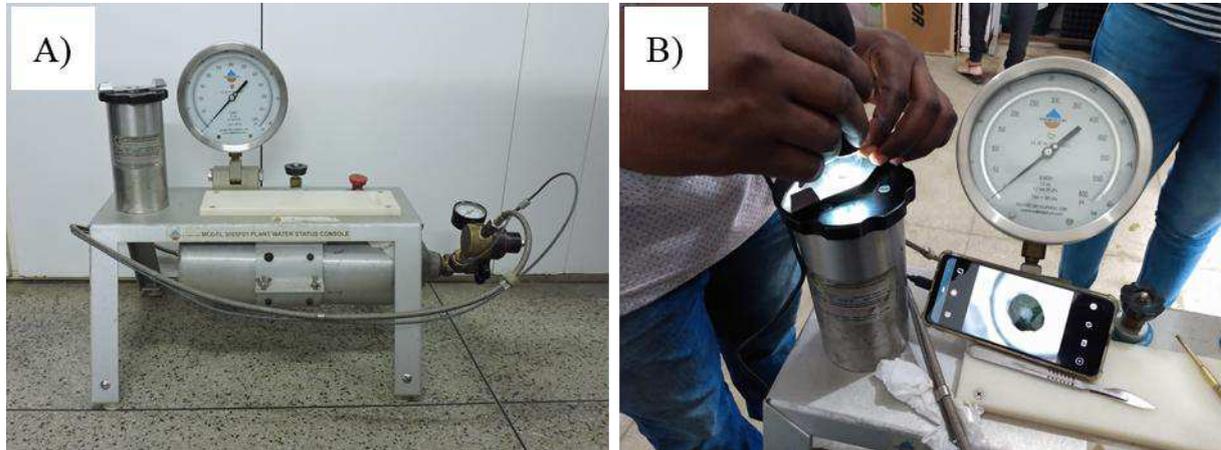
4.2.1 Avaliação do *status* hídrico

4.2.1.1 Potencial hídrico do pecíolo

Entre os estádios V4 e V5, foi determinado o potencial hídrico do pecíolo (Ψ_w) do feijão-caupi, BRS Itaim, utilizando uma câmara de pressão do tipo *Scholander* (*Scholander et al.*, 1965) modelo 3005F01 da “*Soil Moisture Corp*” (Santa Bárbara, Califórnia, EUA)

(Figura 3A) e expressos na unidade MPa. As leituras foram realizadas no período da noite, utilizando-se pecíolos com folhas totalmente expandidas, situadas na região mediana das plantas (Figura 3B) (FREITAS *et al.*, 2017).

Figura 3 - Câmara de pressão do tipo Scholander (A) e análise do potencial hídrico (B).



Fonte: Laboratório de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas (EcoLab), Campina Grande, PB, 2022.

4.2.1.2 Conteúdo relativo de água na folha (CRA%)

Para a obtenção dos valores de CRA (%), entre o estádio V4 e V5, cinco discos foram retirados das folhas, através de cortes realizados com o auxílio de um perfurador de cobre de 5 mm, em seguida pesados para obter a massa fresca dos discos (MFD) e, por conseguinte, colocados em cápsulas de alumínio, totalmente fechadas com papel filme, contendo 10 mL de água destilada em temperatura ambiente. Após 24 horas, o material foi secado superficialmente e pesado para adquirir a massa túrgida dos discos (MTD). Em seguida, acondicionados em sacos de papel, identificados, e submetidos a uma estufa com circulação de ar forçado a 60 °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. 1).

Eq. 1

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

4.2.1.3 Vazamento de eletrólitos celulares (VEC)

O vazamento de eletrólitos celulares (VEC), responsável por estimar diretamente o nível de danos às membranas celulares, foi medido de acordo com Scotti Campos e Thu Pham

Thi (1997), quando as plantas se encontraram entre o estágio V4 e V5, utilizando-se do perfurador de cobre de 5 mm, foi obtido cinco discos para cada unidade experimental. Em seguida, acondicionados em tubos de ensaio, contendo 10 mL de água destilada, hermeticamente fechados com papel filme e mantidos em repouso por 24 horas (Figura 4). Depois desse período, foi realizada a aferição da condutividade elétrica da solução do tubo de ensaio (X_i) utilizando-se do condutivímetro de bancada (MB11, MS Techonopon[®]).

Figura 4 - Tubos de ensaio contendo os discos para a estimativa do vazamento de eletrólitos celulares.



Fonte: Laboratório de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas (EcoLab), Campina Grande, PB, 2022.

Adiante, os tubos foram novamente fechados e submetidos à temperatura de 100°C, por 60 minutos, em banho-maria. Após o resfriamento do conteúdo à temperatura ambiente, aferiu-se a condutividade final (X_f) da solução. Sendo calculado o percentual de vazamentos de eletrólitos de acordo com a Eq. 2.

Eq. 2

$$VE (\%) = \left(\frac{X_i}{X_f} \right) * 100$$

4.2.2 Avaliações bioquímicas

No estágio V4 e V5, foram realizadas as coletas de folhas representativas de uma planta por parcela, acondicionadas em papel alumínio, identificadas, de início armazenadas em caixas de isopor contendo gelo e em seguida encaminhadas para o EcoLab, por

consequente, foram pesadas e armazenadas em freezer com temperatura de -20°C para dar início às análises bioquímicas.

4.2.2.1 Indicador de ajuste osmótico

4.2.2.1.1 *Prolina*

Para a quantificação de prolina, foi utilizado o método colorimétrico proposto por Bates *et al.* (1973) e modificado por Bezerra Neto e Barreto (2011). Sendo assim, foi coletado folhas representativas, em seguida, 250 mg do material fresco foram triturados com ácido sulfosalicílico a 3% (5 mL) e centrifugados a 2000 rpm por dez minutos. O sobrenadante aspirado e utilizado nas determinações e o desenvolvimento da cor ocorreu após os tubos de ensaio contendo ninidrina + extrato + ácido acético glacial (1:1:1) serem aquecidos em banho-maria a 100°C por 1 h.

Posteriormente, os tubos foram resfriados em banho de gelo, adicionado tolueno (2 mL) e os tubos agitados intensamente por 20 segundos e mantidos em repouso por 10 minutos para permitir a separação das fases. O sobrenadante irá ser aspirado e a leitura obtida a 520 nm usando tolueno puro como o branco. A concentração de prolina livre foi quantificada com base na curva padrão de L - prolina (0,0, 5,0, 10,0, 15,0, 20,0, 25,0 e 50,0 mg L^{-1}) e expressa em $\mu\text{mol PRO g}^{-1}$ de matéria fresca. Para o cálculo da prolina foi utilizada a média da absorbância obtida nas duplicatas.

4.2.2.1.2 *Enzimas antioxidantes*

Para a determinação das enzimas (superóxido dismutase, catalase e ascorbato de peroxidase), 200 mg de material fresco foram triturados com 2 mL de tampão fosfato 50 mM (pH 7,0) simultaneamente com o ácido ascórbico (0,1 mM), EDTA (0,1 mM) e a polivinilpirrolinoda (5%). Em seguida, os extratos foram centrifugados a 20.000 G durante 20 min a 4°C , após esse processo, aspirou o sobrenadante e alocou em tubos plásticos de 2,5 mL (Eppendorf) e permaneceram mantidos no freezer -80°C para as análises de enzimas.

A atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) foi determinada com base na capacidade de inibição da fotorredução de nitroazul tetrazólio (NBT) pela enzima presente no extrato (BEAUCHAMP; FRIDOVICH, 1971). Aliquotas de 40 μL de extrato enzimático foram adicionadas a tubos de ensaio, protegidos da luz, contendo a mistura de reação (1,5 mL) consistindo em tampão fosfato de potássio (100 mM e pH 7,5), EDTA (0,1 mM), metionina

(13 mM) e NBT (750 mM). Paralelo a isso, a reação iniciou-se pela adição de riboflavina (7 mM) e em seguida transferida a amostra para uma caixa lacrada com iluminação interna (35 W). Este processo foi realizado à temperatura ambiente durante 15 min.

As leituras foram ocorridas em espectrofotômetro a 560 nm. Amostras com extrato vegetal colocadas no escuro e amostras sem o extrato colocadas sob iluminação (luz branca) foram consideradas como controles da reação. Uma unidade de SOD foi definida como a quantidade de enzima necessária para reduzir 50% do NBT fotorredutor em relação ao necessário para a amostra colocada sob luz branca, e a atividade expressa em UA g⁻¹ de massa fresca.

Para a enzima ascorbato peroxidase (APX), 100 µL do extrato foi misturado com o meio de reação (2,7 mL) consistindo em tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 6,0), acrescido de ácido ascórbico (0,8 mM). E a reação iniciada pela adição de 200 µL de peróxido de hidrogênio H₂O₂ (2 mM), e a diminuição da absorbância em 290 nm (NAKANO; ASADA, 1981), sendo monitorada por 1 min, com leituras realizadas a cada 10 segundos. Os cálculos foram determinados pela lei de Lambert Beer, adaptados por Ahmed *et al.* (2016), conforme a equação 3 e utilizando como coeficiente de extinção molar o ascorbato (2,8 mM cm⁻¹). A atividade final da APX foi expressa em µmol de ascorbato min⁻¹ g⁻¹ de matéria fresca. Valendo salientar que todas as determinações bioquímicas foram realizadas em duplicata.

A atividade da enzima catalase (CAT) foi quantificada de acordo com Sudhakar *et al.* (2001) com base no consumo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) pela enzima presente no extrato. A reação foi iniciada pela adição de extrato enzimático (150 µL), contendo 1950 µL de tampão fosfato de potássio (100 mM e pH 7,5), 150 µL do tampão de extrato (ácido ascórbico 0,1 mM, EDTA 0,1 mM e polivinilpirrolinona a 3%) e 750 µL da solução de peróxido de hidrogênio H₂O₂ (50 mM), segundo Mishra (1976). Após leve agitação, a solução foi levada ao espectrofotômetro, regulado em 240 nm e verificado o decréscimo da absorbância no decurso de dois minutos, sendo as leituras realizadas a cada dez minutos.

Os cálculos foram efetuados segundo a equação de Lambert Beer e adaptados de Ahmed *et al.* (2016) (Eq. 3), tendo como coeficiente de extinção molar o do peróxido de hidrogênio (39,4 mol⁻¹ cm⁻¹). A atividade da catalase foi expressa em µmol de H₂O₂ min⁻¹ g⁻¹ de matéria fresca.

Eq. 3

$$Act. = \frac{\Delta OD * Vt}{\epsilon * \Delta t * Ve * L * gMF}$$

Onde:

A_{ct} – Atividade enzimática expressa em mM ASC $\text{min}^{-1}\text{g}^{-1}$ de massa fresca;

ε – Coeficiente de extinção molar (mM cm^{-1});

ΔOD – Valor do decaimento do substrato (leitura inicial – final);

V_t – Volume total da mistura reacional em mL;

V_e – Volume de extrato de enzima em mL;

L – Comprimento da cubeta (1 cm);

Δt – Tempo de leitura no espectrofotômetro (min);

gMF – Matéria fresca extraída (g).

4.2.4 Massa da matéria seca total (MST)

Entre o estágio V4 e V5, foi obtido o valor da MST, em que as folhas, caules e ramos foram colocadas, separadamente, em sacos de papel devidamente identificados e colocadas em estufa com circulação de ar forçado a 60 °C por um período de 72 horas para secagem. Após esse período, o material vegetal foi pesado em balança analítica com $\pm 0,0001$ g de precisão.

4.3 Análise estatística

Para a ETo – Evapotranspiração de referência e as combinações de *seed priming* ($\Psi_0 + 0\text{Si}$, $\Psi_0 + 200\text{Si}$, $\Psi_{-0,4} + 0\text{Si}$, $\Psi_{-0,4} + 200\text{Si}$, $\Psi_{-0,8} + 0\text{Si}$ e $\Psi_{-0,8} + 200\text{Si}$), os dados foram submetidos à análise de variância (teste F até 5% de probabilidade) e testes de comparações de médias, teste t (LSD) para a evapotranspiração de referência e teste Tukey para as combinações de *seed priming*. Para a realização das análises foi utilizado o *software* estatístico Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas análises de variância verificou-se que houve diferença significativa entre a evapotranspiração de referência (ET_o) para todas as variáveis avaliadas, exceto a catalase (CAT). Também foi constatado que houve diferença significativa entre os *seed priming* (SP), bem como interação entre os fatores (ET_o × SP) estudados para todas as variáveis (Tabela 2).

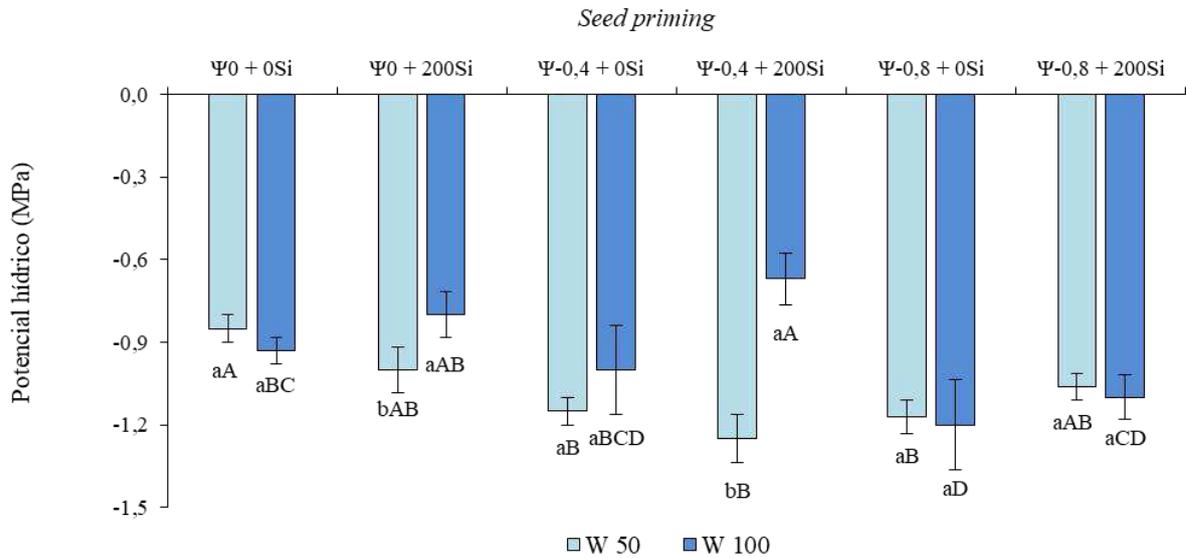
Tabela 2 - Resumo das análises de variância para variáveis de relações hídricas, ajustamento osmótico, mecanismo antioxidante e acúmulo de matéria seca de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e *seed priming* com polietilenoglicol 6000 e silício.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios							
		Ψ _w	CRA	VEC	PRO	SOD	APX	CAT	MST
ET _o	1	0,20**	697,92**	825,60**	0,04**	0,45**	0,06**	3,3E-5 ^{ns}	0,03**
<i>Seed priming</i> (SP)	5	0,11**	453,23**	306,93**	0,39**	0,08**	0,05**	0,01**	0,59**
Interação ET _o × SP	5	0,12**	846,64**	495,95**	0,09**	0,10**	0,18**	0,02**	0,25**
Resíduo	36	0,01	6,03	3,37	1,8E-3	3,4E-3	6,9E-4	5,6E-4	9,4E-4
CV (%)		12,05	2,90	2,90	8,56	12,43	6,23	13,50	3,12

GL - grau de liberdade; *, ** - significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} - não significativo; Ψ_w - potencial hídrico; CRA - conteúdo relativo de água na folha; PRO - prolina; SOD - superóxido dismutase; APX - ascorbato peroxidase; CAT - catalase; MST - matéria seca total; VEC - vazamento de eletrólitos celulares; e CV - coeficiente de variação.

Para a lâmina de W50, os maiores potenciais hídricos foliares (Ψ_w) observados foram dos SP Ψ₀ + 0Si (-0,85 MPa), Ψ₀ + 200Si (-1 MPa) e Ψ_{-0,8} + 200Si (-1,06 MPa) e expressando os menores Ψ_w dos SP Ψ_{-0,4} + 0Si (-1,15 MPa), Ψ_{-0,4} + 200Si (-1,25 MPa) e Ψ_{-0,8} + 0Si (-1,17 MPa). Já para a lâmina W100, foi possível observar que o SP Ψ_{-0,4} + 200Si (-0,67 MPa) foi expresso em maior quantidade e o menor sendo o SP Ψ_{-0,8} + 0Si (1,20 MPa) (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Potencial hídrico foliar de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e *seed priming* com polietilenoglicol 6000 e silício.

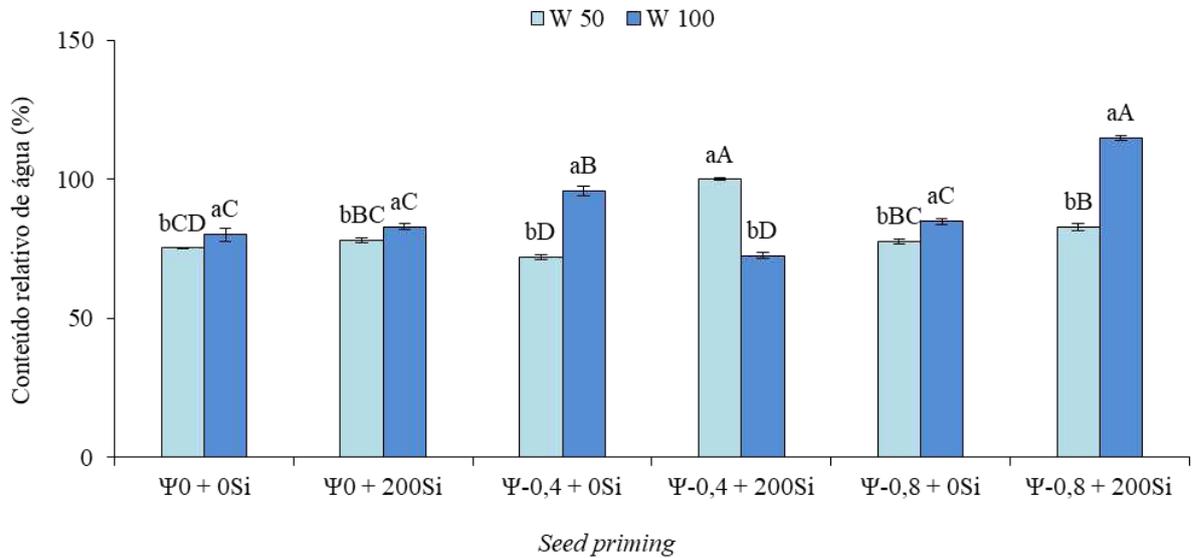


Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

No feijão-caupi, o potencial hídrico foliar (Ψ_w) é reduzido em condições de déficit hídrico, ocasionando a diminuição do turgor celular (GOUFO *et al.*, 2017; MERWAD *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2019). O Si atua como indutor de tolerância aos estresses abióticos, capaz de mitigar os efeitos deletérios do déficit hídrico em diferentes cultivares de feijão-caupi, responsável por aumentar o Ψ_w , garantindo o crescimento da espécie (SILVA *et al.*, 2019). Face ao exposto, é provável que o aumento obtido no Ψ_w , nas lâminas W50 e W100, tenha ocorrido devido a maior concentração de Si (200 mg L^{-1}) utilizada no SP, resultado que pode ter sido potencializado pelo osmopriming com PEG 6000, haja vista que, em condições de estresse hídrico, este agente induz tolerância (SALLEH *et al.*, 2021).

Verificou-se que, plantas de feijão-caupi originadas de sementes submetidas ao SP $\Psi-0,4 + 200\text{Si}$ obtiveram maior conteúdo relativo de água (CRA) na folha (99,98%), seguidas daquelas originadas do SP $\Psi-0,8 + 200\text{Si}$ (82,73%) e o menor CRA do SP $\Psi-0,4 + 0\text{Si}$ (71,96%), quando submetidas a restrição hídrica (W50). Já as plantas submetidas à lâmina de irrigação de 100% da ETo (W100) obtiveram maior CRA (115,03%) sob o SP $\Psi-0,8 + 200\text{Si}$, seguidas daquelas originadas do SP $\Psi-0,4 + 0\text{Si}$ (95,74%) e o menor do SP $\Psi-0,4 + 200\text{Si}$ (72,51%) (Gráfico 2).

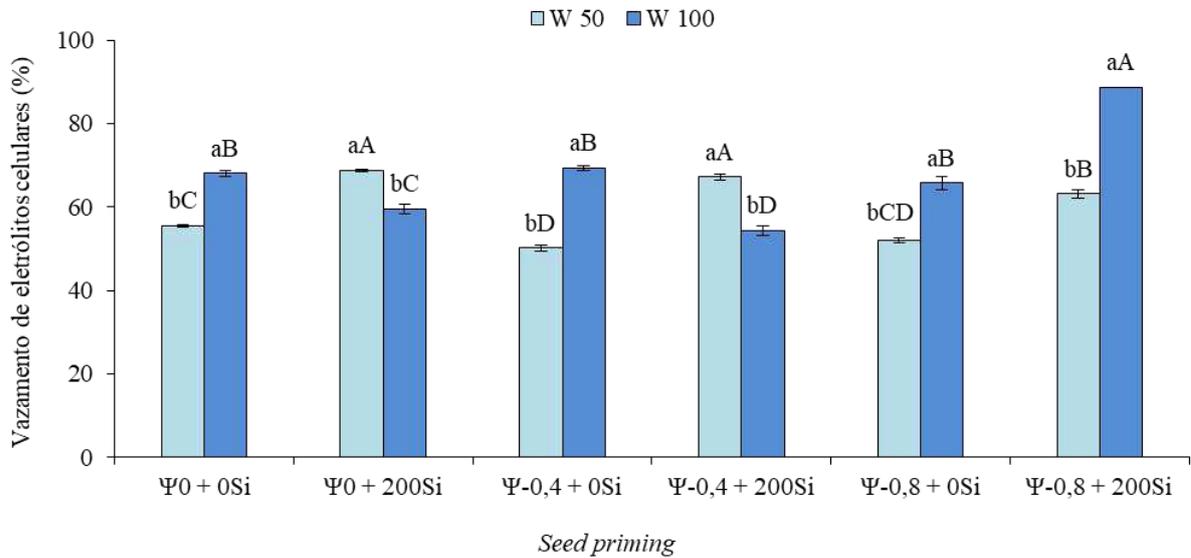
Gráfico 2 - Conteúdo relativo de água na folha de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e *seed priming* com polietilenoglicol 6000 e silício.



Em pesquisa realizada por Meher *et al.* (2018) foi possível evidenciar que o PEG 6000 foi responsável por diminuir o CRA no amendoim, tanto no estresse hídrico progressivo leve quanto no severo, sendo relatado também em folhas de arroz (HSU; KAO, 2003) e tomate (ZGALLAÏ *et al.*, 2005). Isso explica o fato de, em condições de estresse hídrico, o SP Ψ -0,4 + 0Si ter diminuído o CRA, o que pode ser atribuído à ação do PEG 6000. Por outro lado, a combinação de PEG 6000 (-0,4 e -0,8 MPa) com Si (200 mg L⁻¹) promoveu maior CRA, nas lâminas W50 e W100, o que indica o papel do Si no ajuste das relações hídricas do feijão-caupi.

Os menores vazamentos de eletrólitos celulares (VEC) de plantas submetidas a lâmina W50 foram observados nos *seed priming* Ψ -0,4 + 0Si (50,14%) e Ψ -0,8 + 0Si (52%), enquanto os maiores valores foram observados nos *seed priming* Ψ 0 + 200Si (68,68%) e Ψ -0,4 + 200Si (67,17%). Na lâmina W100, o menor VEC ocorreu no SP Ψ -0,4 + 200Si (54,33%), enquanto o maior valor ocorreu no SP Ψ -0,8 + 200Si (88,66%) (Gráfico 3).

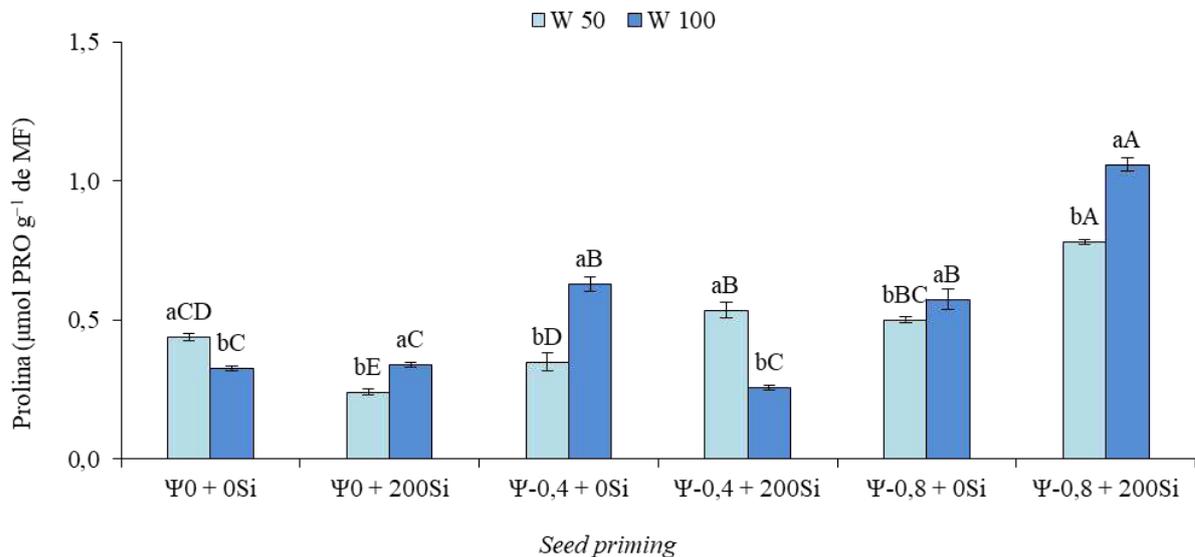
Gráfico 3 - Vazamento de eletrólitos celulares de folhas de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e *seed priming* com polietilenoglicol 6000 e silício.



O Si, sob suprimento limitado de água, é capaz de causar efeitos benéficos nos processos fisiológicos da planta, como por exemplo na diminuição do VEC (SHEN *et al.*, 2010), porém, analisou-se que os maiores valores de VEC foram os SP $\Psi_0 + 200\text{Si}$ e $\Psi_{-0,4} + 200\text{Si}$, já os menores valores sendo dos SP que continham apenas as concentrações de PEG 6000 ($\Psi_{-0,4} + 0\text{Si}$ e $\Psi_{-0,8} + 0\text{Si}$), demonstrando a eficácia do PEG 6000 em diminuir o VEC em cultivar de feijão-caupi. No entanto, em plantas não submetidas ao estresse, a associação do PEG 6000 e o Si foi capaz de diminuir o VEC, sendo demonstrado no SP $\Psi_{-0,4} + 200\text{Si}$, indicando que a combinação do PEG 6000 e Si induz redução no VEC.

O maior teor de prolina (PRO), em plantas irrigadas com W50, foi quantificado no SP $\Psi_{-0,8} + 200\text{Si}$ ($0,78 \mu\text{mol PRO g}^{-1}$ de MF) e o menor no SP $\Psi_0 + 200\text{Si}$ ($0,24 \mu\text{mol PRO g}^{-1}$ de MF), o que representa diferença percentual de 69,23%. Na lâmina W100, o maior teor de PRO foi quantificado no SP $\Psi_{-0,8} + 200\text{Si}$ ($1,06 \mu\text{mol PRO g}^{-1}$ de MF) e o menor $\Psi_{-0,4} + 200\text{Si}$ ($0,26 \mu\text{mol PRO g}^{-1}$ de MF), com diferença percentual de 75,47% (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Teor de prolina de folhas de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e *seed priming* com polietilenoglicol 6000 e silício.



O aumento dos teores de solutos orgânicos, a exemplo do aminoácido prolina e os açúcares solúveis totais, são comuns em plântulas originadas de sementes submetidas ao *seed priming* e cultivadas em condições de restrição hídrica, induzindo maior germinação e crescimento (COSTA *et al.*, 2022). O uso de Si aumenta o teor de PRO (SILVA *et al.*, 2019) e, combinado com o PEG 6000 no SP Ψ-0,8 + 200Si demonstrou ser capaz de obter o maior teor de PRO dentre os demais, nas duas lâminas de irrigação.

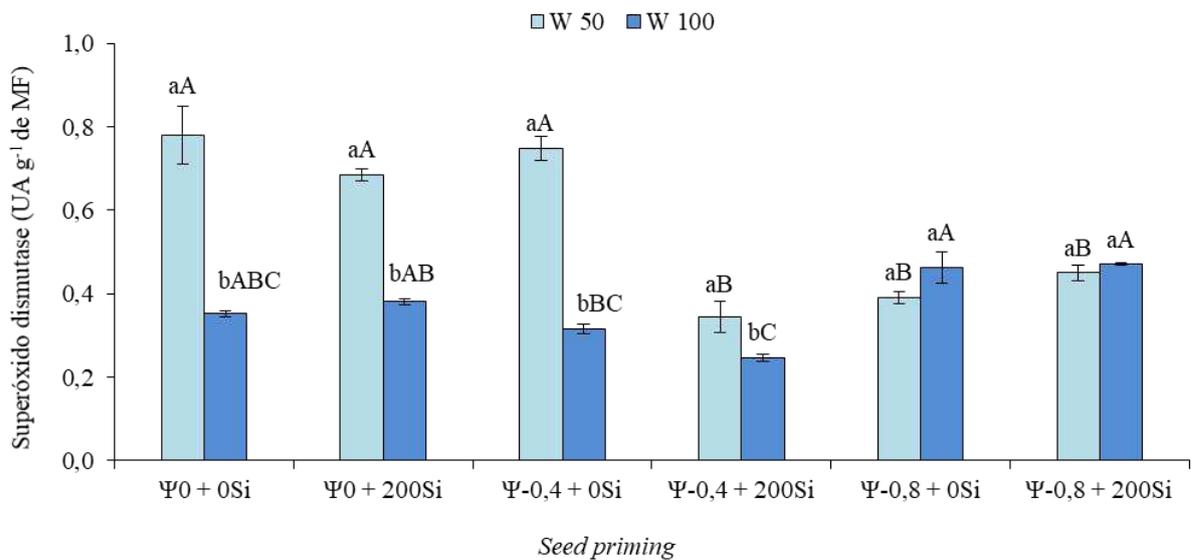
A produção de osmoprotetores como a prolina, glicina betaína e açúcares solúveis são induzidas sob o estresse hídrico para ajustes osmóticos, estabilização da estrutura celular e proteção contra danos oxidativos (BLUM, 2017).

A PRO promove o ajuste osmótico e previne a desidratação tecidual (ARAÚJO *et al.*, 2017), concentrada na maior parte aérea e na raiz de genótipos tolerantes quando comparados aos suscetíveis ao estresse (DUTRA *et al.*, 2017), sendo um componente não enzimático, possui atividade antioxidante no feijão-caupi sob déficit hídrico, tornando-se parte integrante da resposta adaptativa, e não apenas indicadores de estresse (GOUFO *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2019; ANDRADE *et al.*, 2021).

Para a atividade superóxido dismutase (SOD), na lâmina W50, foram determinados os maiores valores nos SP Ψ0 + 0Si (0,78 UA g⁻¹ de MF), Ψ0 + 200Si (0,68 UA g⁻¹ de MF) e Ψ-0,4 + 0Si (0,75 UA g⁻¹ de MF), enquanto os menores valores ocorreram nos SP Ψ-0,4 + 200Si

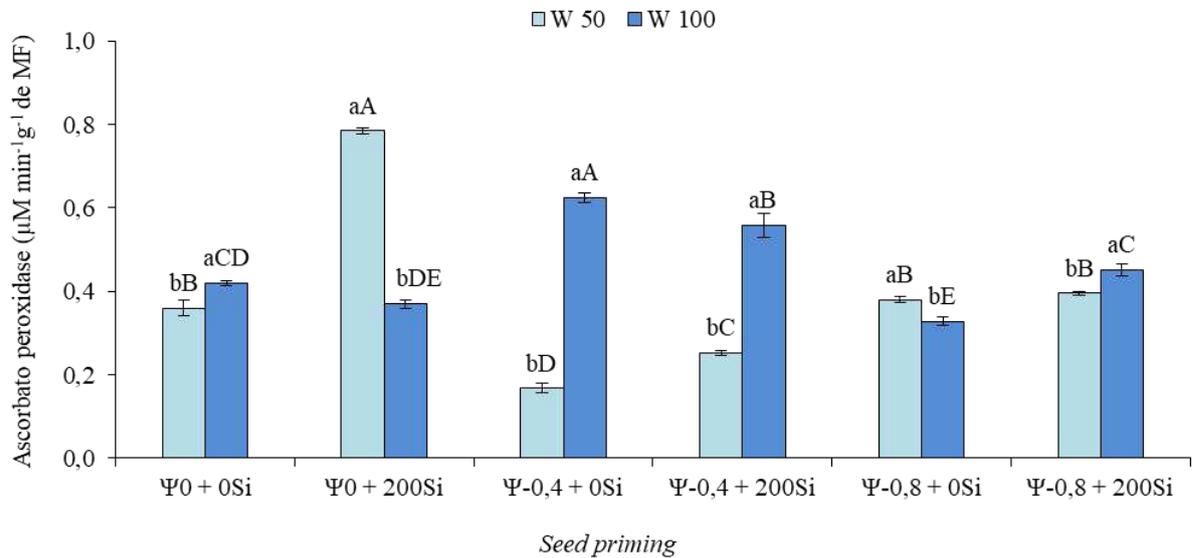
(0,35 UA g⁻¹ de MF), Ψ -0,8 + 0Si (0,39 UA g⁻¹ de MF) e Ψ -0,8 + 200Si (0,45 UA g⁻¹ de MF). Já para a lâmina W100, o SP Ψ -0,4 + 200Si reduziu a atividade da SOD sendo registrada 0,25 UA g⁻¹ de MF (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Atividade da superóxido dismutase de folhas de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e *seed priming* com polietilenoglicol 6000 e silício.



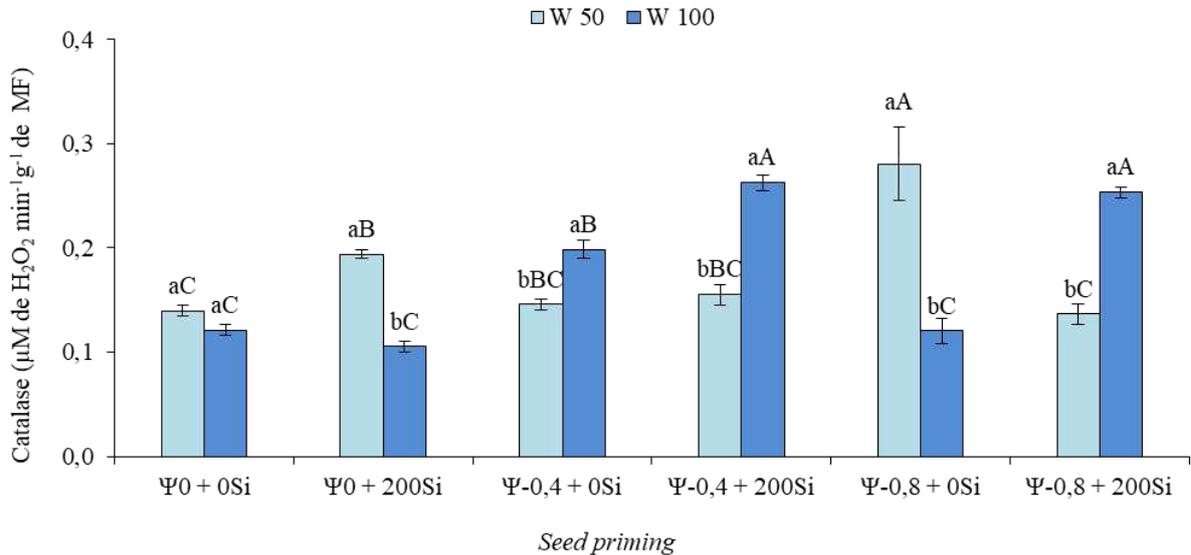
Na lâmina W50, foi determinada maior atividade da ascorbato peroxidase (APX) no SP Ψ 0 + 200Si (0,25 μ M min⁻¹g⁻¹ de MF), por outro lado, quando as plantas foram originadas do SP Ψ -0,4 + 0Si expressaram menor atividade da APX (0,17 μ M min⁻¹ g⁻¹ de MF), com diferença percentual de 32%. Para a lâmina W100 a maior atividade da APX foi observada no SP Ψ -0,4 + 0Si (0,62 μ M min⁻¹ g⁻¹ de MF) e a menor sendo expressa no SP Ψ -0,8 + 0Si (0,33 μ M min⁻¹ g⁻¹ de MF), com diferença de percentual de 46,77% (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Atividade da ascorbato peroxidase de folhas de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e *seed priming* com polietilenoglicol 6000 e silício.



Para a atividade da catalase (CAT), na lâmina W50, determinou-se maior atividade do SP $\Psi-0,8 + 0\text{Si}$ ($0,28 \mu\text{M min}^{-1} \text{g}^{-1}$ de MF) e as menores atividades originadas dos SP $\Psi0 + 0\text{Si}$ ($0,14 \mu\text{M min}^{-1} \text{g}^{-1}$ de MF) e $\Psi-0,8 + 200\text{Si}$ ($0,14 \mu\text{M min}^{-1} \text{g}^{-1}$ de MF). Para a lâmina W100, foi possível observar que tanto o SP $\Psi-0,4 + 200\text{Si}$ ($0,26 \mu\text{M min}^{-1} \text{g}^{-1}$ de MF) quanto o $\Psi-0,8 + 200\text{Si}$ ($0,25 \mu\text{M min}^{-1} \text{g}^{-1}$ de MF) tiveram maior atividade da CAT e as menores sendo expressas pelos SP $\Psi0 + 0\text{Si}$ ($0,12 \mu\text{M min}^{-1} \text{g}^{-1}$ de MF), $\Psi0 + 200\text{Si}$ ($0,11 \mu\text{M min}^{-1} \text{g}^{-1}$ de MF) e $\Psi-0,8 + 0\text{Si}$ ($0,12 \mu\text{M min}^{-1} \text{g}^{-1}$ de MF) (Gráfico 7).

Gráfico 7 - Atividade da catalase de folhas de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e *seed priming* com polietilenoglicol 6000 e silício.



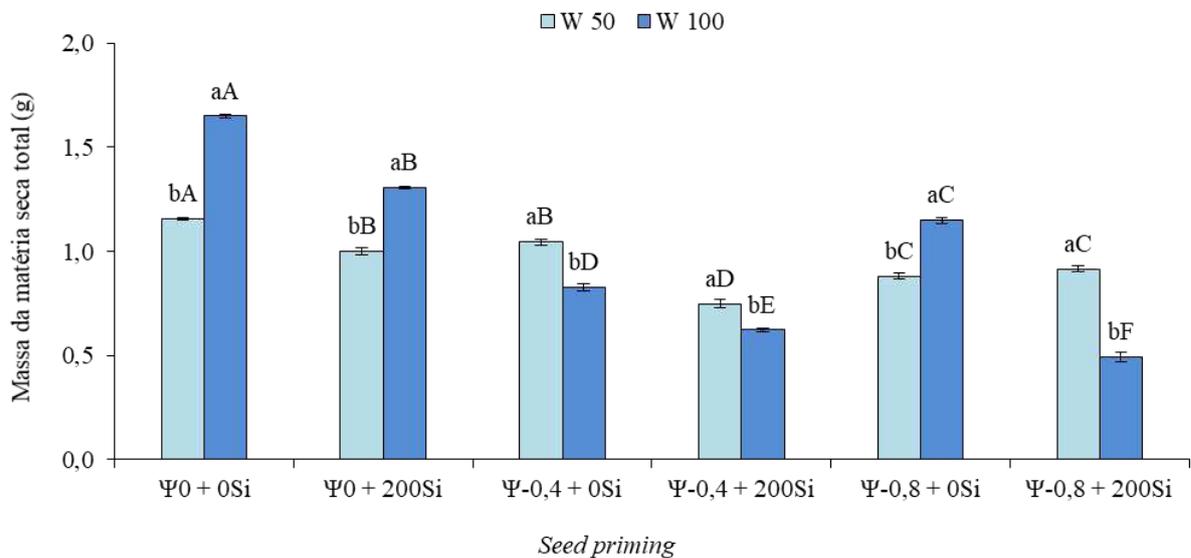
Os mecanismos de defesa, a exemplo da SOD, APX e CAT, ajudam a neutralizar os agentes oxidantes, aumentando a resistência da planta ao estresse osmótico induzido (HOU *et al.*, 2021). Em plantas de milho e trigo, aplicações de SP com Si aumentaram as enzimas antioxidantes em condições de estresse hídrico (SATTAR *et al.*, 2017; PARVEEN *et al.*, 2019; HAMEED *et al.*, 2021), justificando o resultado obtido nesta pesquisa, na lâmina W50, em que o SP contendo apenas Si foi capaz de aumentar a atividade da SOD em plantas de feijão-caupi.

Sob estresse hídrico, a SOD constitui a primeira linha de defesa contra danos induzidos por espécies reativas a oxigênio (EROs) (UDDIN *et al.*, 2021). Assim, é possível que os aumentos ocorridos na atividade da SOD nesta pesquisa sejam devidos a ativação do mecanismo antioxidante pela ação dos SP Ψ0 + 0Si (0,78 UA g⁻¹ de MF), Ψ0 + 200Si (0,68 UA g⁻¹ de MF) e Ψ-0,4 + 0Si (0,75 UA g⁻¹ de MF), uma vez que PEG 6000 e Si atuam na atenuação do estresse hídrico (AHMAD *et al.*, 2019; LEI *et al.*, 2021).

Na presente pesquisa, foi possível observar que o PEG 6000 atuou como indutor de tolerância na atividade da CAT (Ψ-0,8 + 0Si) e para atividade da APX o Si foi responsável por esta atenuação de estresse hídrico (Ψ0 + 200Si), visto que o PEG 6000 e o Si promovem tolerância e atuam na atividade do mecanismo antioxidante (LEE *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2019; MELO *et al.*, 2022).

Para a massa da matéria seca total (MST), foi observado que sob a lâmina W50 os maiores valores foram obtidos em resposta aos SP $\Psi_0 + 0\text{Si}$ (1,16 g), $\Psi_0 + 200\text{Si}$ (1 g) e o $\Psi_{-0,4} + 0\text{Si}$ (1,05 g), enquanto o SP $\Psi_{-0,4} + 200\text{Si}$ provocou menor acúmulo de MST (0,75 g). A respeito da lâmina W100, os SP $\Psi_0 + 0\text{Si}$ (1,65 g) e $\Psi_0 + 200\text{Si}$ (1,31 g) tiveram maior MST e a menor sendo expressa no SP $\Psi_{-0,8} + 200\text{Si}$ (0,50 g) (Gráfico 8).

Gráfico 8 - Massa da matéria seca total de feijão-caupi sob lâminas de irrigação e *seed priming* com polietilenoglicol 6000 e silício.



Ao final da fase vegetativa do feijão-caupi, a restrição hídrica diminui a abertura estomática e dificulta a assimilação de carbono no metabolismo fotossintético (MELO *et al.*, 2018a), prejudicando o crescimento, produção de massa seca, expansão da área foliar (MELO *et al.*, 2018b; ANDRADE *et al.*, 2021), peso da vagem e rendimento (DUTRA *et al.*, 2015). Neste contexto, mudas geradas de sementes submetidas ao SP melhoram as características fisiológicas, bioquímicas, biométricas, acúmulo de matéria seca e índices de crescimento para maior tolerância aos estresses abióticos (BONOU, 2022), sendo possível observar a eficácia do Si ($\Psi_0 + 200\text{Si}$) e do PEG 6000 ($\Psi_{-0,4} + 0\text{Si}$) no SP.

Em estudo realizado com sorgo foi demonstrado que o PEG 6000 melhorou o potencial de germinação, aumentando o peso das reservas mobilizadas de sementes e a massa seca total de plântulas sob estresse hídrico (TOUNEKTI *et al.*, 2020), podendo ser a resposta pelo acúmulo de MST obtido na lâmina W50 sob SP $\Psi_{-0,4} + 0\text{Si}$ (1,05 g).

6 CONCLUSÃO

O *seed priming* com polietilenoglicol 6000 e silício atenua o estresse hídrico por meio da homeostase das relações hídricas, do ajustamento osmótico e mecanismo antioxidante do feijão-caupi cultivar BRS Itaim na fase vegetativa.

REFERÊNCIAS

- ACHARYA, P.; JAYAPRAKASHA, G. K.; CROSBY, K. M.; JIFON J. L.; PATIL, B. S. Nanoparticle-mediated seed priming improves germination, growth, yield, and quality of watermelons (*Citrullus lanatus*) at multi-locations in Texas. **Scientific Reports**, v. 10, n. 5037, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61696-7>.
- AHMAD, B.; ZAID, A.; SADIQ, Y.; BASHIR, S.; WANI, S. H. Role of Selective Exogenous Elicitors in Plant Responses to Abiotic Stress Tolerance. In: HASANUZZAMAN, M.; HAKEEM, K. R.; NAHAR, K.; ALHARBY, H. F. (ed.). **Plant Abiotic Stress Tolerance**. Cham: Springer, 2019. 273-290p. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0_12.
- AHMED, M.; BOUMEDRIS, Z.; TAHAR, A.; DJEBAR, M. Impacto of an Atmosphere Rich in Sulfur Dioxide on a Foliose Lichen Species *Flavoparmelia Caperata* (L) Hale from the El Kala National Park (Northeast Algerian). **Internacional Journal or Scientific Research in Science and Technology**, v. 2, n. 1, p. 21-27, 2016.
- ALI, M. A.; FAHAD, S.; HAIDER, I.; AHMED, N.; AHMAD, S.; HUSSAIN, S.; ARSHAD, M. Oxidative stress and antioxidant defense in plants exposed to metal/metalloid toxicity. **Reactive oxygen, Nitrogen and Sulfur species in plants**, p. 353-370, 2019. <https://doi.org/10.1002/9781119468677.ch15>.
- ANDRADE, W. L.; MELO, A. S.; MELO, Y. L.; SÁ, F. V. S.; ROCHA, M. M.; OLIVEIRA, A. P. 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. 40, p. 656-667, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10130-3>.
- ARAÚJO, E. D.; MELO, A. S.; ROCHA, M. S.; CARNEIRO, R. F.; ROCHA, M. M. Genotypic variation on the antioxidative response of cowpea cultivars exposed to osmotic stress. **Revista Caatinga**, v.30, p.928-937, 2017. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n413rc>.
- 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, p.80-89, 2018. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n110rc>.
- ARNOTT, A.; GALAGEDARA, L.; THOMAS, R.; CHEEMA, M.; SOBZE, J. M. The potential of rock dust nanoparticles to improve seed germination and seedling vigor of native

species: A review. **Science of The Total Environment**, v. 775, p. 145139, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145139>.

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.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>.

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase–improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analogies Biochemistry**, n. 1, v. 44, p. 276-287, 1971. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(71\)90370-8](https://doi.org/10.1016/0003-2697(71)90370-8).

BERWAL, M. K.; RAM, C. Superoxide dismutase: a stable biochemical marker for abiotic stress tolerance in higher plants. **Abiotic and biotic stress in plants**, p. 1-10, 2018. <https://doi.org/10.5772/intechopen.82079>.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011. 261p.

BLUM, A. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. **Plant, Cell & Environmental**, v. 40, n. 1, p. 4-10, 2017. <https://doi.org/10.1111/pce.128000>.

BONOU, S. I. **Indução de tolerância aos estresses térmico e hídrico em *Moringa oleifera* em região semiárida**. 2022. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.

BORBOREMA, L. D. A.; FERRAZ, R. L. S.; COSTA, P. S.; GONZAGA, G. B. M.; MEDEIROS, A. S. Demanda hídrica e crescimento de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) sob doses de esterco ovino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 17, n. 1, p. 72-76, 2022.

CAMPOS, F. L.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. C. A.; RIBEIRO, V. Q.; SILVA, R. Q. B.; ROCHA, 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.

CAVALCANTE, I. E. **Ácido salicílico atenua os efeitos da restrição hídrica em cultivares de feijão-caupi [*vigna unguiculata* (L.) Walp] em condições de campo**. 2021. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (BRASIL). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, dezembro 2020**. Brasília, DF: CONAB, v. 8, n. 3, p. 12-14, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 16 junho de 2022.

COSTA, A. A.; PAIVA, E. P.; TORRES, S. B.; SOUZA NETO, M. L.; PEREIRA, K. T. O.; LEITE, M. S.; SÁ, F. V. S.; BENEDITO, C. P. Osmoprotection in *Salvia hispanica* L. seeds under water stress attenuators. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, n. 11, p. e233547, 2022.

CRAUFURD, P. Q.; ELLIS, R. H.; SUMMERFIELD, R. J.; MENIN, L. Development in cowpea (*Vigna unguiculata*) I. The influence of temperature on seed germination and seedling emergence. **Experimental Agriculture**, London, v. 32, n. 1, p. 1-12, 1996. <https://doi.org/10.1017/S0014479700025801>.

DIAS-BARBOSA, C. Z. M. C.; OLIVEIRA, D. S. V.; OLIVEIRA, K. J. D.; ARAÚJO, R. S. R. M.; ROCHA, M. M. Selection of cowpea elite lines for iron and zinc biofortification. **Current Nutrition & Food Science**, v. 17, n. 1, p. 48-58, 2021.

DUTRA, W. F.; MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; DUTRA, A. F.; SILVA, D. C.; MAIA, J. M. Antioxidative Responses of Cowpea Cultivars to Water Deficit and Salicylic Acid Treatment. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 3, p. 895-905, 2017.

FÉ, C. R. M.; SOUSA, J. H.; MACEDO, M. A.; SILZA, M. M.; MARQUES, M. M. M.; BARROS, S. B. A. Propostas educativas no ensino do meio ambiente em escolas do Semiárido brasileiro: uma revisão de literatura dos últimos dez anos. **Conjecturas**, v. 22, n. 5, 2022. <https://doi.org/10.53660/CONJ-973-M19>.

FERRAZ, R. L. S.; BELTRÃO, N. E. M.; MELO, A. S.; MAGALHÃES, I. D.; FERNANDES, P. D.; ROCHA, M. S. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 2, p. 735-748, 2014.

- 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. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.
- FREITAS, R. M. O.; DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, F. C. L.; NOGUEIRA, N. W.; PINTO, J. R. 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.
- FREITAS, T. K. T.; GOMES, F. O.; ARAÚJO, M. S.; SILVA, I. C. V.; SILVA, D. J. S.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. M. Potencial de genótipos de feijão-caupi para biofortificação de nutrientes e qualidade de cozimento. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 53, 2022. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220040>.
- 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. 15991, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52360-w>.
- 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. 1-22, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00586>.
- GUPTA, R. K.; ARYA, M.; KUMAR, A.; KUMARI, P.; PRAMILA, K. Study on genetic variability in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. **Current Journal of Applied Science and Technology**, v. 2, n. 33, p. 1-8, 2019. <https://doi.org/10.9734/CJAST/2019/v33i230057>.
- HAMEED, A.; FAROOQ, T.; HAMEED A.; AHMAD, M. Silicon-mediated priming induces acclimatization to moderate water deficit stress, altering physico-biochemical attributes in wheat plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 117, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.625541>.
- HARA, F. A. S.; VENDRUSCOLO, J.; INÁCIO, A. C. F.; CABRAL, R. F.; MOURA, R. P. M. Evaluation of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) cultivars in a lowland soil in the municipality of Autazes/AM. **Research Society and Development**, v. 11, n. 7, p. e16511729865, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.29865>.

HARSH, A.; SHARMA, Y. K.; JOSHI, U.; RAMPURIA, S.; SINGH, G.; KUMAR, S.; SHARMA, R. Effect of short-term heat stress on total sugars, proline and some antioxidant enzymes in moth bean (*Vigna aconitifolia*). **Annals of Agricultural Sciences**, v. 61, n. 1, p. 57-64, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2016.02.001>.

HASANUZZAMAN, M.; BHUYAN, M. H. M. B.; ZULFIQAR, F.; RAZA, A.; MOHSIN, S. M.; AL MAHMUD, J.; FUJITA, M.; FOTOPOULOS, V. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: revisiting the crucial role of a universal defense regulator. **Antioxidants**, v. 9, n. 8, p. 681-701, 2020. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>.

HAWORTH, M.; MARINO, G.; BRUNETTI, C.; KILLI, D.; DE CARLO, A.; CENTRITTO, M. The Impact of Heat Stress and Water Deficit on the Photosynthetic and Stomatal Physiology of Olive (*Olea europaea* L.) — A Case Study of the 2017 Heat Wave. **Plants**, v. 7, n. 4, p. e76, 2018. <https://doi.org/10.3390/plants7040076>.

HOU, P.; WANG, F.; LUO, B.; LI, A.; WANG, C.; SHABALA, L.; AHMED, H. A. I. A.; DENG, S.; ZHANG, H.; SONG, P.; ZHANG, Y.; SHABALA, S.; CHEN, L. Antioxidant enzyme activity and osmotic adjustment as components of the drought tolerance mechanism in *Carex duriuscula*. **Plants**, v. 10, n. 3, p. 436, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10030436>.

HSU, S. Y.; KAO, C. H. Differential effect of sorbitol and polyethylene glycol on antioxidant enzymes in rice leaves. **Plant Growth Regulation**, v. 39, n. 1, p. 83-90, 2003.

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. <https://doi.org/10.1002/jsfa.90744>.

JOHNSON, R.; PUTHUR, J. T. Seed priming as a cost effective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, n. 5, p. 247-257, 2021.

KEFFER, J. F.; SILVA, C. C.; SOUZA, A. P.; SILVA, A. C.; BOUVIÊ, L.; DIAS, T. K. R. Evapotranspiration and water sensitivity of Amazonian yellow ipe seedlings under different shading conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 10, p. 733-740, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n10p733-740>.

KOLLIST, H.; ZANDALINAS, S. I.; SENGUPTA, S.; NUHKAT, M.; KANGASJÄRVI, J.; MITTLER, R. Rapid responses to abiotic stress: priming the landscape for the signal transduction Network. **Trends in plant science**, v. 24, n. 1, p. 25-37, 2018.

LEE, D. Z.; QUING, T. W.; YAT-SEM, Z. Effects of osmopriming on tomato (*Lycopersicon esculentum* M.) hybrid seed vigor under aging and salinity stress. **Advanced Journal of Seed Science and Technology**, v. 4, n. 7, p. 112-118, 2017.

LEI, C.; BAGAVATHIANNAN, M.; WANG, H.; SHARPE, S. M.; MENG, W.; YU, J. Osmopriming with polyethylene glycol (PEG) for abiotic stress tolerance in germinating crop seeds: a review. **Agronomy**, v. 11, n. 11, p. e2194, 2021.

LEMOS, J. R.; TEIXEIRA, M. C. S. A.; PEREIRA NETO, J. G.; GALENO, L. M. M. Plantas – Relações Hídricas. **Fisiologia Vegetal: Manual de aulas práticas para a educação básica**, Editora UFV, p. 1-33, 2022.

LOCATO, V.; CIMINI, S.; GARA, L. ROS and redox balance as multifaceted players of cross-tolerance: epigenetic and retrograde control of gene expression. **Journal of Experimental Botany**, v. 69, n. 14, p. 3373-3391, 2018. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery168>.

MATOS, F. S. Folha seca: introdução à fisiologia vegetal. 1. ed. Curitiba: **Appris**, 2019.

MEHER; SHIVAKRISHNA, P.; ASHOK REDDY, K.; MANOHAR RAO, D. Effect of PEG-6000 imposed drought stress on RNA content, relative water content (RWC), and chlorophyll content in peanut leaves and roots. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 25, n. 2, p. 285-289, 2018.

MELO, A. S.; MELO, Y. L.; LACERDA, C. F.; VIÉGAS, P. R. A.; FERRAZ, R. L. S.; GHEYI, H. R. Water restriction in cowpea plants [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]: Metabolic changes and tolerance induction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 3, 2022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n3p190-197>.

MELO, A. S.; SILVA, A. R. F.; DUTRA, A. F.; DUTRA, W. F.; BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. S. Eficiência fotossintética e produção de cultivares de feijão-caupi sob irrigação deficitária. **Revista Ambiente e Água**, v. 13, p. 1-8, 2018b. <https://doi.org/104136/ambi-agua.2133>.

MELO, A. S.; SILVA, A. R. F.; DUTRA, A. F.; DUTRA, W. F.; BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. S.; ROCHA, M. M. Crescimento e pigmentos cloroplastídeos de genótipos de feijão *Vigna*

sog déficit hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, p. 2579-2591, 2018a. <https://doi.org/10.7127/rbai.v12n300698>.

MERWAD, A. R. M. A.; DESOKY, E. S. M.; RADY, M. M. Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. **Scientia Horticulturae**, v. 228, p. 132-144, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.008>.

MISHRA, D.; KAR, M. Catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, v. 57, n. 2, 1976.

MOURA, J. Z.; PADUA, L. E. M.; MOURA, S. G.; TORRES, J. S.; SILVA, P. R. 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.

NAING, A. H.; KIM, C. K. Abiotic stress-induced anthocyanins in plants: Their role in tolerance to abiotic stress. *Physiologia Plantarum*, v. 172, n. 3, p. 1711-1723, 2021. <https://doi.org/10.1111/ppl.13373>.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidases in spinach chloroplast. **Plant & Cell Physiol**, v. 22, p. 867-880, 1981. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>.

NARAYANA, M.; ANGAMUTHU, M. COWPEA. IN: PRATAP, A.; GUPTA, S. (ed.). **The beans and the peas: From orphan to mainstream crops**. Sawston: Woodhead Publishing, 2021. Chap. 11, p. 241-272. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821450-3.00007-X>.

NILO, S. H.; THIRUVENGADAM, M.; WANG, Y.; SAMYNATHAN, R.; SHARIATI, M. A.; NILO, A.; SUN, M.; VENKIDASAMY, B.; XIAO, J.; KAI, G. Nano-priming as emerging seed priming technology for sustainable agriculture—recent developments and future perspectives. **Journal of Nanobiotechnology**, v. 20, n. 254, 2022.

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. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.11.003>.

PAIVA, E. P.; SÁ, F. V. S.; TORRES, S. B.; BRITO, M. E. B.; MOREIRA, R. C. L.; SILVA, L. A. Germination and tolerance of cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivars to water stress.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 22, n. 6, p. 407-411, 2018. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n6p407-411>.

PARVEEN, A.; LIU, W.; HUSSAIN, S.; ASGHAR, J.; PERVEEN, S.; XIONG, Y. Silicon priming regulates morphophysiological growth and oxidative metabolism in corn under water stress. **Plants (Basel)**, v. 8, n. 10, p. 431, 2019. <https://doi.org/10.3390/plants8100431>.

PHILIPPIDIS, G.; FERRER-PÉREZ, H.; GRACIA-DE-RENTERÍA, P.; M'BAREK, R.; LÓPEZ, A. I. S. Eating your greens: a global sustainability assessment. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 168, p. e105460, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105460>.

POHLMANN, V.; LAZZARI, M.; KNIES, A. E.; FERNANDES, D. M.; LUDWIG, F. Foliar silicon in tolerance to water deficit in beans. **Ciência Agrícola**, v. 20, n. 1, p. 25-32, 2022.

ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; MENEZES JUNIOR, J. A. N. Cultivo de Feijão-Caupi: Importância econômica. **Sistemas de Produção Embrapa**, p. 1-6, 2017.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Biostimulants in agriculture. **Frontiers in plant science**, v. 11, p. 40, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>.

SALLEH, M. S.; NORDIN, M. S.; PUTEH, A. B.; SHAHARI, R.; ZAINUDDIN, Z.; AB-GHAFFAR, M. B.; SHAMSUDIN, N. A. A. Response of primed rice (*Oryza sativa* L.) seeds towards reproductive stage drought stress. **Sains Malaysiana**, v. 50, n. 10, p. 2913-2921, 2021.

SANTOS, L. A. C.; SILVA, D. M. P.; OLIVEIRA, I. A.; PEREIRA, C. E.; CAMPOS, M. C. C. Crescimento de cultivares de feijão-caupi em solo de terra firme e várzea. **Ambiência**, v. 13, n. 1, p. 261-270, 2017. <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2017.01.17nt>.

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 Agronômica**, v. 29, n. 4, p. 389-399, 2020.

SATTAR, A.; CHEEMA, M. A.; ABBAS, T.; SHER, A.; IJAZ, M.; WAHID, M. A.; HUSSAIN, M. Physiological response of late sown wheat to exogenous silicon application. **Cereal Research Communication**, v. 45, p. 202-213, 2017.

SCHOLANDER, P. F.; BRADSTREET, E. D.; HEMMINGSEN, E. A.; HAMMEL, H. T. Sap pressure in vascular plants. **Science**, v. 148, p.339-346, 1965. DOI: [10.1126/ciencia.148.3668.339](https://doi.org/10.1126/ciencia.148.3668.339).

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.

SEM, A.; JOHNSON, R.; PUTHUR, J. T. Seed priming: a cost-effective strategy to impart abiotic stress tolerance. In: HUSEN A. (Ed.). **Plant Performance Under Environmental Stress**. Berlin: Springer, Cham, 2021. 459-480p.

SHEN, X.; ZHOU, Y.; DUAN, L.; LI, Z.; ENEJI, A. E.; LI, J. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, n. 15, p. 1248-1252, 2010.

SILVA M. M. B. O.; CARVALHO, A. J.; BATISTA, P. S. C.; SANTOS JÚNIOR, P. V. S.; OLIVEIRA, S. M. Desempenho agronômico de genótipos de feijão-caupi. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 4, p. 1059-1066, 2018. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17309>.

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

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.

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

SOUZA, L. P.; SANTOS, C. E. R. S.; SIMÕES, A. N.; AVIZ, R. O.; SILVA, N. S. G.; FREITAS, A. D. S.; STAMFORD, N. P.; SILVA, V. S. G. Produtividade e indução de enzimas antioxidantes em Feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) irrigado com água salina e Inoculado com *Bradyrhizobium*. **Research, Society and development**, v. 11, n. 5, e50511528433, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i5.28433>.

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, 2020.

SUDHAKAR, C., LAKSHMI, A.; GIRIDARAKUMAR, S. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. **Plant Science**. v. 161, p. 613- 619, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00450-2](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00450-2).

TABASSUM, T.; AHMAD, R.; FAROOQ, M.; BASRA, S.M.A. Improving salt tolerance in barley by osmopriming and biopriming. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 20, n. 11, p. 2455–2464, 2018. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0788>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia do desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TIMKO, M. P.; SINGH, B. (2008). Feijão caupi, uma leguminosa multifuncional. MOORE, P. H; MING, R.; DELMER, D. (eds). *Genomics of Tropical Crop Plants (Plant Genetics and Genomics: Crops and Models, vol. 1)*. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71219-2_100.

TOUNEKTI, T.; MAHDHI, M.; AL-FAIFI, Z.; KHEMIRA, H. Priming improves germination and seed reserve utilization, growth, antioxidant responses and membrane stability at early seedling stage of Saudi sorghum varieties under drought stress. **Noutalae Botanicae Horti Agrobotanici CLUJ-NAPOCA**, v. 48, n. 2, p. 938 - 953, 2020. <https://doi.org/10.15835/nbha48211841>.

UDDIN, S.; ULLAH, S.; NAFEES, M. Effect of seed priming on growth and performance of *Vigna radiata* L. under induced drought stress. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 4, p. e100140, 2021.

VITAL, R. G. **Mecanismos da tolerância ao déficit hídrico e à alta temperatura em cultivares de soja**. 2019. 94f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2019.

ZGALLAI, H.; STEPPE, K.; LEMEURE, R. Photosynthetic, Physiological and Biochemical Responses of Tomato Plants to Polyethylene Glycol-Induced Water Deficit. **Journal of**

Integrative Plant Biology (Formerly *Acta Botanica Sinica*), v. 47, n. 12, p. 1470-1478, 2005.
<https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2005.00193.x>.