



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

DISSERTAÇÃO

**MITIGAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO NA FASE VEGETATIVA DE AMENDOIM  
RASTEIRO, COM SUPLEMENTAÇÃO DE PIRUVATO**

**VITÓRIA RÉGIA DO NASCIMENTO LIMA**

Campina Grande – Paraíba

Dezembro de 2024

VITÓRIA RÉGIA DO NASCIMENTO LIMA

Agrônoma

**MITIGAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO NA FASE VEGETATIVA DE AMENDOIM  
RASTEIRO, COM SUPLEMENTAÇÃO DE PIRUVATO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

**Orientador:** Prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes

**Coorientadora:** Roseane Cavalcanti dos Santos

Campina Grande – Paraíba

2024

L732m

Lima, Vitória Régia do Nascimento.

Mitigação do estresse hídrico na fase vegetativa de amendoim rasteiro com suplementação de piruvato / Vitória Régia do Nascimento Lima. – Campina Grande, 2025.

54 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.

"Orientação: Prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes, Profa. Dra. Roseane Cavalcante dos Santos".

Referências.

1. *Arachis hypogaea* L. 2. Cultivar de Crescimento Rasteiro. 3. Ácido Pirúvico. 4. Trocas Gasosas. 5. Pigmentos Fotossintéticos. 6. Tolerância à Seca. 7. Estresse Hídrico. I. Fernandes, Pedro Dantas. II. Santos, Roseane Cavalcante dos. III. Título.

CDU 634.58(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA  
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

## FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

VITÓRIA RÉGIA DO NASCIMENTO LIMA

**“MITIGAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO NA FASE VEGETATIVA DE AMENDOIM RASTEIRO, COM SUPLEMENTAÇÃO DE PIRUVATO”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 20/12/2024

Pedro Dantas Fernandes - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Jose Dantas Neto - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Rennan Fernandes Pereira - Examinador(a) Externo(a) - PPGEA/UEPB

Roseane Cavalcanti dos Santos - Examinador(a) Externo(a) - EMBRAPA ALGODÃO



Documento assinado eletronicamente por **JOSÉ DANTAS NETO, Usuário Externo**, em 19/03/2025, às 10:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **PEDRO DANTAS FERNANDES, Usuário Externo**, em 19/03/2025, às 11:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rennan Fernandes Pereira, Usuário Externo**, em 19/03/2025, às 12:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

Documento assinado digitalmente



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **5316327** e o código CRC **446AA984**.

---

Referência: Processo nº 23096.089459/2024-11

SEI nº 5316327

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico, primeiramente, à Deus, por guiar minha vida, proteger meus caminhos e sustentar meus sonhos. À minha filha, Alice Rozeno Gonçalves Lima, minha maior inspiração e razão do meu viver. Ao meu marido, Airton Gonçalves de Oliveira, pelo incentivo constante, pelo carinho incondicional e pelo apoio em cada etapa da minha vida.*

*Aos meus pais, José Aelson de Lima e Elismar do Nascimento Lima, sou imensamente grata pela dedicação, pelo incentivo e pelo amor que sempre me cercaram, acreditando em meus sonhos e me fortalecendo em cada etapa.*

*À minha irmã, Érica Natália do Nascimento Lima, agradeço pelo apoio constante aos meus estudos e por me encorajar a seguir em frente, mesmo nos momentos mais difíceis.*

*À minha sogra, Antônia Gonçalves Dias Oliveira, pelo carinho e amor que sempre tem demonstrado por mim.*

*À minha segunda mãe, Laciene Marques de Figueiredo, agradeço profundamente por todo apoio e incentivo em cada momento de minha vida.*

**DEDICO!**

## **AGRADECIMENTOS**

*À Deus, minha eterna gratidão por iluminar e guiar meus passos, tornando possíveis todos os meus sonhos e planos.*

*Ao meu esposo, Airton Gonçalves de Oliveira, agradeço por seu apoio incansável durante a condução desta pesquisa e por me incentivar a persistir sempre na minha carreira.*

*Aos meus orientadores, Prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes e Profa. Dra. Roseane Cavalcanti dos Santos, pelo conhecimento, confiança, ensinamentos e amizade durante esse período de pós-graduação.*

*Aos professores do programa de Pós-Graduação, agradeço por todos os aprendizados que enriqueceram esta etapa de minha vida.*

*Aos meus colegas, Andrezza Maia, Maria de Fátima, Terezinha, Carliane, Wesley Bruno e Robson Felipe, sou grata pela dedicação e colaboração na execução deste experimento. Um agradecimento especial a Francisco de Assis da Silva e a Mirandy do Santos Dias, que se tornaram amigos que desejo levar por toda a minha vida, muito obrigada por nunca soltar minha mão nos momentos mais difíceis e pelo carinho constante.*

*Aos membros da banca examinadora, XXXXX, agradeço as valiosas contribuições que enriqueceram esta pesquisa.*

*Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) da Universidade Federal de Campina Grande, pela confiança e oportunidade de ingressar no mestrado acadêmico.*

*À Embrapa Algodão de Campina Grande – PB, agradeço pela oportunidade de estágio e pelos conhecimentos práticos adquiridos, que foram essenciais para o desenvolvimento da minha vida profissional.*

*“Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer”.*

**(Mahatma Gandhi)**

## LISTA DE TABELAS

	Pág.
<b>Tabela 1.</b> Características agronômicas da cultura do amendoim (cv. IAC Caiapó)	22
<b>Tabela 2.</b> Análises dos atributos químicos e físicos do solo.....	22
<b>Tabela 3.</b> Teste F para os parâmetros de trocas gasosas da cv. IAC Caiapó submetidas à 10 dias de estresse hídrico.....	34
<b>Tabela 4.</b> Teste F para os teores de pigmentos fotossintéticos, conteúdo relativo de água e extravasamento de eletrólitos.....	38
<b>Tabela 5.</b> Teste F para variáveis de crescimento e temperatura do dossel foliar de plantas de amendoim submetidas ao estresse hídrico.....	42

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Morfologia do amendoim.....	17
<b>Figura 2.</b> Distribuição dos tratamentos na área experimental.....	21
<b>Figura 3.</b> Instalação do experimento na área experimental.....	23
<b>Figura 4.</b> Aplicação do ácido pirúvico nas plantas de amendoim.....	25
<b>Figura 5.</b> Manejo de irrigação. A + B – irrigação realizada até atingir a capacidade de campo; C e D – irrigações diárias após a emergência das plântulas.....	26
<b>Figura 6.</b> Correção e adubação do solo. A – gesso; B – aplicação do gesso no solo; C – superfosfato simples + cloreto de potássio; D – aplicação da adubação no solo.....	27
<b>Figura 7.</b> Avaliação do IRGA ao final do período de estresse hídrico da irrigação em plantas de amendoim cv. IAC Caiapó.....	28
<b>Figura 8.</b> Determinação do conteúdo relativo de água ao final do período de estresse hídrico em plantas de amendoim cv. IAC Caiapó.....	30
<b>Figura 9.</b> Quantificação do extravasamento de eletrólitos ao final do período de estresse hídrico em plantas de amendoim cv. IAC Caiapó.....	31
<b>Figura 10.</b> Condutância estomática (gs) e transpiração (E) em função da condição hídrica. Taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> (A) em função da condição hídrica e de aplicação via foliar de ácido pirúvico. Concentração interna de CO <sub>2</sub> (C <sub>i</sub> ) em função do desdobramento da interação entre a condição hídrica e a aplicação via foliar de ácido pirúvico em plantas de amendoim aos 10 dias de suspensão da irrigação.....	
<b>Figura 11.</b> Eficiência instantânea da carboxilação (A/C <sub>i</sub> ) em função da condição hídrica e da aplicação via foliar de ácido pirúvico em plantas de amendoim aos 10 dias de suspensão da irrigação.....	37
<b>Figura 12.</b> Clorofila a, clorofila b, clorofila total e carotenoides em função da condição hídrica. Clorofila total em função da aplicação de ácido	

	pirúvico em plantas de amendoim aos 10 dias após a suspensão da irrigação.....	39
<b>Figura 13.</b>	Conteúdo relativo de água (CRA) e extravasamento de eletrólitos (B) em função da condição hídrica em plantas de amendoim aos 10 dias após a suspensão da irrigação.....	41
<b>Figura 14.</b>	Temperatura do dossel foliar (TDF), altura da haste principal (AHP) e número de folhas (NF) em função da condição hídrica. Número de folhas (NF) em função da aplicação de ácido pirúvico via foliar (D) em plantas de amendoim aos 10 dias após a suspensão da irrigação.....	43

## SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT .....	12
1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVOS .....	15
2.1 Geral .....	15
2.2 Específicos .....	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	16
3.1 Características gerais da cultura do amendoim.....	16
3.2 Importância econômica da cultura do amendoim .....	18
3.3 Suplementação do ácido pirúvico em plantas.....	19
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	21
4.1 Localização do experimento .....	21
4.2 Delineamento estatístico e tratamentos.....	21
4.3 Instalação do experimento .....	22
4.4 Aplicação de ácido pirúvico.....	23
4.5 Manejo de irrigação .....	25
4.6 Adubação .....	26
4.7 Tratos culturais .....	26
4.8 Parâmetros, variáveis e atributos analisados.....	26
4.8.1 Parâmetros de trocas gasosas .....	26
4.8.2 Pigmentos fotossintéticos.....	26
4.8.3 Conteúdo relativo de água (CRA).....	27
4.8.4 Extravasamento de eletrólitos (EE) .....	28
4.8.5 Variáveis de crescimento. ....	28
4.8.6 Temperatura do dossel foliar (TDF) .....	28
4.8.7 Análise estatística.....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
5.1 Trocas gasosas .....	34
5.2 Teores de pigmentos fotossintéticos, conteúdo relativo de água e extravasamento de eletrólitos .....	38
5.3 Variáveis de crescimento e temperatura do dossel foliar.....	42

6. CONCLUSÃO.....	45
7. LITERATURA CITADA .....	46

LIMA, V. R. N. MITIGAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO NA FASE VEGETATIVA DE AMENDOIM RASTEIRO, COM SUPLEMENTAÇÃO DE PIRUVATO 2024. 56p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, Paraíba.

## RESUMO

O amendoim (*Arachis hypogaeae* L.) é uma oleaginosa de alto valor econômico e nutricional, utilizada in natura, industrializada ou para produção de óleo. Apesar do aumento da produção no Brasil, a seca continua sendo um desafio ambiental significativo, causando estresse hídrico que afeta o rendimento e a qualidade da safra. Com este estudo, objetivou-se avaliar a ecofisiologia do amendoim rasteiro (cv. IAC Caiapó) na fase vegetativa sob déficit hídrico e aplicação foliar de ácido pirúvico. O experimento foi desenvolvido em ambiente protegido, pertencente a Unidade acadêmica de Engenharia agrícola da Universidade Federal de Campina Grande – PB. Os tratamentos resultaram da combinação entre dois fatores: Condição hídrica (Controle –plantas irrigadas e Estresse hídrico - supressão da irrigação durante 10 dias na fase vegetativa) e cinco concentrações de ácido pirúvico (0, 200, 400, 600 e 800  $\mu\text{M}$ ). As plantas foram distribuídas no delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 5, com cinco repetições, perfazendo o total de 50 unidades experimentais. Foram avaliados a condutância estomática, transpiração, concentração interna de  $\text{CO}_2$ , taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ , Eficiência instantânea da carboxilação, conteúdo relativo de água, extravasamento de eletrólitos, pigmentos fotossintéticos, altura da haste principal, número de folhas e temperatura do dossel foliar. Constatou-se que o estresse hídrico favoreceu a redução dos parâmetros fisiológicos e das variáveis de crescimento do amendoim rasteiro. A suplementação com ácido pirúvico aliviou os danos causados na concentração interna de  $\text{CO}_2$  e melhorou a taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ , eficiência instantânea da carboxilação, teor de clorofila total e número de folhas. Diante dos efeitos do ácido pirúvico, recomendamos a realização de novos testes em condições de campo ao longo de todo o ciclo da cultura do amendoim, para adoção dessa tecnologia.

**Palavras chaves:** *Arachis hypogaeae* L.; piruvato e tolerância à seca.

LIMA, V. R. N. **MITIGATION OF WATER STRESS IN THE VEGETATIVE PHASE OF CREEPY PEANUTS, WITH PYRUVATE SUPPLEMENTATION** 2024. 56p. Dissertation (Master's in Agricultural Engineering). Federal University of Campina Grande, Center for Technology and Natural Resources. Campina Grande, Paraíba.

### **ABSTRACT**

Peanut (*Arachis hypogaea* L.) is an oilseed with high economic and nutritional value, used in natura, industrialized or for oil production. Despite the increase in production in Brazil, drought remains a significant environmental challenge, causing water stress that affects crop yield and quality. This study aimed to evaluate the ecophysiology of creeping peanut (cv. IAC Caiapó) in the vegetative phase under water deficit and foliar application of pyruvic acid. The experiment was developed in a protected environment, belonging to the Academic Unit of Agricultural Engineering of the Federal University of Campina Grande - PB. The treatments resulted from the combination of two factors: Water condition (Control - irrigated plants and Water stress - irrigation suppression for 10 days in the vegetative phase) and five concentrations of pyruvic acid (0, 200, 400, 600 and 800  $\mu\text{M}$ ). The plants were distributed in a randomized block design, in a 2 x 5 factorial scheme, with five replicates, totaling 50 experimental units. Stomatal conductance, transpiration, internal CO<sub>2</sub> concentration, CO<sub>2</sub> assimilation rate, instantaneous carboxylation efficiency, relative water content, electrolyte leakage, photosynthetic pigments, main stem height, number of leaves and leaf canopy temperature were evaluated. It was found that water stress favored the reduction of physiological parameters and growth variables of creeping peanut. Supplementation with pyruvic acid alleviated the damage caused to the internal CO<sub>2</sub> concentration and improved the CO<sub>2</sub> assimilation rate, instantaneous carboxylation efficiency, total chlorophyll content and number of leaves. Given the effects of pyruvic acid, we recommend carrying out new tests under field conditions throughout the peanut crop cycle, for the adoption of this technology.

**Keywords:** *Arachis hypogaea* L.; pyruvate and drought tolerance.

## 1 INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.), é uma das principais oleaginosas cultivada no mundo, com elevado valor econômico e nutricional, podendo ser utilizado tanto na forma in natura, industrializado ou para produção de óleo (THANGELLA et al., 2018; ZHENG et al., 2021).

De acordo com a CONAB (2023), a safra 2022/23 da produção total de amendoim no Brasil foi de 892,7 mil toneladas, com aumento de mais de 115% quando comparado a safra de 2014/15. Esse crescimento é resultado da expansão significativa da área cultivada, que praticamente dobrou em relação ao ciclo atual, demonstrando o fortalecimento e a relevância da cultura do amendoim no país.

Apesar do crescimento da produção de amendoim no Brasil nos últimos anos, a cultura ainda enfrenta desafios ambientais importantes, especialmente em relação à seca, que é um dos principais fatores limitantes para o desenvolvimento e a qualidade das plantas (BRITO et al., 2019; BARBOSA et al., 2022). Essas condições adversas resultam em estresse hídrico nas plantas, afetando negativamente o rendimento e a qualidade da safra.

Sob déficit hídrico, as plantas não recebem água suficiente para completar o seu ciclo, provocando alterações na anatomia, fisiologia e bioquímica, com intensidade a depender do genótipo e do grau de duração em que foram submetidas ao estresse, podendo influenciar todos os estágios de desenvolvimento, desde a germinação até a colheita (ARAÚJO et al., 2010; ZAREI, 2022; GUARNIZO et al., 2023).

Como consequência, ocorre uma desidratação celular, que interfere na maioria dos processos fisiológicos, como por exemplo, o aumento de ácido abscísico (ABA), que influencia no fechamento estomático, diminuindo a fotossíntese e causando alterações na formação das folhas e caules, diminuição da expansão celular, além de afetar o potencial hídrico, proporcionando a senescência acelerada e abscisão das folhas (TAIZ et al., 2017).

Existem muitos estudos a respeito do estresse hídrico na cultura do amendoim, apontando os efeitos causados durante o todo o ciclo da cultura (BARBOSA et al., 2020; ZHEN et al., 2022; PUPPALA et al., 2023). Entretanto, ainda a carência de pesquisas sobre o uso da aplicação de produtos orgânicos como mitigadores desse estresse abiótico.

Um exemplo é o ácido pirúvico, que desempenha um papel essencial na geração de energia celular. No processo de glicólise, uma molécula de glicose é quebrada em duas moléculas de piruvato, que posteriormente entram no ciclo de Krebs. Nesse ciclo, o piruvato é convertido em energia na forma de ATP (adenosina trifosfato), juntamente com outras

moléculas energéticas como NADH e FADH<sub>2</sub>, as quais contribuem para a geração de ATP na cadeia de transporte de elétrons (TAIZ et al., 2017).

Este trabalho parte da hipótese que a suplementação de ácido pirúvico pode contribuir com os mecanismos energéticos, pois a planta não irá precisar ativar processos envolvidos na glicólise, visto que já irá ser disponibilizado moléculas de piruvato, reforçando o substrato para uma produção de ATP. Após a aplicação, a planta terá uma maior disponibilidade de energia, podendo ativar mecanismos bioquímicos e moleculares para uma melhor adaptação à seca, ocasionando em uma maior produção. Pesquisas com o uso de piruvato foram encontradas nos trabalhos de Shen et al. (2017) em folhas incubadas de *Arabidopsis thaliana*, bem como em estudo desenvolvido por Barbosa et al. (2021) com aplicação de 100 µM e 50 mM em plantas de amendoim sob estresse hídrico.

Portanto, trabalhos com o uso de aplicação de piruvato (tanto na forma de piruvato de cálcio quanto na forma de ácido pirúvico) como atenuante do estresse hídrico em plantas, tem apresentado resultados significativos, proporcionando uma melhor exploração da cultura em regiões semiáridas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a ecofisiologia do amendoim rasteiro (cv. IAC Caiapó) na fase vegetativa sob déficit hídrico e aplicação foliar de ácido pirúvico.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Analisar a aplicação foliar de piruvato exógeno como atenuante do estresse hídrico em amendoim rasteiro na fase vegetativa.
- Avaliar a ação do piruvato exógeno sobre os processos fisiológicos do amendoim rasteiro, e seus efeitos na mitigação do estresse hídrico aplicado às plantas na fase vegetativa.
- Determinar a melhor concentração de piruvato exógeno para o efeito atenuante do estresse hídrico de amendoim rasteiro.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Características gerais da cultura amendoim

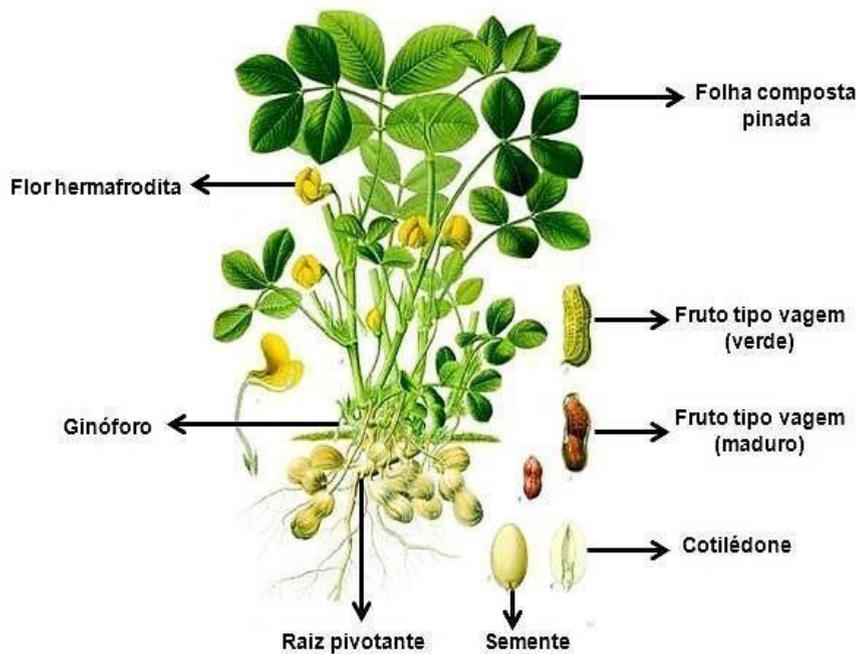
O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma planta dicotiledônea, pertencente à família *Fabaceae* e gênero *Arachis*, com hábito de crescimento ereto ou rasteiro, de ciclo anual, podendo variar de 85 a 160 dias, dependendo do tipo botânico, originário da América do Sul, destacando-se pelo elevado valor agrícola quanto pela sua adaptabilidade a diferentes condições de cultivo (SILVA, 1997; NOGUEIRA et al., 2013; SANTOS et al., 2013).

O gênero *Arachis* possui cerca de 80 espécies descritas, podendo ser diploides ou tetraploides (VALLS, 2013). A espécie *A. hypogaea* encontra-se dividida em duas subespécies: *A. hypogaea* L. subesp. *hypogaea*, relacionado ao grupo Virgínia e, *A. hypogaea* L. subesp. *fastigiata*, relacionada aos grupos Valência ou Spanish (JUDD et al., 1999).

O tipo Virgínia pertencente a subespécie *hypogaea*, apresenta hábito de crescimento rasteiro, ciclo longo variando de 120 a 160 dias, ramificação profusa, ausência de flores na haste principal e sementes largas ou extra largas, detendo de duas sementes por vagem de coloração bege (SILVA et al., 2013).

Os tipos Valência e Spanish da subespécie *fastigiata*, apresentam hábito de crescimento ereto ou semiereto, ciclo curto variando de 85 a 110 dias, ramificação esparsa (poucos ramos secundários e raros terciários) e possuem flores na haste principal, tendo como diferença o tamanho das suas vagens, que as do tipo Spanish são pequenas de coloração bege, enquanto que as do tipo Valência são médias de coloração vermelha (SANTOS et al., 2013).

O amendoim apresenta folhas compostas, pinadas, com dois pares de folíolos inseridos no pecíolo de 4 a 9 cm, a depender do tipo botânico, caule pequeno e raiz pivotante, podendo aprofundar-se entre 30 e 50 cm no solo (COFFELT, 1989; SANTOS et al., 2013). As flores são hermafroditas, pequenas, com coloração amarelada, que após serem fecundadas, penetram no solo, por meio de uma estrutura denominada de ginóforo através de um processo conhecido por geocarpia, onde ocorre a frutificação subterrânea (Figura 1) (BERTIOLI et al., 2011).



**Figura 1:** Morfologia do amendoim (Godoy et al., 2005; Jiovanangelo et al., 2020).

A fenologia do amendoim foi descrita por Boote (1982), sendo dividida em duas fases: Vegetativa (V) e Reprodutiva (R). A fase vegetativa abrange os estádios fenológicos do VE ao V6, desde da emergência da plântula até o aparecimento de folhas compostas totalmente expandidas, ocorrendo entre 25 e 35 dias para cultivares de porte rasteiro (SANTOS et al., 2013; OKADA et al., 2021; CORDEIRO, 2021).

A fase reprodutiva compreende os estádios do R1 ao R9, desde do surgimento da primeira flor até a maturação ultrapassada, tendo uma duração de 90 dias para cultivares rasteiras, sendo que no estágio R2 e R3, acontecem a formação do ginóforo e penetração do ginóforo no solo e, R4, inicia a fase de frutificação (SANTOS et al., 2013; OKADA et al., 2021; CORDEIRO, 2021).

A cultura do amendoim destaca-se por sua grande importância econômica, sendo amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais por apresentar um elevado valor nutricional, sendo usado na alimentação humana, indústrias e nutrição animal (GUNDARANIYA et al., 2020). Sua notável adaptabilidade a diferentes condições climáticas e sua versatilidade de uso fazem dessa oleaginosa uma das mais valorizadas no mercado mundial (DIAS et al., 2019).

O amendoim é uma fonte rica e diversificada de nutrientes, incluindo óleo, proteínas, carboidratos, vitaminas, minerais, antioxidantes e ácidos graxos monoinsaturados (ARCHANA et al., 2020; PATEL et al., 2022). Além disso, suas sementes possuem propriedades medicinais,

enquanto seus grãos podem ser consumidos tanto *in natura* quanto em formas processadas, ampliando sua versatilidade e relevância alimentar (GUNDARANIYA et al., 2020).

### **3.2 Efeitos do estresse hídrico em plantas**

Sob condições ambientais adversas, as plantas estão sujeitas a uma ampla variedade de estresses, tanto bióticos quanto abióticos, incluindo seca, salinidade, temperaturas extremas (altas ou baixas), inundação, radiação excessiva e desequilíbrios nutricionais (KHALID et al., 2019). A indisponibilidade hídrica destaca-se como o principal limitador do rendimento das culturas e do desenvolvimento vegetal, impactando diretamente a produção agrícola (LV et al., 2023).

Estresse hídrico acontece quando a quantidade de água presente numa planta é menor do que a sua necessidade hídrica, ou seja, quando a transpiração é maior do que a água absorvida pelas raízes (KAPOOR et al., 2020; PEIXOTO, 2020). Sob tais condições, as plantas ativam mecanismos de defesa, modificando os níveis morfológicos, fisiológicos e moleculares, que interrompem processos essenciais, como a fotossíntese, trocas gasosas, condutância estomática, respiração, transpiração, potencial osmótico e hídrico, senescência acelerada e abscisão foliar (OGUZ et al., 2022; STEFANOV et al., 2023).

A capacidade das plantas de desenvolver mecanismos de adaptação ou aclimação a estresses ambientais é denominada de plasticidade fenotípica, que se refere a mudanças temporárias na sua fisiologia ou morfologia em resposta as alterações no seu ambiente (TAIZ et al., 2017).

Uma das principais estratégias para lidar com esses desafios, envolve a sinalização mediada pelo ácido abscísico (ABA), um hormônio vegetal essencial nessas condições, proporcionando o seu acúmulo, resultando no fechamento dos estômatos, o que reduz as trocas gasosas e o crescimento das plantas, causando superprodução de espécies reativas de oxigênio (EROs) (FANG; XIONG, 2015; SALEHI-LISAR; BAKHSHAYESHAN-AGDAM, 2016; RICKES et al., 2017; LV et al., 2023).

A superprodução de espécies reativas de oxigênio (EROs), acontece, principalmente, em organelas como cloroplastos, peroxissomos e mitocôndrias, sendo desencadeada pelo desequilíbrio entre a geração e a utilização de elétrons em períodos de seca (FANG; XIONG, 2015; PATEL et al., 2022). Esse aumento de EROs causa danos às proteínas, lipídios, carboidratos e ácidos nucleicos, comprometendo a integridade celular (STEFANOV et al., 2023).

Para reduzir os danos causados pelo aumento das EROs, as plantas ativam mecanismos de defesa antioxidantes que podem ser classificados em enzimáticos e não enzimáticos

(BARBOSA et al., 2021; STEFANOV et al., 2023). O sistema enzimático inclui enzimas protetoras, como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX), que atuam neutralizando as EROs e reduzindo o estresse oxidativo (TAIZ et al., 2017; SELEIMAN et al., 2021; OGUZ et al., 2022). Já o sistema não enzimático envolve a ação de moléculas redutoras, como ácido ascórbico (AsA), glutathiona (GSH) e carotenoides (CAR), que também contribuem na proteção contra os efeitos decorrentes da seca (TAIZ et al., 2017; OGUZ et al., 2022).

A fotossíntese é o processo fisiológico mais afetado em condições de estresse hídrico, devido à perda de pressão de turgor celular, ocasionando o fechamento estomático decorrente da limitação da entrada de dióxido de carbono necessário para o ciclo de Calvin, diminuindo a fixação de carbono e comprometendo a produção de ATP, pois a radiação solar não será totalmente aproveitada pelas plantas durante esse processo, resultando em fotoinibição (RICKES et al., 2017; DING et al., 2020).

A fotoinibição é um processo molecular que ocorre quando as folhas são expostas a níveis excessivos de luz, resultando em danos ao fotossistema II, no qual afeta os pigmentos fotossintéticos (Clorofila a, b, total e carotenoides), comprometendo a eficiência fotossintética e a capacidade da planta de captar e converter energia luminosa em química, fundamental para o seu metabolismo e desenvolvimento (FANG; XIONG, 2015; TAIZ et al., 2017).

A cultura do amendoim é considerado relativamente tolerante ao estresse hídrico, a depender da cultivar, pois possui um sistema radicular profundo capaz de explorar o solo nas camadas mais profundas, onde se tem água (NETO et al., 2012). Suas necessidades hídricas variam de 450 a 700 mm durante o ciclo, dependendo do porte, sendo a fase de florescimento e frutificação, o período mais crítico da cultura (NOGUEIRA; TÁVORA, 2005; CATO et al., 2008; NETO et al., 2012). É extremamente importante que durante esse período as exigências hídricas do amendoimzeiro sejam atendidas, pois é neste momento que ocorre a produção do ginóforo, penetração no solo e formação e desenvolvimento das vagens (NETO et al., 2012).

### **3.3 Suplementação do ácido pirúvico em plantas**

As mitocôndrias são as principais organelas que realizam a respiração aeróbica das plantas (KEUNEN et al., 2011). Na respiração, a energia solar envolvida na fotossíntese e armazenada como energia química, é liberada para a produção de trifosfato de adenosina – ATP, que é utilizado pelas reações celulares para manutenção e desenvolvimento das plantas (GRIFFIN; TURNBULL, 2013; TAIZ et al., 2017; AZARIN et al., 2024). O funcionamento

ideal da cadeia respiratória das plantas contribui para respostas imediatas ou indiretas contra períodos adversos, como por exemplo estresses ambientais (TAIZ et al., 2017; AZARIN et al., 2024).

Na respiração, a produção de piruvato acontece na mitocôndria, por meio da oxidação da glicose através do metabolismo aeróbio, como resultado de um processo denominado de glicólise (STANKO et al., 1992). O piruvato é formado por três carbonos que serve como composto de entrada entre duas vias do metabolismo celular: a glicólise e o ciclo de Krebs (KOH-BANERJEE et al., 2005). Nesse processo, o piruvato passa do citosol para matriz mitocondrial, onde é convertido em acetil-CoA, através do complexo piruvato desidrogenase, para ser utilizado na síntese dos ácidos de três carbonos (KOH-BANERJEE et al., 2005; TAIZ et al., 2017).

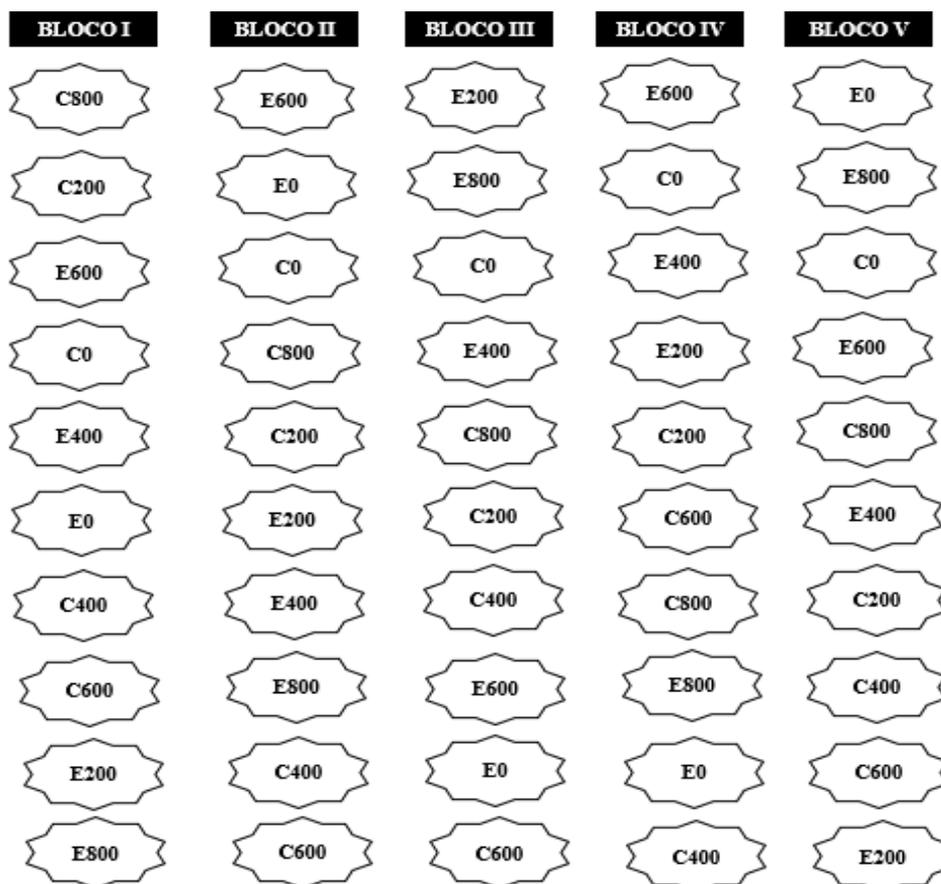
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido em condições de ambiente protegido (Casa de vegetação) pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande, localizada na cidade de Campina Grande, PB - coordenadas geográficas 07° 15' 18" S, 35° 52' 28" O e altitude de 550 m. O clima da região é do tipo Csa, que representa clima mesotérmico, sub úmido, com período de estiagem quente e seco (4 a 5 meses) e período chuvoso de outono a inverno, conforme a classificação climática de Köppen, adaptada ao Brasil (Coelho & Soncin, 1982).

### 4.2 Delineamento estatístico e tratamentos

Os tratamentos resultaram da combinação entre dois fatores: Condição hídrica (Controle – plantas irrigadas e Estresse hídrico - supressão da irrigação durante 12 dias na fase vegetativa) e cinco concentrações de ácido pirúvico (0, 200, 400, 600 e 800  $\mu\text{M}$ ). As plantas foram distribuídas no delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 5, com cinco repetições, perfazendo o total de 50 unidades experimentais (Figura 1).



**Figura 2.** Distribuição dos tratamentos na área experimental. C - Controle; E - Estresse; 0, 200, 400, 600 e 800 – concentrações de ácido pirúvico via foliar.

### 4.3 Instalação do experimento

Para instalação do experimento, foram utilizadas sementes de amendoim IAC Caiapó, proveniente da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Algodão). Conforme dados estão descritos na tabela 1.

**Tabela 1.** Características agronômicas do cultivar utilizado.

Genótipo	Tipo	Origem	Ciclo
IAC Caiapó	Rasteiro	São Paulo, BR	125 - 130

Para preenchimento dos vasos, foi utilizado solo, que previamente foi coletado uma amostra na camada de 0-20 cm de profundidade e encaminhada ao Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) do CTRN/UFMG, para determinação dos atributos químicos e físicos. Os resultados encontram-se na Tabela 2.

**Tabela 2.** Análise dos atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento, 2023.

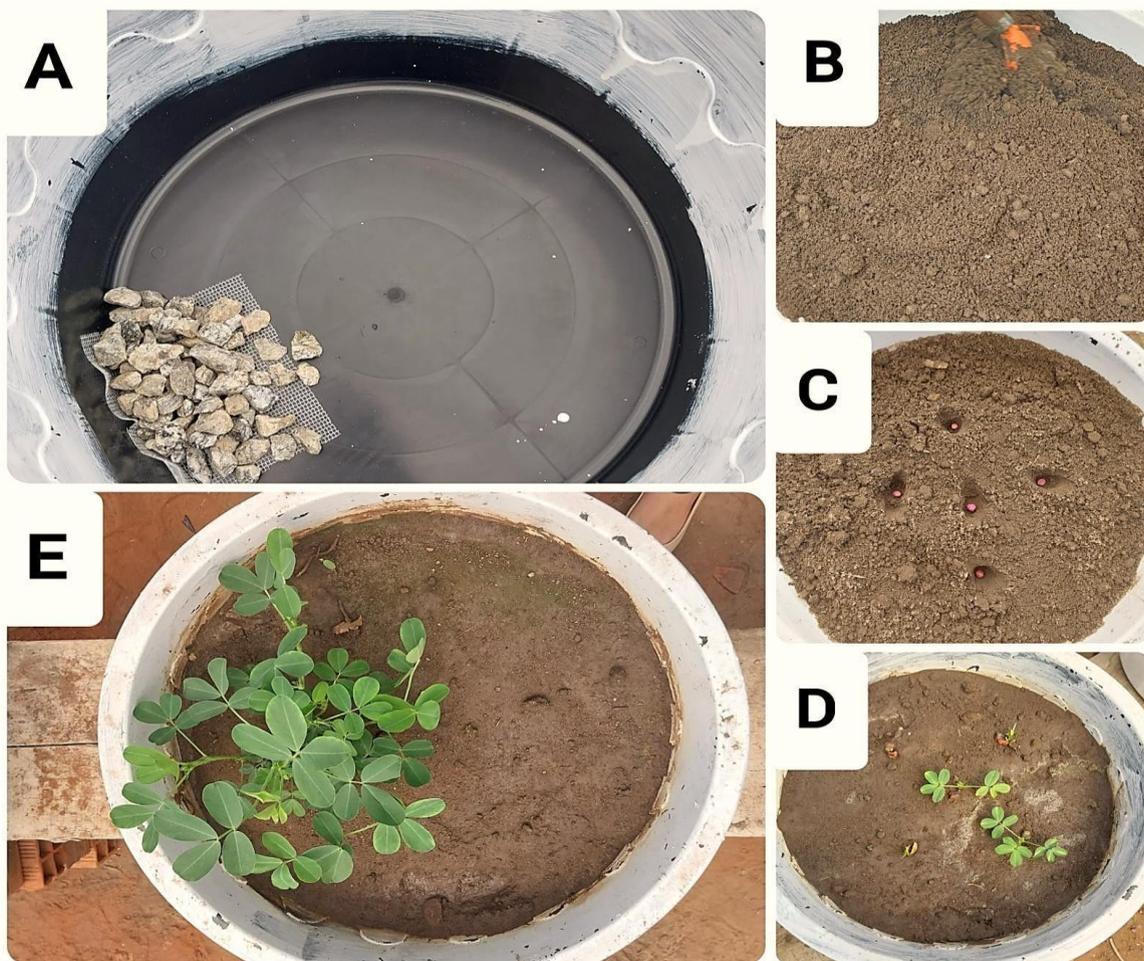
Atributos químicos			Atributos físicos	
<b>pH</b>	5,9	-	<b>Areia</b>	80,77
<b>P</b>	4,55	mg dm <sup>-3</sup>	<b>Silte</b>	12,94
<b>K<sup>+</sup></b>	39,00	mg dm <sup>-3</sup>	<b>Argila</b>	6,29
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	1,75	cmolc dm <sup>-3</sup>	<b>Densidade do solo</b>	1,18 g/cm <sup>3</sup>
<b>Na<sup>+</sup></b>	0,22	cmolc dm <sup>-3</sup>	<b>Densidade das partículas</b>	2,72 g/cm <sup>3</sup>
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	0,82	cmolc dm <sup>-3</sup>	<b>Porosidade</b>	43,38%
<b>Al<sup>3+</sup></b>	1,00	cmolc dm <sup>-3</sup>	Areia Franca	
<b>H<sup>+</sup></b>	2,58	cmolc dm <sup>-3</sup>	<b>Potencial matricial (kPa)</b>	<b>Umidade do solo (%)</b>
<b>H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup></b>	5,20	cmolc dm <sup>-3</sup>	Natural	0,60
<b>CE</b>	0,04	dS/m	-10	19,14
<b>M.O</b>	11,57	g/kg	-33	14,09
			-100	10,51
			-500	7,80
			-1000	6,27
			-1500	5,81
			<b>Água disponível</b>	8,28

Método EMBRAPA. Extração: pH (H<sub>2</sub>O) - potencial hidrogeniônico; P- fósforo; K<sup>+</sup> - potássio; Ca<sup>2+</sup> - cálcio; Na<sup>+</sup> - sódio; Mg<sup>2+</sup> - magnésio; Al<sup>3+</sup> - alumínio; H<sup>+</sup> - hidrogênio; Mehlich (P, K, Na); Cloreto de potássio 1N (Ca, Mg e Al); Acetato de Cálcio pH 7,0 (H + Al) e M.O - matéria orgânica.

As plantas de amendoim foram cultivadas em recipientes plásticos (bacias) com aproximadamente 35 L de capacidade (cm de altura x cm de diâmetro superior x cm de diâmetro inferior) os quais receberam uma camada de brita e uma tela cobrindo a entrada da mangueira, para evitar a obstrução pelo material de solo (Figura 3A). Em seguida, os vasos foram preenchidos com 28 kg de solo (Figura 3B) e realizado a correção do solo (Figura 2C).

Em cada vaso foi adaptado uma mangueira de 4 mm de diâmetro, conectada à sua base, de modo a facilitar a drenagem de cada lisímetro, acopladas a recipientes com capacidade volumétrica de 2,0 L, para coleta da água drenada.

A semeadura foi realizada com 5 sementes da IAC Caiapó (subsp. *hypogaea*, estofo e sensível à seca) por vaso, a 2 cm de profundidade, no centro do recipiente (Figura 2D). Posteriormente, foi realizado o desbaste, deixando-se a plântula mais vigorosas de cada recipiente.



**Figura 3.** Instalação do experimento na área experimental. A – Camada de brita + tela; B – 28 kg de solo; C – semeadura; D – emergência das plântulas; E - desbaste.

#### 4.4 Aplicação do ácido pirúvico

As concentrações de ácido pirúvico baseiam-se em estudo desenvolvido por Barbosa et al. (2021) em amendoim, encontrado na literatura sobre aplicação exógena do produto. Foi realizado ajuste nas concentrações de ácido pirúvico para 200, 400, 600 e 800  $\mu\text{M}$ , haja vista que a pesquisa original foi com a aplicação de 100  $\mu\text{M}$  e 50 mM em plantas de amendoim de porte ereto (cv. BR 1) e rasteiro (IAC Caiapó).

As concentrações foram preparadas a partir da diluição do ácido pirúvico em água destilada, sendo executada minutos antes da pulverização e aplicada com auxílio de um pulverizador, realizada a partir das 17h, em todas as folhas da planta. O volume de solução aplicado foi de 50 mL por unidade experimental. Foi feita duas aplicação de ácido pirúvico via foliar, aos 6 e 11 dias após a suspensão da irrigação. A fórmula a ser utilizada para o cálculo da massa foi a de Molaridade (Equação 1).

$$M = \frac{m}{PM \cdot V} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

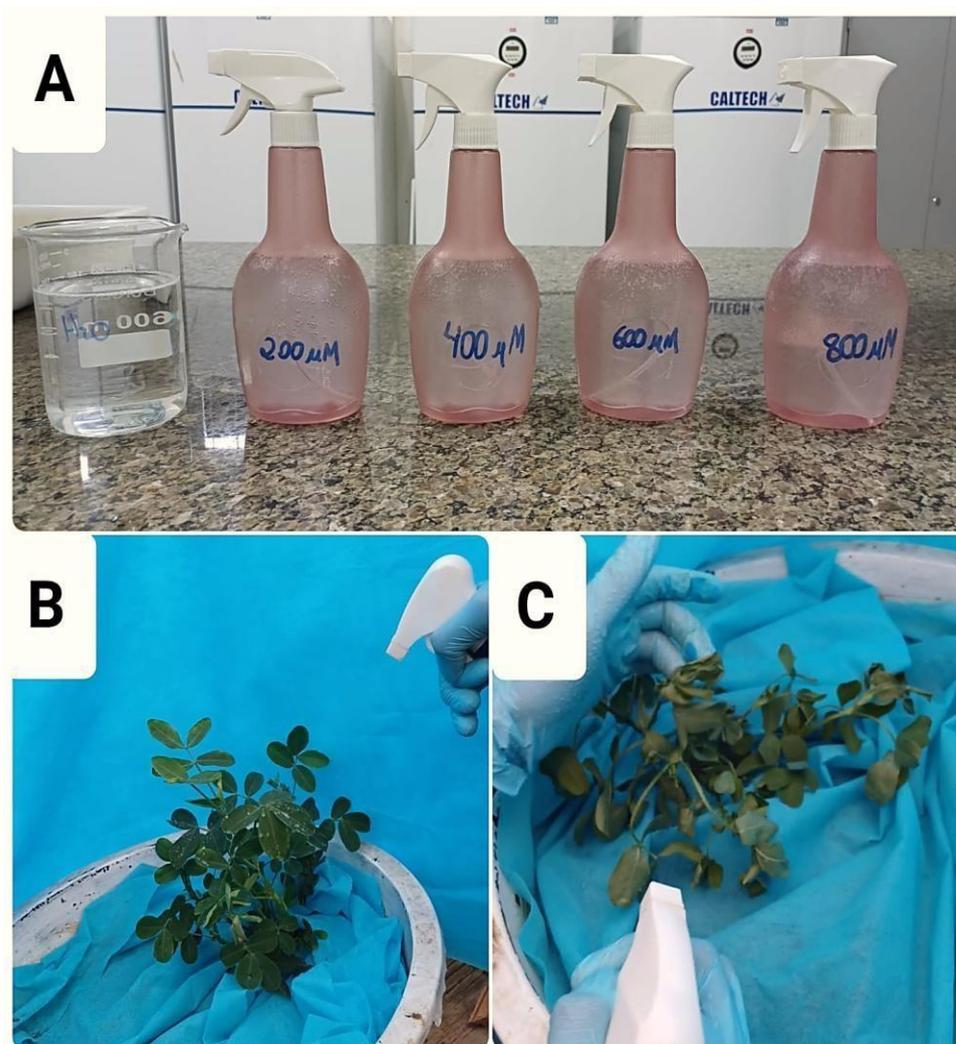
M = concentração molar ( $\mu\text{M}$ )

m = massa (g)

PM = peso molar (g/mol)

V = volume (L).

Visando a se evitar a deriva para outras plantas, causada pelo vento, durante o procedimento, as plantas foram protegidas com plástico e o solo foi coberto com uma manta, de modo a se evitar escoamento da solução para o solo.



**Figura 4.** Aplicação do ácido pirúvico nas plantas de amendoim. A – concentrações preparadas; B – aplicação nas plantas do controle; C – aplicação nas plantas estressadas.

#### 4.5 Manejo de irrigação

Anteriormente a semeadura, os recipientes receberam água até o solo atingir o nível de umidade correspondente ao da capacidade de campo, constatado pelo início da drenagem, indicando a saturação do solo. Após a emergência das plântulas, as irrigações foram realizadas diariamente, no período da manhã, aplicando-se em cada lisímetro (bacia) o volume de água correspondente à demanda da planta no período, conforme o tratamento. O volume aplicado em cada evento de irrigação foi estimado por meio de balanço hídrico, tomando-se como base os termos da Eq. 2

$$CH = Va - Vd \quad (\text{Eq.2})$$

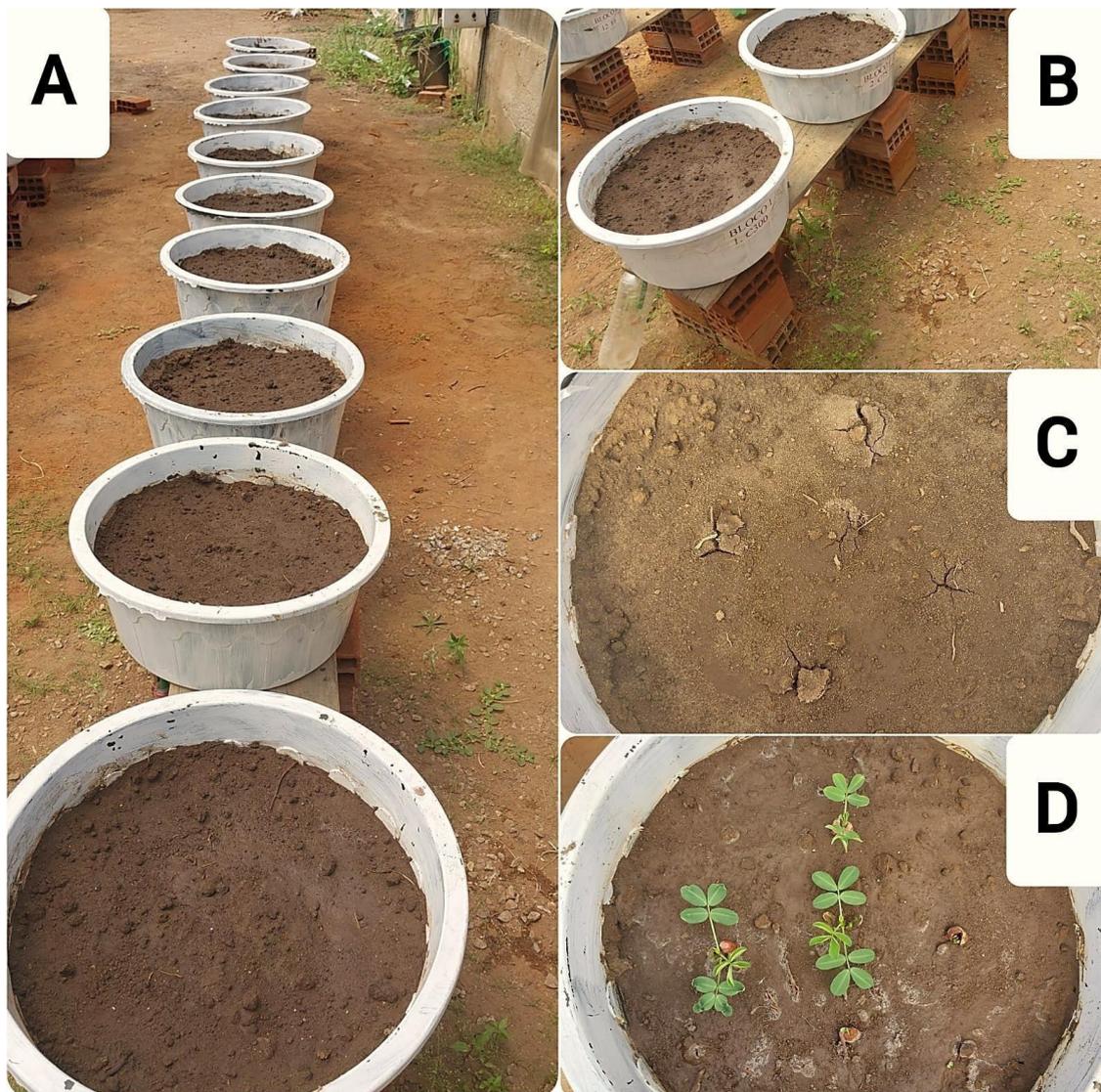
Onde:

CH = Consumo hídrico

$V_a$  = volume de água aplicado às plantas no dia anterior (mL)

$V_d$  = volume drenado, quantificado na manhã do dia seguinte (mL)

O volume de água drenado do dia anterior era utilizado novamente na irrigação, com objetivo de aproveitar os nutrientes que por ventura fossem lixiviados do solo.

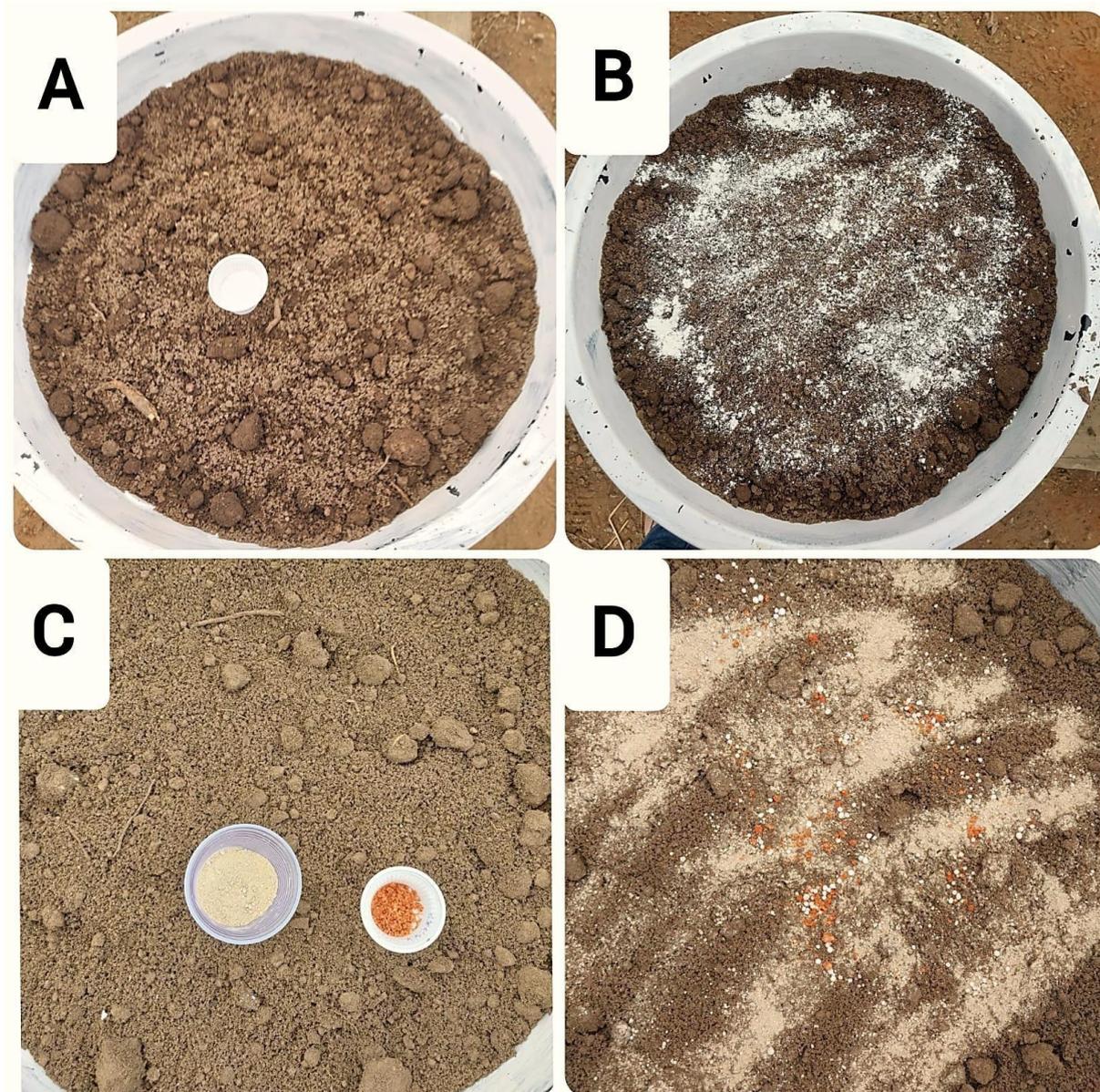


**Figura 5.** Manejo da irrigação. A + B – irrigação realizada até atingir a capacidade de campo; C e D – irrigações diárias após a emergência das plântulas.

#### 4.6 Adubação

Aos 60 dias antes da semeadura, foi realizado uma correção de solo com aplicação de gesso, sendo aplicado 6,29 g por parcela experimental, visando fornecer nutrientes ao solo como cálcio e enxofre, bem como, reduzir a toxidez de alumínio no solo.

A adubação com NPK foi realizada conforme recomendações para ensaios em vasos (Novais et al. 1991), aplicando-se as quantidades de 100, 300 e 150 mg dm<sup>-3</sup> de solo de N, P e K, respectivamente, nas formas de ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio. Em fundação, foi aplicada apenas fósforo, e as adubações com N e K foram realizadas em cobertura, parceladas em duas vezes, aos 10 e 20 DAE.



**Figura 6.** Correção e adubação do solo. A – gesso; B – aplicação do gesso no solo; C – superfosfato simples + cloreto de potássio; D – aplicação da adubação no solo.

#### 4.7 Tratos culturais

Cinco dias após a emergência das plantas foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta por bacia, a de melhor vigor. Ao decorrer do experimento, a cultura foi mantida

livre de plantas daninhas, eliminando manualmente, as que por ventura apareciam. Além disso, foi realizado tratos fitossanitários preconizados para a cultura do amendoim, monitorando o surgimento de pragas e doenças, adotando medidas de controle, sendo utilizado calda de manjerição e calda de fumo.

#### **4.8 Parâmetros, variáveis e atributos analisados**

##### **4.8.1 Parâmetros de trocas gasosas**

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas ao final do período da restrição hídrica aos 29 DAE, no período da manhã entre 7:30 e 10:00 horas, utilizando o equipamento IRGA (Infra Red Gas Analyzer), analisador portátil da fotossíntese (modelo LCpro-SD), sem fonte artificial de carbono e com fonte luminosa artificial de  $1.200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{m}^{-1}$ . Foram mensurados os seguintes parâmetros: condutância estomática (gs) ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração (E) ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  (A) ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e concentração interna de  $\text{CO}_2$  (Ci) ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$ ), e, a partir desses dados, foram calculadas a eficiência instantânea da carboxilação (EiC), pela relação A/Ci, e a eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), a partir da relação A/gs (KORAND et al., 2005; MAGALHÃES FILHO et al., 2008).



**Figura 7.** Avaliação do IRGA ao final do período de estresse hídrico em plantas de amendoim cv. IAC Caiapó.

#### 4.8.2 Pigmentos fotossintéticos

Para determinação do conteúdo de clorofila a, b, total e carotenoides, aos 28 DAE, foram coletadas amostras foliares na parte central do limbo foliar e, posteriormente, encaminhadas ao Laboratório de Fisiologia Vegetal, pertencente a Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande, para quantificação desses teores.

Os discos foram acondicionados em tubos de vidros protegidos com papel alumínio contendo 6 mL de acetona 80% e mantidos no escuro em refrigerador durante 48 h. Logo após, foi coletado o sobrenadante contendo os pigmentos extraídos e realizadas as leituras de absorvância em espectrofotômetro (modelo UV/VIS-UV1720, AKSON®, São Leopoldo, RS, Brasil), nos comprimentos de onda de 470, 645 e 663 nm. A partir dessas leituras foram calculados o conteúdo de clorofila a, b, total e os carotenoides, pelas equações (3, 4 e 5) propostas por Arnon (1949) e Lichtenthaler (1987). Os valores foram expressos em µg de pigmento por grama de massa fresca.

$$\text{Clorofila a} = \frac{((12,7 \times A_{663}) - (2,79 \times A_{647})) \times V}{MF}$$

(Eq. 4)

$$\text{Clorofila b} = \frac{((22,9 \times A_{647}) - (5,10 \times A_{663})) \times V}{MF}$$

(Eq. 5)

$$\text{Carotenoides} = \frac{(((1000 \times A_{470}) - (1,82 \times \text{Chl a}) - (85,02 \times \text{Chl b}))/198) \times V}{MF}$$

(Eq. 6)

Em que:

$A_{470}$ ,  $A_{663}$  e  $A_{647}$  - são as absorvâncias em 480, 663 e 645 nm, respectivamente

V - Volume de acetona a 80% utilizado na extração (mL)

MF - Massa fresca do disco (g)

#### 4.8.3 Conteúdo relativo de água

Na avaliação do status hídrico da planta foi determinado o conteúdo relativo de água (CRA) no limbo foliar usando 6 discos foliares. Imediatamente após a coleta, os discos foram pesados, evitando perdas de umidade, gerando os valores de massa fresca (MF); em seguida, essas amostras foram colocadas em beckers, imersas em água destilada e acondicionadas por 24 horas. Após este período foi retirado o excesso de água com papel toalha e pesadas, obtendo a massa túrgida (MT), as quais foram levadas à estufa (temperatura  $\approx 65\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  por um período de 72 horas) para obtenção da massa seca (MS). A determinação do CRA foi determinada de acordo com a metodologia de Lima et al. (2015) utilizando-se da Eq. 3.

$$\text{CRA (\%)} = \frac{Mf - Ms}{Mt - Ms} * 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

Mf = massa fresca (g)

Ms = massa seca (g)

Mt = massa túrgida (g)



**Figura 8.** Determinação do conteúdo relativo de água ao final do estresse hídrico em plantas de amendoim cv. IAC Caiapó.

#### 4.8.4 Extravasamento de eletrólitos

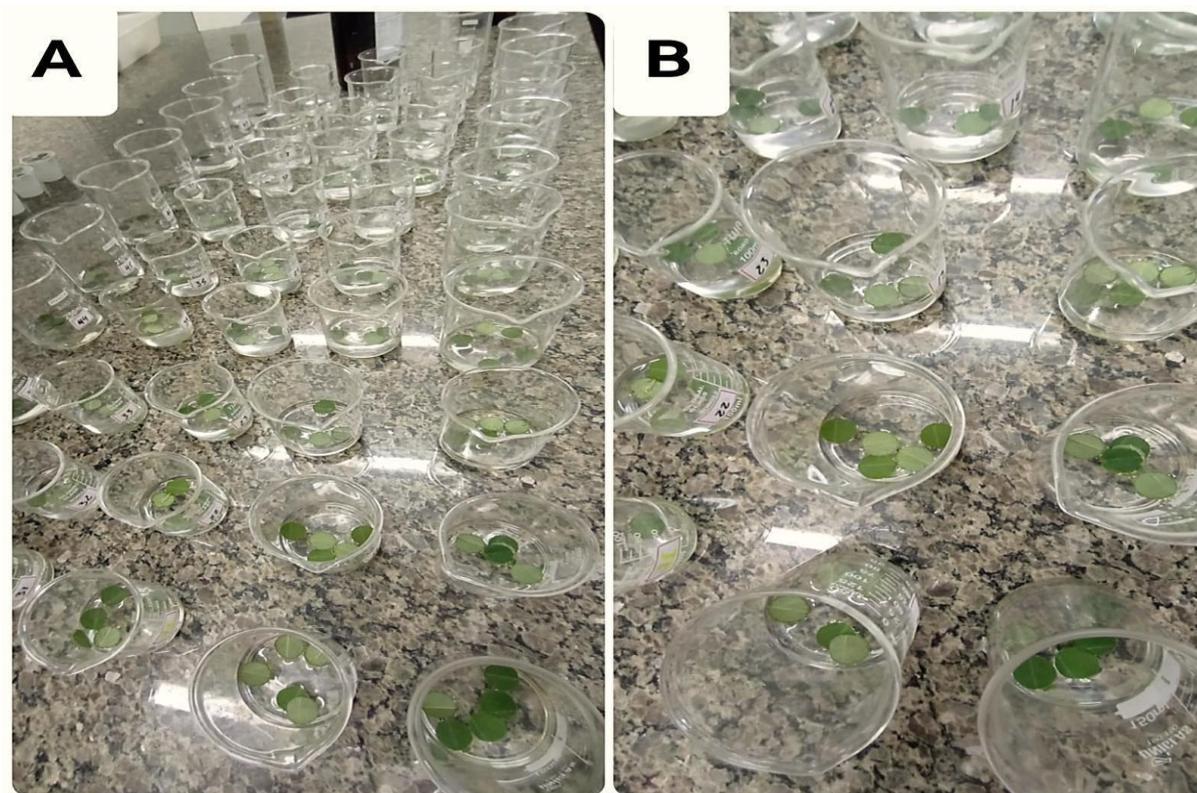
Após o fim do estresse, foram retirados cinco discos foliares (113 mm<sup>2</sup>), os quais foram colocados em beakers com 50 mL de água destilada, deixando-os submersos por 24 horas em temperatura ambiente (os beakers fechados com papel alumínio). Transcorrido esse tempo, foi medido a condutividade elétrica inicial do sistema (C<sub>i</sub>), com auxílio de um condutímetro de bancada. Em seguida, foi levado os beakers fechados à estufa com temperatura de 90 °C por 90 min. Então, foi medido a condutividade elétrica final (C<sub>f</sub>). O extravasamento de eletrólitos foi quantificado por meio da equação 4 e expresso em porcentagem (BRITO et al., 2011).

$$EE = \frac{C_i}{C_f} * 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

C<sub>i</sub> = condutividade elétrica inicial

C<sub>f</sub> = condutividade elétrica final



**Figura 9.** Quantificação do extravasamento de eletrólitos ao final do período estresse hídrico em plantas de amendoim cv. IAC Caiapó.

#### 4.8.5 Variáveis de crescimento

No final do estresse foi avaliado a altura da haste principal (AHP) e o número de folhas (NF).

A altura da haste principal foi mensurada em cm, com o auxílio de uma régua, medindo-se da base até o ápice da haste principal da planta.

#### **4.8.6 Temperatura do dossel foliar**

A temperatura do dossel foliar foi realizada aos 28 DAE, aferida com auxílio de um termômetro Mult Temp, portátil, com faixa de temperatura de -60 °C a 500 °C, emissividade de 0,95 fixo, tempo de resposta de 1 segundo e diâmetro do raio de leitura de 12:1.

#### **4.8.7 Análise estatística**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade (Shapiro-wilk) para, em seguida, serem submetidos análise de variância ( $p \leq 0,05$ ). Nos casos de significância, foi aplicado a regressão polinomial linear e quadrática para as concentrações de ácido pirúvico, utilizando-se do software estatístico SISVAR (Ferreira, 2019).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Trocas gasosas

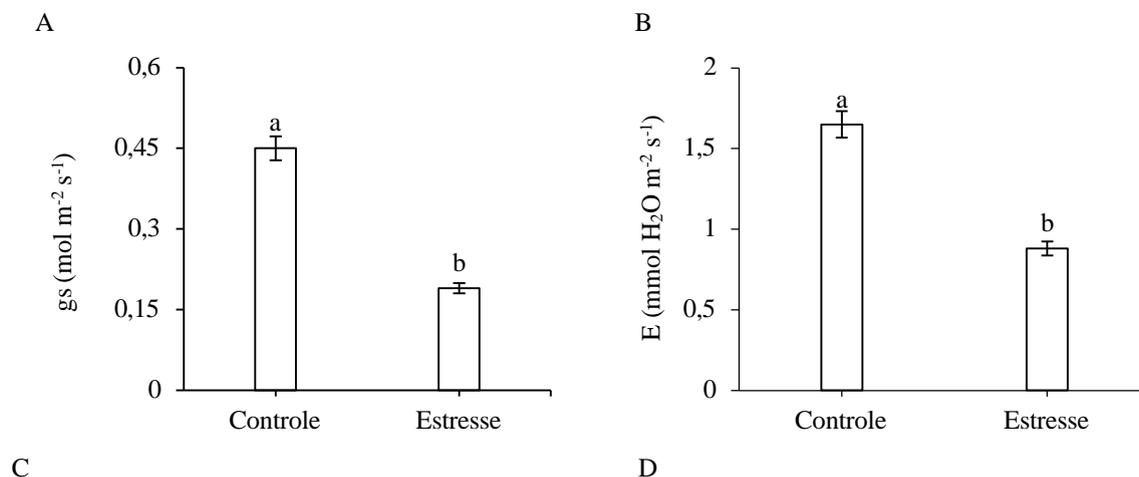
Ao final do estresse hídrico, houve efeito significativo da interação entre os fatores (CH x P) apenas para a concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*). Quando estudado os fatores isolados, foi verificado efeito significativo para condição hídrica sobre condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*) e eficiência instantânea da carboxilação (*A/Ci*). Em relação as aplicações de ácido pirúvico, observa-se efeito significativo na transpiração (*E*), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*) e eficiência instantânea da carboxilação (*A/Ci*) (Tabela 3).

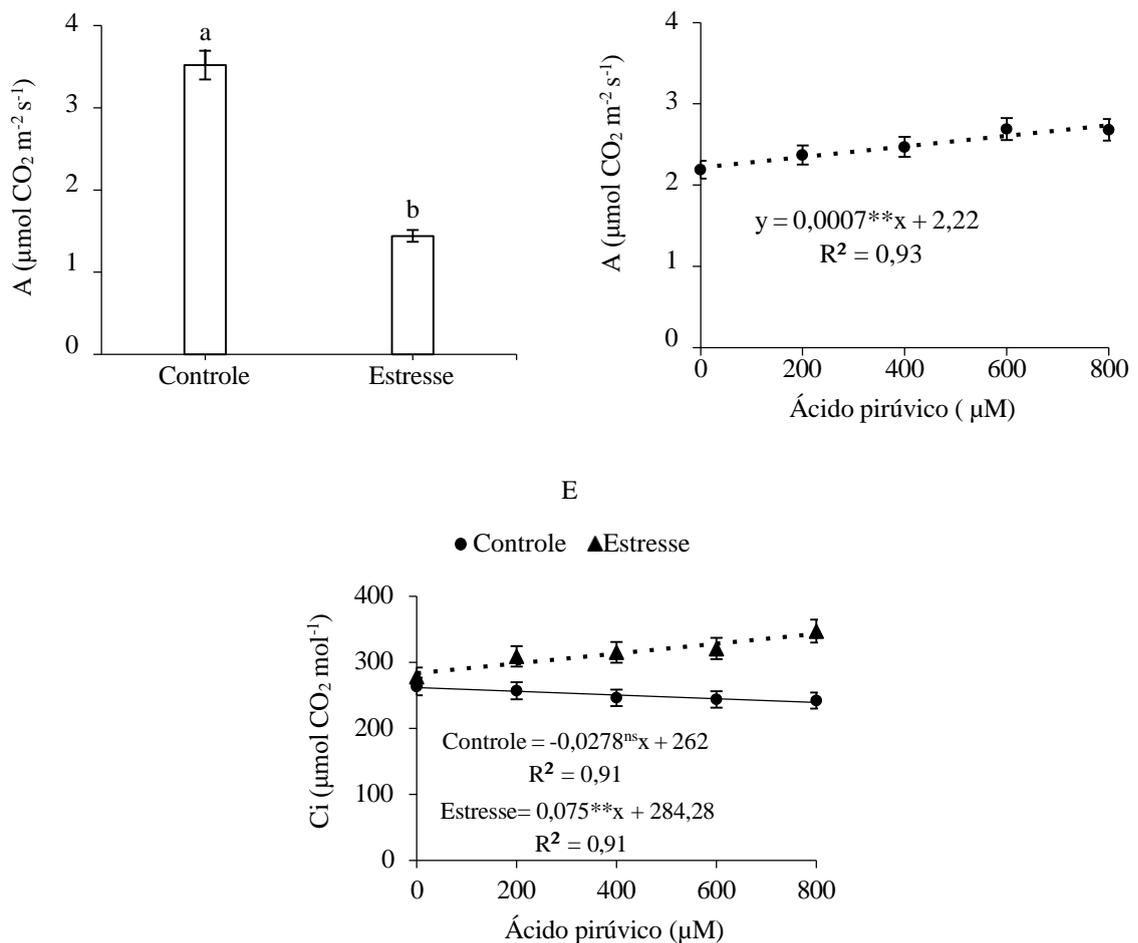
**Tabela 3.** Condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*), Taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), eficiência instantânea da carboxilação (*A/Ci*) e eficiência intrínseca do uso da água (*A/g<sub>s</sub>*) em plantas de amendoim submetidas a déficit hídrico e aplicação foliar com ácido pirúvico na fase de florescimento.

FV	GL	Quadrado médio					
		<i>gs</i> <sup>1</sup>	<i>E</i> <sup>1</sup>	<i>Ci</i>	<i>A</i> <sup>1</sup>	<i>A/Ci</i> <sup>1</sup>	<i>A/g<sub>s</sub></i> <sup>1</sup>
C. Hídrica (CH)	1	0,859**	7,313**	50307,9**	58,81**	0,197**	0,307 <sup>ns</sup>
Piruvato (P)	4	0,0018 <sup>ns</sup>	0,061**	726,95 <sup>ns</sup>	0,444**	0,002**	0,647 <sup>ns</sup>
Reg. linear	1	0,007 <sup>ns</sup>	0,230**	2227,84 <sup>ns</sup>	1,672**	0,007**	1,507 <sup>ns</sup>
Reg. quadrática	1	0,00005 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	7,31 <sup>ns</sup>	0,043 <sup>ns</sup>	0,0007 <sup>ns</sup>	0,077 <sup>ns</sup>
Int. CH x P	4	0,0003 <sup>ns</sup>	0,004 <sup>ns</sup>	2781,67**	0,075 <sup>ns</sup>	0,0008 <sup>ns</sup>	1,197 <sup>ns</sup>
Bloco	4	0,0013 <sup>ns</sup>	0,017 <sup>ns</sup>	1182,5 <sup>ns</sup>	0,022 <sup>ns</sup>	0,0005 <sup>ns</sup>	2,256 <sup>ns</sup>
Resíduo	36	0,0018	0,008	635,09	0,054	0,0004	1,498
CV (%)		13,12	7,34	8,92	9,41	12,79	15,83

Fv- fonte de variação; GL – grau de liberdade; CV- coeficiente de variação; <sup>1</sup> dados transformados em  $\sqrt{x}$ ; \*\*, \*, <sup>ns</sup>, dados significativos a 0,01; 0,5 e não significativos respectivamente pelo teste F.

As plantas de amendoim submetidas ao estresse hídrico, apresentaram uma redução de 57,78% na condutância estomática (*gs*) e de 46,67% na taxa de transpiração (*E*) em relação às plantas do controle (Figura 10A e B). Quanto à concentração interna de CO<sub>2</sub>, observou-se um aumento nas plantas estressadas com o incremento das concentrações de ácido pirúvico. Por outro lado, nas plantas do controle, não foi detectado efeito significativo dessa variável (Figura 10E).





**Figura 10.** Condutância estomática (gs), transpiração (E) e taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  (A) em função da condição hídrica (A, B e C). Taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  (A) em função da aplicação via foliar de ácido pirúvico (D). Concentração interna de  $\text{CO}_2$  (Ci) em função do desdobramento da interação entre a condição hídrica e aplicação via foliar de ácido pirúvico em plantas de amendoim aos 12 dias após a suspensão da irrigação (E). Letras diferentes nas barras, diferem entre si pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ). \*\*, \* e <sup>ns</sup>, significativo a 0,001; 0,05 e não significativo, respectivamente para regressão linear.

Tal redução na condutância estomática e transpiração representam uma estratégia adaptativa das plantas ao estresse hídrico. Em condições adversas, as plantas tendem a fechar seus estômatos como mecanismo de defesa (LI et al., 2022). Isso faz com que diminua a perda de água por meio da transpiração, reduzindo o risco de desidratação. Barbosa et al. (2021), ao avaliarem os efeitos do estresse hídrico em plantas de amendoim (cv. IAC Caiapó), observaram redução na gs e E, em função do estresse hídrico, comprovando a sensibilidade deste cultivar a falta de água.

Os estômatos são formados por um par de células guarda, que controlam a troca de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e vapor de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) entre as folhas e atmosfera, ajustando a

abertura e fechamento estomático através de mudanças na pressão de turgor das células guarda, depois que as plantas detectam sinais ambientais, como umidade, concentração de CO<sub>2</sub> e luz (LIN et al., 2022; LIU et al., 2022).

Apesar do fechamento estomático ser uma estratégia que a planta utiliza para evitar a perda de água excessiva, essa medida reduz a transpiração e a entrada de CO<sub>2</sub> na célula, afetando diretamente a taxa fotossintética e a eficiência instantânea da carboxilação, pois esses fatores estão correlacionados (OLIVEIRA et al., 2005; DIAS et al., 2023).

Dessa forma, os resultados observados na concentração interna de CO<sub>2</sub> acontece devido a dois fatores: fechamento estomático e papel do ácido pirúvico no metabolismo celular. Em condições normais, o efeito do ácido pirúvico é menos evidente, visto que os níveis de CO<sub>2</sub> e o metabolismo fotossintético funcionam normalmente, uma vez que, os estômatos estão abertos, permitindo assim a entrada de dióxido de carbono essencial para fotossíntese sem a necessidade de estímulos metabólicos.

Por outro lado, nas plantas estressadas, a suplementação de ácido pirúvico atuou como um intermediário essencial para o metabolismo energético, possivelmente ao estimular vias metabólicas associadas à fotossíntese, permitindo uma maior assimilação de carbono, reduzindo as perdas de água por meio da regulação estomática, ajudando a mitigar os efeitos do estresse e promover uma taxa fotossintética mais eficiente (PEIXOTO, 2020).

Ainda carece de estudos científicos sobre as funções que o piruvato exerce ao ser aplicado em plantas. Pesquisas desenvolvidas com o uso de piruvato foram encontradas por Barbosa et al. (2021), ao identificarem o efeito benéfico do ácido pirúvico em plantas de amendoim submetidos ao estresse hídrico com suplementação de ácido pirúvico, tendo na concentração de 50.000 µM uma ação na eficiência estomática, melhorando a fotossíntese da IAC Caiapó. Dias et al. (2024), ao avaliarem a morfofisiologia de genótipos de algodão com a suplementação de piruvato via pré-embebição de sementes, obterão uma maior taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> na concentração de 11 mM.

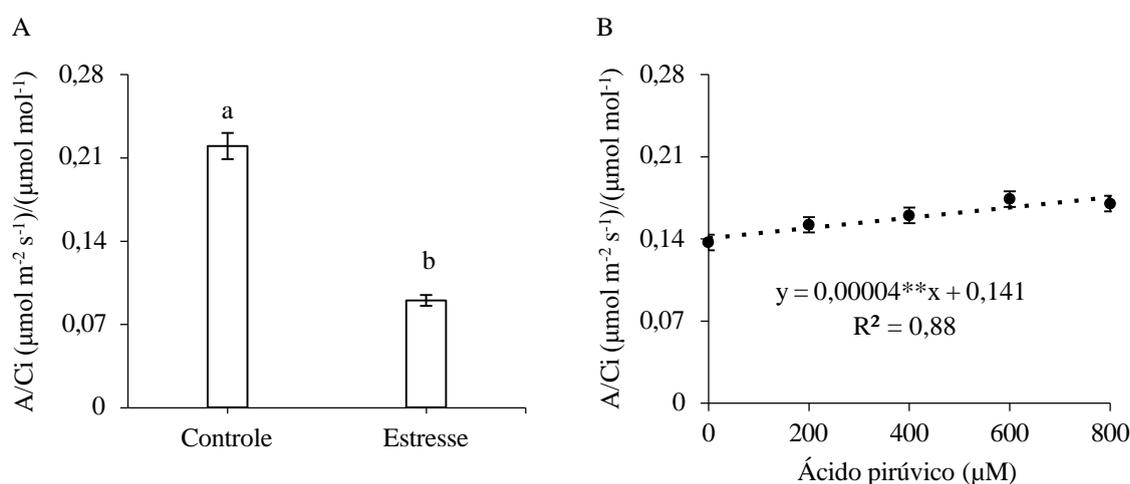
A taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A), foi influenciada pelos dois fatores de forma isolada. Em termos de condição hídrica, o estresse reduziu 59,1% a capacidade das plantas de assimilar CO<sub>2</sub>, quando relacionado com as plantas do controle, indicando que a falta de água prejudica fotossíntese (Figura 10C). Esse efeito pode ser atribuído ao fechamento estomático, que limita a entrada de dióxido de carbono, resultando em uma menor taxa de assimilação.

A aplicação de ácido pirúvico aliviou os sintomas causados pelo estresse, tendo uma melhor fixação de carbono (Figura 10D). Isso pode ser explicado devido ao piruvato desempenhar um papel na respiração celular, que ao ser suplementado fornece moléculas

energéticas (ATP), fundamental para o ciclo de Calvin e para regeneração de ribulose-1,5-bifosfato, aumentando a taxa fotossintética (TAIZ et al., 2017).

Esses resultados corroboram com os obtidos por Liu et al. (2023), ao avaliarem os efeitos de estresses abióticos (salinidade, seca e frio) sobre a fisiologia e crescimento de plantas de amendoim, observaram redução de 42,72% na fotossíntese sob condições de limitação hídrica, em comparação ao controle. No entanto, os mesmos autores quando inocularam as plantas com fungos micorrízicos, houve aumento de 47,37%, comprovando que o uso de estratégias para mitigar os efeitos causados pela falta de água é uma alternativa promissora para amenizar os danos em plantas de amendoim.

Aos 12 dias após a suspensão da irrigação, a eficiência instantânea da carboxilação (A/Ci) das plantas submetidas ao estresse hídrico, apresentaram uma redução de 0,09 [ $(\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$ ], o que representa uma queda de 40,91% em comparação com as plantas do controle (0,22 [ $(\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$ ]) (Figura 11A). Esse efeito acontece porque o estresse compromete a abertura dos estômatos, reduzindo a entrada de  $\text{CO}_2$  na folha e, conseqüentemente, a disponibilidade desse gás para a assimilação de carbono. Além disso, a limitação de água causa alterações no metabolismo fotossintético, que afeta a capacidade de fixação de carbono nos cloroplastos, resultando em uma menor eficiência da carboxilação. Dutra et al. (2015), ao investigarem os efeitos nas trocas gasosas e nos componentes de produção do feijão-caupi sob diferentes níveis de deficiência hídrica, observaram uma redução de 25% na eficiência instantânea da carboxilação na cultivar BRS Marataoã.



**Figura 11.** Eficiência instantânea da carboxilação (A/Ci) em função da condição hídrica (A) e da aplicação via foliar de ácido pirúvico (B) em plantas de amendoim aos 12 dias após a suspensão da irrigação. Letras diferentes nas barras, diferem entre si pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ). \*\* significativo a 0,001 para regressão linear.

De maneira semelhante ao observado na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, a suplementação com ácido pirúvico promoveu um aumento na eficiência instantânea da carboxilação (A/Ci) à medida que as concentrações do ácido foram incrementadas (Figura 11B). Esse resultado indica que o ácido pirúvico contribuiu para melhorar o aproveitamento do CO<sub>2</sub> interno pelas plantas, possivelmente devido à intensificação do metabolismo energético, o que favoreceu a eficiência no processo de fixação de carbono e, conseqüentemente, a fotossíntese.

## 5.2 Teores de pigmentos fotossintéticos, conteúdo relativo de água e extravasamento de eletrólitos

Através do resumo da análise de variância, ao final do estresse hídrico, verificou-se efeito significativo entre a condição hídrica, sobre a Clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b), clorofila total (Chl t), carotenoides (Car), conteúdo relativo de água (CRA) e extravasamento de eletrólitos (EE). Em termos de aplicação via foliar de ácido pirúvico, apenas a clorofila b (Chl b) e clorofila total (Chl t) foram significativas. Não houve efeito significativo da interação entre condição hídrica vs aplicação de ácido pirúvico (Tabela 4).

**Tabela 4.** Clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b), clorofila total (Chl t), carotenoides (Car), conteúdo relativo de água na folha (CRA) e extravasamento de eletrólitos (EE) em plantas de amendoim submetidas ao estresse hídrico e aplicação via foliar de ácido pirúvico.

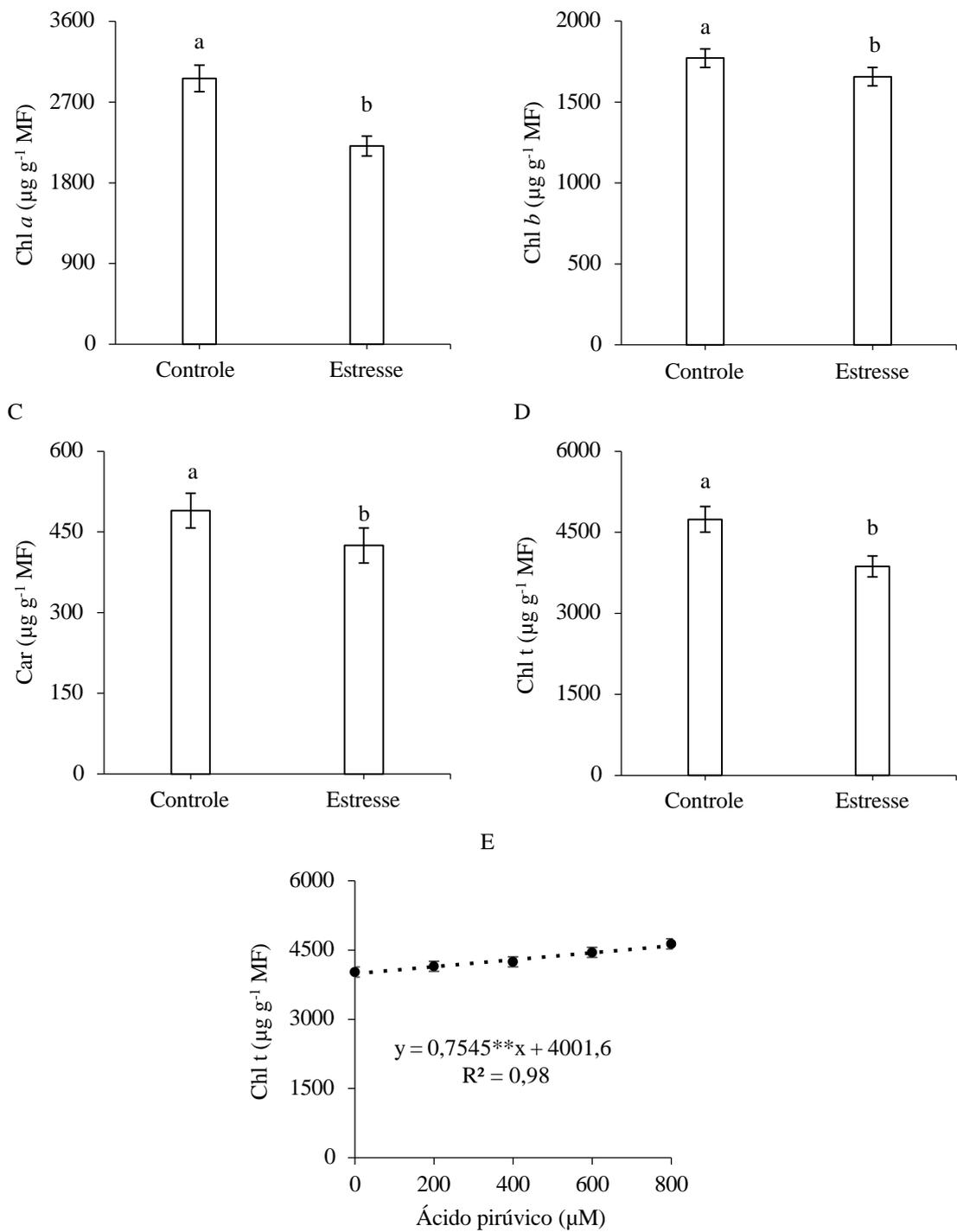
FV	GL	Quadrado médio					
		Chl a	Chl b	Chl t	Car	CRA	EE
C, Hídrica (CH)	1	7093072,8**	164813,7*	9420317,3**	52488,0**	19023,0**	90,9*
Piruvato (P)	4	152015,6 <sup>ns</sup>	146095,4*	580646,1**	3733,5 <sup>ns</sup>	78,2 <sup>ns</sup>	2,01 <sup>ns</sup>
Reg, linear	1	605887,8 <sup>ns</sup>	533763,2**	2277023,6**	12751,3 <sup>ns</sup>	259,4 <sup>ns</sup>	1,65 <sup>ns</sup>
Reg, quadrática	1	684,56 <sup>ns</sup>	46784,0 <sup>ns</sup>	36148,1 <sup>ns</sup>	311,9 <sup>ns</sup>	48,2 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>
Int, CH x P	4	11618,5 <sup>ns</sup>	809,63 <sup>ns</sup>	10088,5 <sup>ns</sup>	49,47 <sup>ns</sup>	91,16 <sup>ns</sup>	17,5 <sup>ns</sup>
Bloco	4	36235,2 <sup>ns</sup>	47070,9 <sup>ns</sup>	110277,5 <sup>ns</sup>	11729,6 <sup>ns</sup>	38,70 <sup>ns</sup>	9,59 <sup>ns</sup>
Resíduo	36	65399,9	37558,02	109165,0 <sup>ns</sup>	3956,5 <sup>ns</sup>	79,13 <sup>ns</sup>	13,24 <sup>ns</sup>
CV (%)		9,88	11,30	7,68	13,76	17,65	15,52

Fv- fonte de variação; GL – grau de liberdade; CV- coeficiente de variação; \*\*, \*, <sup>ns</sup>, dados significativos a 0,01; 0,5 e não significativos, respectivamente pelo teste F.

As plantas de amendoim submetidas à 10 dias de estresse hídrico, obtiveram reduções consideráveis na clorofila a (25,41%), clorofila b (6,48%), clorofila total (18,33%) e carotenoides (13,23%), quando comparadas com as plantas controle (Figura 12A, B, C e D). Para a aplicação de ácido pirúvico, observou-se aumento de 15,08% nos teores de clorofila total nas plantas que receberam 800 µM de ácido pirúvico em relação as plantas que não foram suplementadas (Figura 12E).

A

B



**Figura 12.** Clorofila a clorofila b, clorofila total e carotenoides em função da condição hídrica (A, B, C e D) e clorofila total em função da aplicação de ácido pirúvico (E) em plantas de amendoim aos 12 dias após a suspensão da irrigação. Letras diferentes nas barras, diferem entre si pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ). \*\*, \* e ns, significativo a 0,001; 0,05 e não significativo, respectivamente para regressão linear.

Os pigmentos fotossintéticos desempenham um papel essencial no processo de fotossíntese das plantas, absorvendo e transmitindo energia solar para a produção de fotoassimilados (PEIXOTO, 2020; VERMA et al., 2021). As reduções dos pigmentos observados no presente estudo, possivelmente, aconteceram devido a fotoinibição causada pelo estresse hídrico, por meio da limitação da entrada de CO<sub>2</sub>, decorrente do fechamento estomático, diminuindo a utilização de energia luminosa na fotossíntese, levando ao acúmulo de energia nos cloroplastos.

A escassez de água causa danos aos cloroplastos, comprometendo sua estrutura e funcionamento, o que resulta em fotoinibição, caracterizada pela redução da eficiência fotossintética, o que diminui a taxa de transporte de elétrons, essencial para a geração de ATP, impactando diretamente a fixação de carbono e os processos metabólicos dependentes da fotossíntese (IZANLOO et al., 2008; BATOOL et al., 2020). Como consequência, a fisiologia das plantas é significativamente afetada, prejudicando seu desenvolvimento e adaptação ao estresse hídrico.

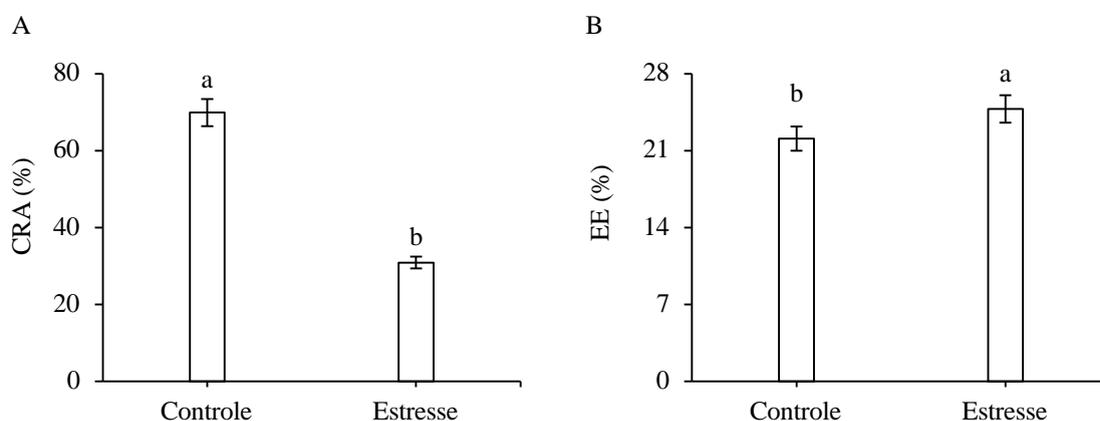
Além disso, o acúmulo de energia causado pelo estresse hídrico leva a danos oxidativos, com o aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), que prejudicam diretamente os pigmentos fotossintéticos (CARVALHO et al., 2003; BASU et al., 2016). Neste estudo, a clorofila a foi o pigmento mais afetado, por ser o principal responsável pela captação de luz e pela condução da fase fotoquímica da fotossíntese, tornando-se mais suscetível à oxidação. Esse impacto pode estar associado à redução na síntese ou degradação dos carotenoides, que atuam como protetores da clorofila contra os danos causados pelo processo de fotooxidação.

Os resultados desta pesquisa estão em concordância com os de Neto et al. (2009), que ao avaliarem o desenvolvimento fisiológico de plantas de sorgo (cv. BR-700) submetidas a estresse hídrico nas fases vegetativa, reprodutiva e de maturação, observaram reduções significativas nos pigmentos fotossintéticos, com registros de 60,7% na clorofila a e 61% na clorofila total, quando estresse hídrico ocorreu na fase de maturação. Esses dados evidenciam o impacto crescente do estresse hídrico sobre a fotossíntese à medida que a planta avança para estágios mais tardios de desenvolvimento.

Silva et al. (2016), ao avaliarem os efeitos do estresse hídrico por 6 e 12 dias em plantas jovens de *Castanha-do-Pará* observaram redução significativa nos níveis de todos os pigmentos fotossintéticos (clorofila a, clorofila b, clorofila total e carotenoides), tendo uma diminuição mais acentuada sob condições de seca severa, devido ao impacto negativo do estresse hídrico na capacidade fotossintética das plantas.

Por outro lado, a suplementação de ácido pirúvico aumentou os níveis de clorofila total em plantas de amendoim sob estresse hídrico, elevando-os de 4028,34  $\mu\text{g g}^{-1}$  MF para 4635,43  $\mu\text{g g}^{-1}$  MF. Esse efeito pode ser atribuído ao seu papel como precursor metabólico essencial, contribuindo para o equilíbrio energético, a síntese de pigmentos fotossintéticos e a redução dos danos oxidativos. Sua aplicação auxiliou na recuperação do metabolismo fotossintético, fortalecendo a eficiência na captação de luz e fortalecendo o desempenho do processo de fotossíntese em condições de estresse.

Ao final do período de estresse, o conteúdo relativo de água na folha (CRA) das plantas submetidas ao estresse hídrico, teve redução de 55,81% em comparação com as plantas controle (Figura 13A). O CRA é um indicador do estado hídrico das plantas, pois fornece uma estimativa dos efeitos causados pela limitação de água sobre as células, permitindo avaliar seu grau de adaptação e resiliência a ambientes adversos (TAIZ et al., 2017; BARBOSA et al., 2021).



**Figura 13.** Conteúdo relativo de água (CRA) e extravasamento de eletrólitos (B) em função da condição hídrica em plantas de amendoim aos 12 dias após a suspensão da irrigação. Letras diferentes nas barras, diferem entre si pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ).

Dessa forma, o resultado obtido na pesquisa acontece devido a diminuição da disponibilidade de água no solo e à dificuldade das plantas em absorver quantidade suficiente para compensar as perdas por transpiração. Essa limitação hídrica reduz a pressão de turgescência, fundamental para preservar a rigidez celular e garantir o funcionamento adequado dos tecidos. Como consequência, ocorrem prejuízos diretos ao metabolismo, à fotossíntese e à produtividade das plantas, refletindo o impacto negativo do estresse hídrico em seus processos fisiológicos.

Corroborando com os resultados obtidos nessa pesquisa, Liu et al. (2023), observaram redução de 27,21% do conteúdo relativo de água nas plantas de amendoim submetidas ao estresse hídrico. De forma complementar, Elshamly et al. (2024) investigaram os impactos da seca em plantas de amendoim sob diferentes níveis de irrigação (100%, 75%, 50% e 25% da necessidade hídrica das plantas), revelando um impacto negativo significativo no CRA quando apenas 25% da água requerida foi disponibilizada.

O extravasamento de eletrólitos em plantas sob estresse hídrico, teve aumento de 12,22% em relação às plantas controle (Figura 13B). Isso ocorre, possivelmente, devido à danos na integridade das membranas celulares, provocados pela desidratação que acontece com a limitação de água. A redução da pressão de turgescência compromete a estabilidade das membranas, tornando-as mais permeáveis (SHANKAR; PRASAD, 2023). Além disso, o estresse hídrico intensifica a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), que causam danos oxidativos adicionais às membranas, agravando o vazamento de íons e refletindo o impacto cumulativo do estresse.

Shankar e Prasad (2023), ao avaliarem estratégias para mitigar os efeitos do estresse hídrico em plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.), observaram aumento de 19% no extravasamento de eletrólitos nas plantas submetidas a estresse hídrico, em comparação com aquelas tratadas com estresse associado à inoculação bacteriana.

### 5.3 Temperatura do dossel e variáveis de crescimento

Pelo resumo da análise de variância (Tabela 5), constata-se efeito significativo da condição hídrica sobre temperatura do dossel foliar (TDF), altura da haste principal (AHP) e número de folhas (NF). Para aplicação de ácido pirúvico apenas o número de folhas (NF) foi influenciado de forma significativa. Em termos de interação entre os fatores em estudo, não houve efeito significativo.

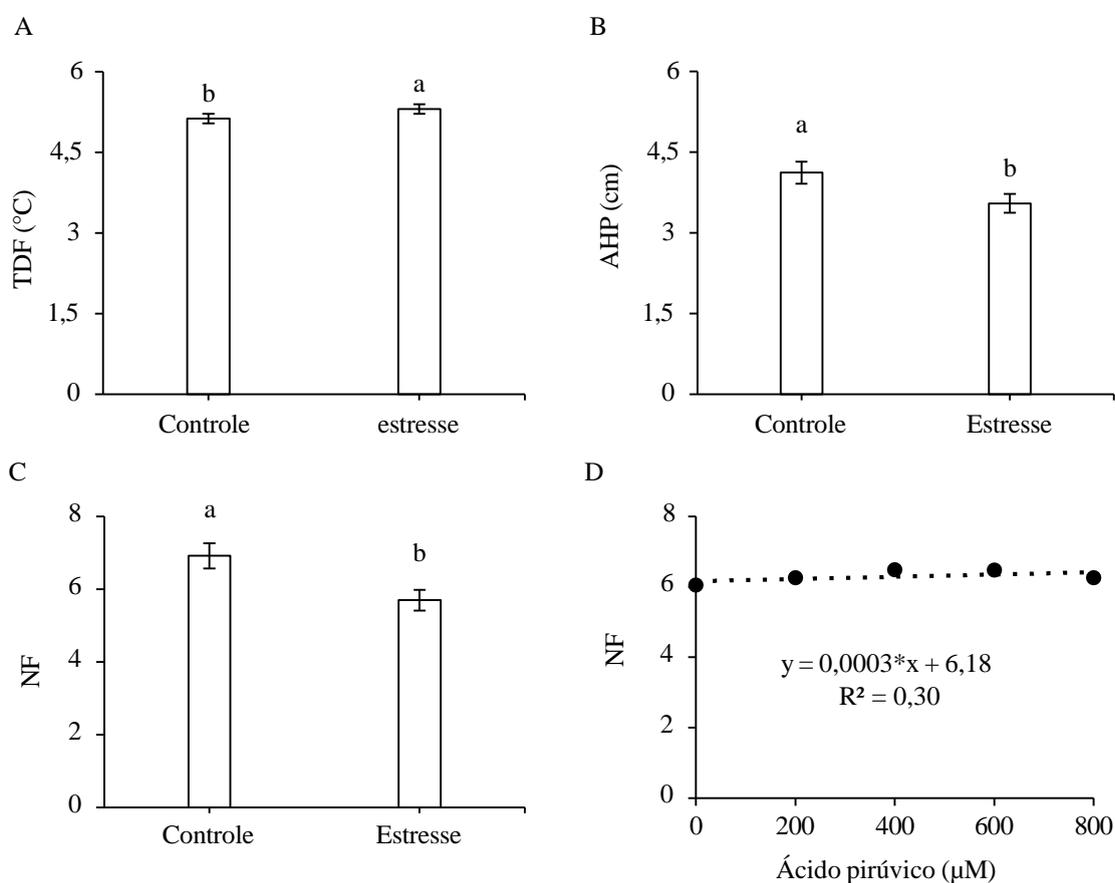
**Tabela 5.** Temperatura do dossel foliar (TDF), altura da haste principal (AHP) e número de folhas de plantas de amendoim submetidas a déficit hídrico e aplicação foliar com ácido pirúvico na fase de florescimento

FV	GL	Quadrado médio		
		TDF <sup>1</sup>	AHP <sup>1</sup>	NF <sup>1</sup>
C. Hídrica (CH)	1	0,427**	4,104**	18,392**
Piruvato (P)	4	0,066 <sup>ns</sup>	0,044 <sup>ns</sup>	0,336*
Reg. linear	1	0,032 <sup>ns</sup>	0,0185 <sup>ns</sup>	0,414*
Reg. quadrática	1	0,157 <sup>ns</sup>	0,1074 <sup>ns</sup>	0,858*
Int, CH x P	4	0,032 <sup>ns</sup>	0,065 <sup>ns</sup>	0,177 <sup>ns</sup>
Bloco	4	0,0131 <sup>ns</sup>	0,1934 <sup>ns</sup>	0,020 <sup>ns</sup>
Resíduo	36	0,0298	0,0616	0,120
CV (%)		3,31	6,47	5,49

Fv- fonte de variação; GL – grau de liberdade; CV- coeficiente de variação; <sup>1</sup> dados transformados em  $\sqrt{x}$ ; \*\*, \*, ns, dados significativos a 0,01; 0,5 e não significativos respectivamente pelo teste F.

A temperatura do dossel foliar (TDF) das plantas de amendoim submetidas ao estresse hídrico apresentou um aumento de 3,5% em relação às plantas do controle (Figura 14A). Isso pode ser atribuído ao fechamento dos estômatos, que é uma estratégia adaptativa da planta em condições de limitação hídrica, o que causa redução significativa da transpiração, principal mecanismo de resfriamento das folhas, resultando em um acúmulo de calor.

Resultados semelhantes foram relatados por Feitosa et al. (2016), que avaliaram os efeitos do estresse hídrico em plantas de gergelim e observaram um aumento na temperatura foliar em condições de seca, quando comparado ao tratamento de estresse com uso de ácido salicílico. Da mesma forma, Nascimento et al. (2011) constataram que a redução da lâmina de irrigação de 300 mm para 190 mm em plantas de feijão, provocou um aumento de 11% na temperatura foliar.



**Figura 14.** Temperatura do dossel foliar, altura da haste principal e número de folhas em função da condição hídrica (A, B e C) e número de folha em função da aplicação de ácido pirúvico via foliar (D) em plantas de amendoim aos 12 dias após a suspensão da irrigação.

As análises de crescimento permitem avaliar o desenvolvimento da planta, fornecendo dados que possibilitam inferir sua atividade fisiológica, possibilitando identificar e estimar as causas de suas variações, sejam elas decorrentes de diferenças genéticas ou de condições ambientais (PEIXOTO, 2020).

No presente estudo, observa-se redução de 13,84% na altura da haste principal (AHP) e 17,63% no número de folhas (NF) das plantas sob estresse hídrico em comparação com as plantas controle (Figura 14B e 14C). O número de folhas também foi influenciado pela suplementação de piruvato, observa-se que a medida que elevou-se as concentrações de ácido pirúvico, houve incremento no número de folhas do amendoim. (Figura 14D).

As reduções constatadas nesta pesquisa podem ser atribuídas a uma menor turgescência celular, causada pelo estresse hídrico, no qual limita a expansão e o crescimento das células (TAIZ et al., 2017). Dessa forma, a diminuição da emissão de folhas e da altura da haste principal contribui para reduzir a perda de água por meio da transpiração, ajudando a preservar os recursos hídricos para enfrentar períodos de seca.

Os resultados deste estudo estão em concordância com os de Dias et al. (2019), que, ao avaliar diferentes lâminas de irrigação na cultura do amendoim, observaram uma redução significativa no número de folhas, especialmente nas lâminas correspondentes a 50% e 75% da evapotranspiração da cultura, com diminuições de 254 e 374 folhas, respectivamente. De maneira semelhante, Barbosa et al. (2023), ao analisar os efeitos do estresse hídrico e salino na fisiologia e no crescimento de plantas de amendoim, identificaram uma redução na altura das plantas sob condições de déficit hídrico, evidenciando o impacto negativo da seca.

A suplementação com ácido pirúvico mitigou os efeitos do estresse hídrico em plantas de amendoim, promovendo um leve aumento na emissão de folhas. Esse efeito pode estar relacionado ao papel central do ácido pirúvico no metabolismo energético, ao atuar na glicólise e no ciclo de Krebs, gerando ATP e precursores metabólicos essenciais para a divisão e expansão celular, mesmo em condições adversas (TAIZ et al., 2017).

## 6 CONCLUSÕES

O estresse hídrico na fase vegetativa reduziu as variáveis de crescimento, os parâmetros das trocas gasosas e os teores de pigmentos fotossintéticos das plantas de amendoim rasteiro (cv. IAC Caiapó).

A suplementação via foliar de ácido pirúvico, na concentração de 800  $\mu\text{M}$ , demonstrou eficácia em mitigar os efeitos causados pelo estresse hídrico, melhorando indicadores como número de folhas, taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ , eficiência instantânea da carboxilação e clorofila total de plantas de amendoim rasteiro (cv. IAC Caiapó).

Além disso, a aplicação de ácido pirúvico também contribuiu para aliviar os danos relacionados à concentração interna de  $\text{CO}_2$ , promovendo uma recuperação do metabolismo fotossintético comprometido pelo estresse hídrico em plantas de amendoim rasteiro (cv. IAC Caiapó).

## LITERATURA CITADA

ARAÚJO, S. A. C.; VASQUEZ, H. M.; CAMPOSTRINI, E.; NETTO, A. T.; DEMINICIS, B. B.; LIMA, E. S. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), em estresse hídrico. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 32, n. 1, p. 1-7, 2010.

ARCHANA, T.; RAJENDRAN, L.; MANORANJITHAM, S. K.; KRISHNAN, V. P. S.; PARAMASIVAN, M.; KARTHIKEYAN, G. Culture-dependent analysis of seed bacterial endophyte, *Pseudomonas* spp. EGN 1 against the stem rot disease (*Sclerotium rolfsii* Sacc.) in groundnut. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 30, p. 1-13, 2020.

ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant physiology**, v.24, p.1, 1949.

AZARIN, K.; USATOV, A.; MINKINA, T.; DUPLII, N.; FEDORENKO, A.; PLOTNIKOV, A.; MANDZHIEVA, S.; KUMAR, R.; YONG, J. W. H.; SEHAR, S.; RAJPUT, V. D. Evaluating the phytotoxicological effects of bulk and nano forms of zinc oxide on cellular respiration-related indices and differential gene expression in *Hordeum vulgare* L. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 282, p. 116670, 2024.

BARBOSA, A. S.; FREIRE, M. H. C.; CAMBISSA, P. B. C.; RIBEIRO, R. M. R.; BALDÉ, B.; SOUSA, G. G. Estresse salino e hídrico na cultura do amendoim. **INOVAGRI Meeting Virtual**, 2020.

BARBOSA, A. S.; SOUSA, G. G.; FREIRE, M. H. C.; LEITE, K. N.; SILVA, F. D. B.; VIANA, T. V. A. Gas exchange and growth of peanut crop subjected to saline and water stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 557-563, 2022.

BARBOSA, A. S.; SOUSA, G. G.; FREIRE, M. H. C.; LEITE, K. N.; SILVA, F. D. B.; VIANA, T. V. A. Gas exchange and growth of peanut crop subjected to saline and water stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 8, p. 557-563, 2022.

BARBOSA, D. D.; FERNANDES, P. D.; MARCELINO, A. D. A. L.; SILVA, F. A.; DIAS, M. S.; SILVA, C. R. C.; SANTOS, R. C. Exogenous pyruvate mitigates the detrimental effects of water stress in contrasting peanut genotypes. **Genetics and Molecular Research**, v. 20, n. 3, p. 1-14, 2021.

BASU, S.; RAMEGOWDA, V.; KUMAR, A.; PEREIRA, A. Plant adaptation to drought stress. **F1000Research**, v. 5, 2016.

BATOOL, T.; ALI, S.; SELEIMAN, M. F.; NAVEED, N. H.; ALI, A.; AHMED, K.; ABID, M.; RIZWAN, M.; SHAHID, M. R.; ALOTAIBI, M.; ASHKAR, I. A.; MUBUSHAR, M. Plant growth promoting rhizobacteria alleviates drought stress in potato in response to suppressive oxidative stress and antioxidant enzymes activities. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 16975, 2020.

BEAUCHAMP, C. O.; FRIDOVICH, I. Isoenzymes of superoxide dismutase from wheat germ. **Biochimica et Biophysica Acta**, New York, v.317, p.50-64, 1973.

BERTIOLI, D. J.; SEIJO, G.; FREITAS, F. O.; VALLS, J. F. M.; LEAL-BERTIOLI, S. C. M.; MORETZSOHN, M. C. An overview of peanut and its wild relatives. **Plant Genetic Resources**, v. 9, n. 1, p. 134-149, 2011.

BOOTE, K. J. Growth stages of peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Peanut Science**, Raleigh, V. 9, p. 35-40, 1982

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem*, v.72, p.248, 1976.

BRITO, S. L.; SANTOS, A. B.; BARBOSA, D. D.; FERNANDES, P. D.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I.; LIMA, L. M. Bradyrhizobium spp. as attenuators of water deficit stress in runner peanut genotypes based on physiological and gene expression responses. **Genetics and Molecular Research**, v. 18, n. 4, p. 1-12, 2019.

CARVALHO, L. M.; CASALI, V. W. D.; SOUZA, M. A.; CECON, P. R. Availability of water in soil and *Artemisia* growth. **Hortic Bras**. 21:726-730, 2003.

CATO, S. C.; ALBERT, L. H. B.; MONTEIRO, A. C. B. A. Amendoizeiro. In: CASTRO, P. R. C. Manual de Fisiologia Vegetal: Fisiologia de Cultivos. Piracicaba: **Editora Ceres**, 2008. p. 26-35.

COFFELT, T. A.; SEATON, M. L.; VANSCHOVOC, S. W. Reproductive efficiency of the Virginia type peanut cultivars. **Crop Science**, Madison, v. 29, p. 1217-1220, 1989.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos - v.1, n.1 (2023) - Brasília: **Conab**, 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>.

CORDEIRO, C. F. S. **Fenologia do amendoim**. 2021. Disponível em: <https://www.stoller.com.br/blog/fenologia-do-amendoim/>. Acesso em: 08 ago. 2024.

DIAS, M. S.; SILVA, F. A.; SILVA, M. F. C.; LIMA, V. R. N.; LIMA, A. M.; FERNANDES, P. D. Morfofisiologia de genótipos de algodoeiro sob suplementação de piruvato via pré-embrição de sementes. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 17, n. 3, p. e11468-e11468, 2024.

DIAS, M. S.; FERNANDES, P. D.; SILVA, F. A.; MARCELINO, A. D. A. L.; BARBOSA, D. D.; SANTOS, R. C.; REIS, L. S.; LIMA, V. L. A. Pyruvate supplementation in cotton under water restriction varying the phenological phases. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 45, p. e61973, 2023.

DING, J.; JOHNSON, E. A.; MARTIN, Y. E. Optimization of leaf morphology in relation to leaf water status: A theory. **Ecology and evolution**, v. 10, n. 3, p. 1510-1525, 2020.

DUTRA, A. F.; MELO, A. S.; FILGUEIRAS, L. M. B.; SILVA, A. R. F.; OLIVEIRA, I. M.; BRITO, M. E. B. Parâmetros fisiológicos e componentes de produção de feijão-caupi cultivado sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 2, p. 189-197, 2015.

ELSHAMLY, A. M. S.; PARREY, Z. A.; GAAFAR, A. R. Z.; SIDDIQUI, M. H.; HUSSAIN, S. Potassium humate and cobalt enhance peanut tolerance to water stress through regulation of proline, antioxidants, and maintenance of nutrient homeostasis. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 1625, 2024.

FANG, Y.; XIONG, L. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. **Cellular and molecular life sciences**, v. 72, p. 673-689, 2015.

FEITOSA, S. S.; ALBUQUERQUE, M. B.; OLIVEIRA, A. P.; PEREIRA, W. E.; NETO, J. F. B. Fisiologia do *Sesamum indicum* L. sob estresse hídrico e aplicação de ácido salicílico. **Irriga**, v. 21, n. 4, p. 711-723, 2016.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**. v.59, p.309-314, 1977.

GODOY, I. J.; MINOTTI, D.; RESENDE, P. L. Produção de amendoim de qualidade. Viçosas: **Centro de Produções Técnicas**, 2005. 168 p.

GRIFFIN, K. L.; TURNBULL, M. H. Light saturated RuBP oxygenation by Rubisco is a robust predictor of light inhibition of respiration in *Triticum aestivum* L. **Plant Biology**, v.15, n.4, p.769-775, 2013.

GUARNIZO, Á. L.; NAVARRO-RÓDENAS, A.; CALVO-POLANCO, M.; MARQUÉS-GÁLVEZ, J. E.; MORTE, A. A mycorrhizal helper bacterium alleviates drought stress in mycorrhizal *Helianthemum almeriense* plants by regulating water relations and plant hormones. **Environmental and Experimental Botany**, v. 207, p. 105228, 2023.

GUNDARANIYA, S. A.; AMBALAM, P. S.; TOMAR, R. S. Metabolomic profiling of drought-tolerant and susceptible peanut (*Arachis hypogaea* L.) genotypes in response to drought stress. **ACS omega**, v. 5, n. 48, p. 31209-31219, 2020.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. C. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, v.84, p.450-455, 1987.

IZANLOO, A.; CONDON, A. G.; LANGRIDGE, P.; TESTER, M.; SCHNURBUSCH, T. Different mechanisms of adaptation to cyclic water stress in two South Australian bread wheat cultivars. **Journal of experimental botany**, v. 59, n. 12, p. 3327-3346, 2008.

JIOVANANGELO, G.; COSTA, J. V. J.; NOGUEIRA, J. R.; BRIQUEZI, P.; ALFREDO, R. Aspectos gerais na cultura do amendoim. 2020. 45 f. TCC (Graduação) – Curso de Técnico em Agropecuária, **Etec Orlando Quagliato**, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, 2020.

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F. Plant systematics: a phylogenetic approach. **Massachusetts: Sinauer Associates**, 1999. 464p.

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.

KEUNEN, E.; REMANS, T.; BOHLER, S.; VANGRONSVELD, J.; CUYPERS, A. Metal-induced oxidative stress and plant mitochondria. **International journal of molecular sciences**, v. 12, n. 10, p. 6894-6918, 2011.

KHALID, M. F.; HUSSAIN, S.; AHMAD, S.; EJAZ, S.; ZAKIR, I.; ALI, M. A.; AHMED, N.; ANJUM, M. A. Impacts of abiotic stresses on growth and development of plants. In: Plant tolerance to environmental stress. **CRC press**, 2019. p. 1-8.

KOH-BANERJEE, P. K.; FERREIRA, M. P.; GREENWOOD, M.; BOWDEN, R. G.; COWAN, P. N.; ALMADA, A. L.; KREIDER, R. B. Effects of calcium pyruvate supplementation during training on body composition, exercise capacity, and metabolic responses to exercise. **Nutrition**, v. 21, n. 3, p. 312-319, 2005.

KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v.64, p.339-347, 2005.

LI, Y.; DING, Y.; QU, L.; LI, X.; LAI, Q.; ZHAO, P.; GAO, Y.; XIANG, C.; CANG, C.; LIU, X.; SUN, L. Structure of the Arabidopsis guard cell anion channel SLAC1 suggests activation mechanism by phosphorylation. **Nature Communications**, v. 13, n. 1, p. 2511, 2022.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: Methods in enzymology. **Academic Press**, 1987. Cap.34, p.350-382.

LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SOARES, L. A. A.; XAVIER, D. A.; SANTOS JUNIOR, J. A. Water relations and gas exchange in castor bean irrigated with saline water of distinct cationic nature. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 13, p. 1581-1594, 2015.

LIN, P.; CHEN, Y.; PONCE, G.; ACEVEDO, F. E.; LYNCH, J. P.; ANDERSON, C. T.; ALI, J. G.; FELTON, G. W.; Stomata-mediated interactions between plants, herbivores, and the environment. **Trends in plant science**, v. 27, n. 3, p. 287-300, 2022.

LIU, H.; SONG, S.; ZHANG, H.; LI, Y.; NIU, L.; ZHANG, J.; WANG, W. Signaling transduction of ABA, ROS, and Ca<sup>2+</sup> in plant stomatal closure in response to drought. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 23, p. 14824, 2022.

LIU, Y.; LU, J.; CUI, L.; TANG, Z.; CI, D.; ZOU, X.; ZHANG, X.; YU, X.; WANG, Y.; SI, T. The multifaceted roles of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in peanut responses to salt, drought, and cold stress. **BMC Plant Biology**, v. 23, n. 1, p. 36, 2023.

LV, M.; HOU, D.; WAN, J.; YE, T.; ZHANG, L.; FAN, J.; LI, C.; DONG, Y.; CHEN, W.; RONG, S.; SUN, Y.; XU, J.; CAI, L.; GAO, X.; ZHU, J.; HUANG, Z.; XU, Z.; LI, L. OsWRKY97, an Abiotic Stress-Induced Gene of Rice, Plays a Key Role in Drought Tolerance. **Plants**, v. 12, n. 18, p. 3338, 2023.

MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranja 8valência9 sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantia**, v.67, p.75-82, 2008.

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

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

NETO, C. F. O.; LOBATO, A. K. S.; VIDIGAL, M. C. G.; COSTA, R. C. L.; FILHO, B. G. S.; ALVES, G. A. R.; MAIA, W. J. M. S.; CRUZ, F. J. R.; NEVES, H. K. B.; LOPES, M. J. S. Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 7, n. 3&4, p. 588-593, 2009.

NETO, J. F.; DA COSTA, C. H. M.; CASTRO, G. S. A. Ecofisiologia do amendoim. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. 4, p. 01-13, 2012.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; TÁVORA, F. J. A. F. Ecofisiologia do Amendoim (*Arachis hypogaea* L.). In: SANTOS, R.C. (ed.): O Agronegócio do amendoim no Brasil, Campina Grande: **Embrapa Algodão**, 2005, p. 71-122.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; TÁVORA, F. J. A. F.; ALBUQUERQUE, M. B.; NASCIMENTO, H. H. C.; SANTOS, R. C. Ecofisiologia do amendoim (*Arachis hypogaea* L.). In: SANTOS, R. C.; FREIRE, R. M. M.; LIMA, L. M. (Eds.), O agronegócio do amendoim no Brasil. Campina Grande: **Embrapa Algodão**, p.72-113, 2013.

OGUZ, M. C.; AYCAN, M.; OGUZ, E.; POYRAZ, I.; YILDIZ, M. Drought stress tolerance in plants: Interplay of molecular, biochemical and physiological responses in important development stages. **Physiologia**, v. 2, n. 4, p. 180-197, 2022.

OKADA, M. H.; OLIVEIRA, G. R. F.; SARTORI, M. M. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; NAKAGAWA, J.; SILVA, E. A. A. Acquisition of the physiological quality of peanut (*Arachis hypogaea* L.) seeds during maturation under the influence of the maternal environment. **Plos one**, v. 16, n. 5, p. e0250293, 2021.

OLIVEIRA, A. D. de; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. de J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 86-95, 2005.

PATEL, J.; KHANDWAL, D.; CHOUDHARY, B.; ARDESHANA, D.; JHA, R. K.; TANNA, B.; YADAV, S.; MISHRA, A.; VARSHNEY, R. K.; SIDDIQUE, K. H. M. Differential physio-biochemical and metabolic responses of peanut (*Arachis hypogaea* L.) under multiple abiotic stress conditions. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 2, p. 660, 2022.

PEIXOTO, C. P. Princípios de fisiologia vegetal: teoria e prática / organização Clovis Pereira Peixoto. - 1. ed. - Rio de Janeiro: **Pod**, 2020. 256 p.

PEREIRA, J. W. L.; SILVA, E. C. A.; LUZ, L. N.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; FILHO, P. D. A. M.; LIMA, L. M.; DOS SANTOS, R. C. Cluster analysis to select peanut drought tolerance lines. *Australian Journal of Crop Science*, v.9, p.1095-1105, 2015.

PEZZOPANE, J. R. M. Amendoim. Embrapa Pecuária Sudeste-Capítulo em livro científico (**ALICE**), 2009.

PUPPALA, N.; NAYAK, S. N.; SANZ-SAEZ, A.; CHEN, C.; DEVI, M. J.; NIVEDITA, N.; BAO, Y.; HE, G.; TRAORE, S. M.; WRIGHT, D. A.; PANDEY, M. K.; SHARMA, V. Sustaining yield and nutritional quality of peanuts in harsh environments: Physiological and molecular basis of drought and heat stress tolerance. **Frontiers in Genetics**, v. 14, p. 1121462, 2023.

RICKES, L. N.; KLUMB, E. K.; SILVA, C. D. S; BACARIN, M. A.; BIANCHI, V. J. Water deficit affects gas exchange in peach trees cultivar chimarrita grafted onto different rootstocks. **Irriga**, v.22, n.1, p.140-153, 2017.

SALEHI-LISAR, S. Y.; BAKHSHAYESHAN-AGDAM, H. Estresse de seca em plantas: causas, consequências e tolerância. **Tolerância ao estresse de seca em plantas, v.1: fisiologia e bioquímica**, p. 1-16, 2016.

SANTOS, R. C.; FREIRE, R. M. M.; LIMA, L. M. Amendoim: o mercado brasileiro no período de 2000 a 2011. In: MARTINS, R. (2ª Ed.). *O agronegócio do amendoim no Brasil*. Brasília: **EMBRAPA**, p.585, 2013.

SHANKAR, A.; PRASAD, V. Potential of desiccation-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria in growth augmentation of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1017167, 2023.

SILVA, G.P. da S. O conhecimento da geografia do gênero *Arachis* (Leguminosae) para a coleta de germoplasma. In: **SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS**, 1, 1997, Campinas. IAC/CENARGEN, 1997. p.24-24.

SILVA, P. F. N.; SOUZA, C. L. F. C.; CHAGAS, J. R. M.; MACIEL, G. M.; MARQUES, D. J.; LOBATO, A. K. S.; SILVA, M. H. L.; FERREIRA, T. R.; BARBOSA, M. A. M.; BRAGA, R. O.; CORREA, T. B. C.; ALVES, G. A. R.; BARROS, D. S.; SENA, J. R. Photosynthetic pigments and carbohydrates in young Brazil nut (*Bertholletia excelsa* HBK) plants exposed to moderate and severe water deficiency. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 7, p. 920-925, 2016.

STANKO, R. T.; REYNOLDS, H. R.; LONCHAR, K. D.; ARCH, J. E. Plasma lipid concentrations in hyperlipidemic patients consuming a high-fat diet supplemented with pyruvate for 6 wk. **The American journal of clinical nutrition**, v.56, n.5, p.950-954, 1992.

STEFANOV, M.; RASHKOV, G.; BORISOVA, P.; APOSTOLOVA, E. Sensitivity of the photosynthetic apparatus in maize and sorghum under different drought levels. **Plants**, v. 12, n. 9, p. 1863, 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2017. 858p.

THANGELLA, P. A. V.; PASUMARTI, S. N. B. S.; PULLAKHANDAM, R.; GEEREDDY, B. R.; DAGGU, M. R. Differential expression of leaf proteins in four cultivars of peanut (*Arachis hypogaea* L.) under water stress. **3 Biotech**, v. 8, p. 1-21, 2018.

VALLS, J. F. M. Recursos genéticos do gênero *Arachis*. In: SANTOS, R. C.; FREIRE, R. M. M.; LIMA, L. M. (Eds.), O agronegócio do amendoim no Brasil. Campina Grande: **Embrapa Algodão**, p.45-69, 2013.

VERMA, K. K.; SONG, X. P.; VERMA, C. L.; CHEN, Z. L.; RAJPUT, V. D.; WU, K. C.; LIAO, F.; CHEN, G. L.; LI, Y. R. Functional relationship between photosynthetic leaf gas exchange in response to silicon application and water stress mitigation in sugarcane. **Biological Research**, v. 54, n. 1, p. 15, 2021.

ZAREI, T. Balancing water deficit stress with plant growth-promoting rhizobacteria: a case study in maize. **Rhizosphere**, p. 100621, 2022.

ZHEN, X.; ZHANG, Q.; SANZ-SAEZ, A.; CHEN, C. Y.; DANG, P. M.; BATCHELOR, W. D. Simulating drought tolerance of peanut varieties by maintaining photosynthesis under water deficit. **Field Crops Research**, v. 287, p. 108650, 2022.

ZHENG, J.; WANG, S.; WANG, R.; CHEN, Y.; SIDDIQUE, K. H.; XIA, G.; CHI, D. Ameliorative roles of biochar-based fertilizer on morpho-physiological traits, nutrient uptake and yield in peanut (*Arachis hypogaea* L.) under water stress. **Agricultural Water Management**, v. 257, p. 107129, 2021.