



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

ANA GABRIELA ALVES BATISTA

**EFEITO DA COINOCULAÇÃO COM ESTIRPES DE *Bradyrhizobium* sp. NO
DESENVOLVIMENTO DE AMENDOIM SOB DÉFICIT HÍDRICO**

CAMPINA GRANDE - PB

2024

ANA GABRIELA ALVES BATISTA

**EFEITO DA COINOCULAÇÃO COM ESTIRPES DE *Bradyrhizobium sp.* NO
DESENVOLVIMENTO DE AMENDOIM SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Ciências Biológicas da Universidade Estadual
da Paraíba, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Área de concentração: Biotecnologia e
melhoramento vegetal

Orientadora: Prof^a. Dra. Dilma Maria de Brito Melo Trovão.

Coorientadora: Prof^a. Dra. Liziane Maria de Lima.

CAMPINA GRANDE -PB

2024

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

B333e Batista, Ana Gabriela Alves.

Efeito da coinoculação com estirpes de *Bradyrhizobium* sp. no desenvolvimento de amendoim sob déficit hídrico [manuscrito] / Ana Gabriela Alves Batista. - 2024.

40 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2024.

"Orientação : Profa. Dra. Dilma Maria de Brito Melo Trovão, Coordenação de Curso de Biologia - CCBS. "

"Coorientação: Profa. Dra. Liziane Maria de Lima , Embrapa Algodão "

1. *Arachis hypogaea* L.. 2. Fixação biológica de nitrogênio.
3. Rizóbios. 4. Seca. I. Título

21. ed. CDD 570

ANA GABRIELA ALVES BATISTA

EFEITO DA COINOCULAÇÃO COM ESTIRPES DE *Bradyrhizobium* sp. NO
DESENVOLVIMENTO DE AMENDOIM SOB DÉFICIT HÍDRICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Ciências Biológicas da Universidade Estadual
da Paraíba, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

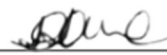
Área de concentração: Biotecnologia e
melhoramento vegetal.

Aprovada em: 26/06/2024.

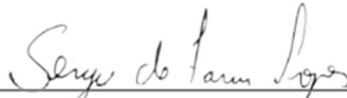
BANCA EXAMINADORA



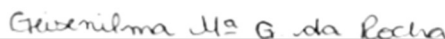
Prof.ª. Dra. Dilma Maria de Brito Melo Trovão (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof.ª. Dra. Liziane Maria de Lima (Coorientadora)
Embrapa Algodão



Prof. Dr. Sérgio de Faria Lopes
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof.ª. Dra. Geisenilma Maria Gonçalves da Rocha
Centro Universitário (UNIESP)

Dedico este trabalho em tributo às mulheres extraordinárias que moldaram o campo da biologia com sua paixão, inteligência e dedicação incansável.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Maria Cleonice e Francisco Rogério, pelo amor incondicional, apoio e inspiração constantes ao longo de toda a minha jornada acadêmica e pessoal. Pela compreensão, confiança e educação. Vocês são minha base e minha maior motivação.

Aos meus irmãos, Amanda, Daniela e Roger, sou imensamente grata pelo carinho, pelas risadas e por estarem sempre ao meu lado, me incentivando e acreditando em mim em todos os momentos.

Às minhas queridas amigas Núbia Gabrielle e Vitória Beatriz, pelos cafés com afeto que tornaram os meus dias mais leves e os desafios mais suportáveis com suas palavras de incentivo e companheirismo inestimável.

À orientadora Dra. Dilma Trovão, cuja percepção filosófica e genialidade, me inspiram diariamente e instigam a busca contínua pela compreensão do funcionamento único e sistemático das plantas, sob uma visão não antropocêntrica.

À coorientadora, Dra. Liziane, não tenho palavras para expressar a minha profunda gratidão por todo o apoio, direcionamento e incentivo ao longo dos dois anos e meio de estágio. Minha gratidão pela orientação, paciência e ensinamentos que foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico, profissional e pessoal.

À equipe do Laboratório de Biotecnologia Vegetal da Embrapa Algodão. Em especial, às técnicas Terezinha, Fábria, Lane e Geise, pelo suporte técnico, dedicação e disposição em compartilhar seus conhecimentos e experiências.

Aos amigos e mestres, Camila, Andreza, Anderson e parceiras de bancada Maria Clara e Erika, pela ajuda no desenvolvimento e discussão do experimento nas análises laboratoriais. Pelos ensinamentos e momentos de descontração em meio às dificuldades.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste sonho, o meu sincero agradecimento.

"As plantas são o resultado. [...] os animais, tal como os seres humanos, são parasitas das plantas. "

- Carl Sagan

RESUMO

Nos últimos anos tem-se aumentado o uso de rizobactérias promotoras de crescimento de planta como estratégia de manejo para mitigar os efeitos adversos de estresses abióticos. Essas bactérias encontradas na região da rizosfera podem estimular o crescimento das plantas e induzi-las à resistência à restrição hídrica por diversos mecanismos. As rizobactérias promovem alteração no metabolismo fisiológico das plantas e aumento na concentração de solutos orgânicos nos nódulos radiculares, o que melhora a tolerância à seca. Portanto, o presente estudo foi conduzido com o objetivo de investigar os efeitos da inoculação das sementes de amendoim com estirpes de *Bradyrhizobium* de forma isolada e combinada visando a tolerância das plantas ao déficit hídrico. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Embrapa Algodão em Campina Grande–PB. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), contendo oito tratamentos, dois regimes hídricos, com quatro repetições cada, totalizando 64 parcelas experimentais. Foi utilizado o genótipo de amendoim BRS 421 e três isolados de *Bradyrhizobium* sp.: ESA 123 e 16295 (Embrapa semiárido) e SEMIA 6144 (recomendado pelo MAPA). Os tratamentos foram constituídos por; (i) manejo com nitrogênio químico, com e sem aplicação de N; (ii) manejo com inoculantes, sendo três inoculações individuais - ESA 123, 16295 e SEMIA 6144 e três inoculações consorciadas - ESA 123 x 16295; ESA 123 x SEMIA 6144; e 16295 x SEMIA 6144. Foram avaliadas as variáveis agrônomicas (altura de planta, comprimento da raiz, número de nódulos, massa seca da parte aérea, das raízes e dos nódulos) e o teor de nitrogênio da parte aérea. Os dados foram analisados no programa *Sisvar* submetidos a análise de variância e teste Tukey a 5% de significância. De acordo com a análise de variância, as variáveis de crescimento vegetativo do genótipo BRS 421 apresentaram diferença significativa na interação regime hídrico e tratamento, destacando-se os tratamentos que mais contribuíram para mitigar os efeitos do estresse hídrico: ESA 123, 16295, SEMIA 6144 e a coinoculação 16295 x SEMIA 6144. Para o teor de nitrogênio da parte aérea, na condição irrigada, os tratamentos inoculados com 16295 e SEMIA 6144 e a associação de ESA 123 x 16295 promoveram as melhores médias; na condição de déficit hídrico, ESA 123 promoveu a melhor média. Esses resultados demonstram que o uso de inoculantes à base de *Bradyrhizobium* sp. é uma alternativa viável para melhorar o crescimento do amendoim, sobretudo em regiões com escassez hídrica.

Palavras-Chave: *Arachis hypogaea* L.; fixação biológica de nitrogênio; rizóbios; seca.

ABSTRACT

In recent years, the use of plant growth-promoting rhizobacteria has increased as a management strategy to mitigate the adverse effects of abiotic stresses. These bacteria found in the rhizosphere region can stimulate plant growth and induce resistance to water restriction through several mechanisms. Rhizobacteria promote changes in the physiological metabolism of plants and increase the concentration of organic solutes in root nodules, which improves drought tolerance. Therefore, the present study was conducted with the objective of investigating the effects of inoculating peanut seeds with *Bradyrhizobium* strains in isolation and in combination, aiming at plant tolerance to water deficit. The experiment was conducted in a greenhouse at Embrapa Algodão in Campina Grande–PB. The experimental design was completely randomized (DIC), containing 8 treatments, 2 water regimes, with four replications each, totaling 64 experimental plots. The peanut genotype BRS 421 and three isolates of *Bradyrhizobium* sp. were used: ESA 123 and 16295 (Embrapa semiarid) and SEMIA 6144 (recommended by MAPA). The treatments consisted of; (i) management with chemical nitrogen, with and without N application; (ii) management with inoculants, with three individual inoculations - ESA 123, 16295 and SEMIA 6144 and three consortium inoculations - ESA 123 x 16295; ESA 123 x SEMIA 6144; and 16295 x SEMIA 6144. The agronomic variables (plant height, root length, number of nodules, dry mass of the shoot, roots and nodules) and the nitrogen content of the shoot were evaluated. The data were analyzed using the *Sisvar* program and subjected to analysis of variance and Tukey test at 5% significance. According to the analysis of variance, the vegetative growth variables of the BRS 421 genotype showed a significant difference in the interaction between water regime and treatment, highlighting the treatments that most contributed to mitigating the effects of water stress: ESA 123, 16295, SEMIA 6144 and coinoculation 16295 x SEMIA 6144. For the nitrogen content of the aerial part, in the irrigated condition, the treatments inoculated with 16295 and SEMIA 6144 and the association of ESA 123 x 16295 promoted the best averages; in the water deficit condition, ESA 123 promoted the best average. These results demonstrate that the use of inoculants based on *Bradyrhizobium* sp. It is a viable alternative to improve peanut growth, especially in regions with water scarcity.

Keywords: *Arachis hypogaea* L.; biological nitrogen fixation; rhizobia; dry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Experimento com plantas de amendoim sob estresse hídrico, em casa de vegetação na Embrapa Algodão, Campina Grande-PB	20
Figura 2	Coleta de dados para análise das variáveis de crescimento vegetativo em plantas de amendoim. (A) Comprimento da parte aérea; (B) Separação das raízes do solo (C) Aglomeração de nódulos nas raízes e (D) Contagem de nódulos após secagem em estufa	21
Figura 3	Comparação entre plantas de amendoim genótipo BRS 421 sob 13 dias de restrição hídrica, com os seguintes tratamentos: (A) sem nitrogênio, (B) com nitrogênio, (C) ESA 123, (D) CEPA 16295, (E) SEMIA 6144, (F) ESA 123 x CEPA 16295, (G) ESA 123 x SEMIA 6144 e (H) CEPA 16295 x SEMIA 6144	24
Tabela 1	Análise de variância para as variáveis: altura de planta (ALT) (cm), massa seca da parte aérea (MSPA) (g), comprimento da raiz (CR) (cm), massa seca de raiz (MSR) (g), número de nódulos por raiz (NNR), massa seca de nódulos (MSN) (g) e nitrogênio total da parte aérea (NPA) (dag kg.g) no genótipo de amendoim BRS 421 inoculado com rizóbios (ESA 123, CEPA 16295 e SEMIA 6144), isolados e consorciados, mais os manejos com e sem nitrogênio (testemunha absoluta), submetidos a déficit hídrico. Campina Grande-PB, 2023	24
Figura 4	Genótipo de amendoim BRS 421 inoculado com rizóbios (ESA 123, CEPA 16295 e SEMIA 6144), isolados e consorciados, submetidos a déficit hídrico. (A) Altura da planta (ALT) (cm) e (B) massa seca da parte aérea (MSPA) (g). Letras minúsculas comparam os tratamentos; letras maiúsculas comparam os regimes hídricos dentro de cada tratamento, (Teste de Tukey, $p \leq 0,05$)	26
Figura 5	Genótipo de amendoim BRS 421 inoculado com rizóbios (ESA 123, CEPA 16295 e SEMIA 6144), isolados e consorciados, submetidos a déficit hídrico. (A) Comprimento da raiz (CR) (cm) e (B) massa seca da raiz (MSR) (g). Letras minúsculas comparam os tratamentos; letras maiúsculas comparam os regimes hídricos dentro de cada tratamento, (Teste de Tukey $p \leq 0,05$)	27
Figura 6	Genótipo de amendoim BRS 421 inoculado com rizóbios (ESA 123, CEPA 16295 e SEMIA 6144), isolados e consorciados, submetidos a déficit hídrico. (A) Número de nódulos por raiz (NNR) e (B) Massa seca de nódulos (MSN) (g). Letras minúsculas comparam os tratamentos; letras maiúsculas comparam os regimes hídricos dentro de cada tratamento, (Teste de Tukey ($p \leq 0,05$))	29
Figura 7	Nitrogênio total da parte aérea (NPA) (dag kg.g) em genótipo de amendoim BRS 421 inoculado com rizóbios (ESA 123, CEPA 16295 e SEMIA 6144), isolados e consorciados, submetidos a déficit hídrico. Letras minúsculas comparam os tratamentos; letras maiúsculas comparam os regimes hídricos dentro de cada tratamento, (Teste de Tukey ($p \leq 0,05$))	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	Rizobactérias promotoras de crescimento	12
2.2	Fixação biológica de nitrogênio	13
2.3	A cultura do amendoim e sua importância econômica	14
2.4	Ecofisiologia e cultivo do amendoim	15
2.5	Déficit hídrico	16
2.6	Comportamento do amendoim sob déficit hídrico	17
3	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	Implantação, condução e coleta do experimento	19
3.1.1	<i>Cultivo das bactérias e preparo dos inoculantes</i>	20
3.1.2	<i>Variáveis de crescimento vegetativo</i>	20
3.1.3	<i>Análise de nitrogênio</i>	21
3.1.4	<i>Análises estatísticas</i>	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1	Variáveis de crescimento vegetativo	23
4.2	Teor de nitrogênio na parte aérea	30
5	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se aumentado o uso de rizobactérias promotoras de crescimento de planta (RPCPs) como estratégia de manejo para mitigar os efeitos adversos de estresses abióticos (Brito et al., 2019; Jovino et al., 2022; Juliano et al., 2021; Santos et al., 2017). Estas bactérias encontradas na região da rizosfera podem estimular o crescimento das plantas e induzi-las à resistência à restrição hídrica por diversos mecanismos. Os mecanismos mais relevantes são a otimização da capacidade de fixação biológica de nitrogênio, aumento da atividade da nitrato redutase, produção de sideróforos e de hormônios vegetais, como auxinas, citocininas e giberelinas, solubilização de fosfato e aprimoramento do sistema antioxidante das plantas (Chibeba et al., 2015; Fukami et al., 2018).

As bactérias do gênero *Bradyrhizobium* sp. desempenham um papel crucial no desenvolvimento das plantas e no aumento da produtividade. Essas bactérias se associam simbioticamente às raízes das plantas, formando nódulos que capturam o nitrogênio atmosférico (N₂) e o transformam em formas nitrogenadas utilizáveis pelas plantas. Esses benefícios resultam em aumentos significativos na produção de biomassa e rendimento das culturas, além de melhorias na fertilidade do solo. A complexa e eficiente rede de interações funcionais estabelecida pelas RPCPs ajuda a sustentar a saúde e o desempenho das plantas, especialmente em resposta a condições ambientais adversas (Santos et al, 2020; Voccianti et al, 2022).

Em condições de restrição hídrica, as plantas apresentam uma série de alterações morfofisiológicas, como a redução da área foliar, condutância estomática, taxa de transpiração, taxa fotossintética e taxa de crescimento relativo, visto que o estresse geralmente aumenta a resistência difusiva ao vapor de água, mediante fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e conseqüentemente, o suprimento de CO₂ para a fotossíntese. Muitos desses efeitos refletem mecanismos de adaptação das plantas ao ambiente, além da modificação da atividade de enzimas do metabolismo do nitrogênio e carbono e mudanças nos níveis de antioxidantes. Algumas destas respostas fazem parte de estratégias que visam reduzir os efeitos deletérios da restrição hídrica, constituindo, portanto, mecanismos de tolerância à seca (Mantovani et al., 2015; Vieira et al., 2017).

O cultivo do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) tem sido uma excelente alternativa de diversificação para os agricultores familiares, especialmente devido às suas múltiplas utilidades e alto valor energético e nutricional. Possui grande importância no mercado nacional e mundial, apresentando produção de grãos destinada, principalmente, para o consumo *in natura*, produção

de óleo e farelo, dentre outros produtos (Nakagawa; Rosolem, 2011). No entanto, a baixa precipitação tem frequentemente limitado o desenvolvimento e a produtividade da cultura em todas as regiões produtoras do Brasil (Ferrari-Neto et al., 2012; Martins, 2013; Pereira et al., 2012). Neste sentido, estudos que visam buscar estratégias de manejo para áreas com irregularidade de chuvas são importantes para o avanço da cultura.

Diante do exposto, o presente estudo foi conduzido com o objetivo de investigar os efeitos da inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium* sp., de forma isolada e combinada, no crescimento das plantas de amendoim e na indução da tolerância ao estresse hídrico a fim de identificar a melhor interação (genótipo x estirpe) responsiva ao déficit hídrico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal

As rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCPs), termo criado por Kloepper e Schroth em 1978, são bactérias de vida livre que vivem no solo e prosperam na rizosfera, colonizando as raízes das plantas e facilitando seu crescimento (De la Fuente Cantó et al., 2020). A rizosfera é habitada por uma vasta gama de táxons microbianos, incluindo procariontes (arqueias, bactérias e vírus) e eucariotos (fungos, oomicetos, nematoides, protozoários, algas e artrópodes), sendo as bactérias e os fungos os grupos mais abundantes, desempenhando funções ecológicas fundamentais (Buée et al., 2009; Kalam et al., 2017).

Este grupo diversificado de bactérias, essencial para o microbioma do solo, é conhecido por produzir e liberar vários compostos reguladores próximos às raízes das plantas, promovendo o crescimento vegetal. As RPCPs desempenham um papel crucial na saúde geral dos vegetais, auxiliando na melhor absorção de nutrientes pelas plantas hospedeiras, protegendo-as contra microrganismos patogênicos e aumentando a resistência a diversos estresses abióticos (Bhattacharyya; Jha, 2012; Khoshru et al., 2020). Diferentes cepas são capazes de aumentar a produtividade das culturas, atuar no biocontrole, aumentar a resistência a patógenos foliares, promover a nodulação em leguminosas e melhorar a emergência de mudas (Kalam et al., 2020; Swarnalaksmi et al., 2020).

Os modos de ação diretos das RPCPs incluem a melhoria da nutrição das plantas por meio do fornecimento de fitonutrientes, como nitrogênio fixado ou minerais solubilizados do solo como P, K, Zn, Fe e outros nutrientes minerais essenciais, além de estimular o crescimento e desenvolvimento das plantas ao regular os níveis de fitohormônios; auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico e etileno (Gouda et al., 2018; Parray et al., 2016). Os efeitos indiretos envolvem a promoção da saúde das plantas, suprimindo fitopatógenos e outros microrganismos prejudiciais através do parasitismo, competindo por nutrientes e espaços dentro da rizosfera, produzindo substâncias como cianeto de hidrogênio, sideróforos, antibióticos e metabólitos antimicrobianos e enzimas líticas, quitinases, glucanases e proteases (Berg et al., 2017; Meena et al., 2020; Sayyed et al., 2019).

Fomentar a agricultura sustentável através da redução progressiva do uso de agroquímicos sintéticos e do aumento da aplicação de substâncias provenientes de biorresíduos, juntamente com o aproveitamento do potencial biológico e genético das plantas e

microrganismos agrícolas, emerge como uma estratégia eficaz para enfrentar a rápida deterioração ambiental e são consideradas alternativa ecológica aos fertilizantes químicos. Isso assegura, ao mesmo tempo, uma elevada produtividade agrícola e uma melhor qualidade do solo (Kesavan; Swaminathan, 2018; Liu et al., 2016). Além da manipulação genética da fisiologia e do metabolismo das culturas para otimizar o rendimento, determinados elementos da comunidade microbiana do solo, especialmente os residentes na rizosfera das plantas, podem auxiliar as plantas a prevenir ou mitigar parcialmente os impactos dos estresses ambientais (Souza et al., 2015; Ilangumaran; Smith, 2017).

A demanda por biofertilizantes a base de RPCPs tem aumentado continuamente devido à crescente importância de uma agricultura orgânica com uso mínimo de insumos químicos. O uso de inoculantes biológicos para melhorar a sustentabilidade da produção agrícola tem se tornado popular em diversas partes do mundo, cada vez mais faz-se necessário a busca por método de produção que aumentem a qualidade do solo, bem como a preservação do mesmo (Bunemann et al., 2018).

2.2 Fixação biológica de nitrogênio

O nitrogênio é o elemento mais abundante na atmosfera, constituindo cerca de 70% do seu volume. Ele desempenha um papel crucial em diversas reações químicas e é um componente essencial da clorofila, enzimas e proteínas das plantas. Por ele ser essencial, afeta a formação de raízes, a realização de fotossíntese, a produção de grãos, a translocação de fotoassimilados e a taxa de crescimento entre raízes e folhas, sendo primeiramente afetado o crescimento foliar (Galindo et al., 2021; Ryle et al., 1979; Taiz; Zieger, 2017).

O uso de *Bradyrhizobium* é uma excelente alternativa para suprir a necessidade da planta por nitrogênio, devido a sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, essa bactéria em simbiose com o vegetal além de suprir essa necessidade nutricional, é capaz de melhorar diversos outros processos fisiológicos que resultam em melhoria do desempenho agrônomo. O gênero *Bradyrhizobium*, pertencente à família Bradyrhizobiaceae, é extensivamente estudado de forma isolada e consorciada em associação com leguminosas. Essas bactérias promovem o crescimento dos pelos radiculares e tornam as raízes mais eficientes na absorção de nutrientes e água, resultando em um aumento da nodulação e na fixação biológica de nitrogênio, que promovem incremento da produtividade final das plantas (Hungria, 2011; Vanlnsberghe et al., 2015).

A fixação biológica de nitrogênio ocorre em várias etapas, que envolvem mudanças

fisiológicas e morfológicas tanto na planta, como na bactéria. Essas mudanças na bactéria visam, principalmente, o recebimento de fontes de carbono da planta hospedeira, para obter a adenosina trifosfato - ATP e a capacidade redutora necessária para o processo de FBN. Essas mudanças na planta hospedeira tem em vista adquirir a amônia produzida pelas bactérias, processo pelo qual possibilita a formação de nodulações nas raízes (Andrade et al., 2023; Hungria et al., 2011).

Os nódulos são formados por uma série de trocas de moléculas sinalizadoras entre a bactéria e a planta (Broughton et al., 2003). O desenvolvimento da nodulação envolve várias etapas e a expressão de genes específicos da planta hospedeira e da bactéria. O processo inicia com a excreção de flavonoides pela planta, que permite a colonização da rizosfera e atua como quimiotáxico, atraindo as bactérias para a raiz, onde se fixam. Os flavonoides induzem a produção de fatores de nodulação nas bactérias, que são lipopoligossacarídeos quitinos que interagem com a planta, provocando a curvatura do pelo radicular, a divisão das células corticais e a formação do nódulo. As bactérias, ao entrarem no pelo da raiz, são internalizadas em um compartimento envolvido por uma membrana chamada simbiossomo, onde passam a ser chamadas de bacteroides (Stacey et al., 2006; Vargas; Suhet, 1980).

2.3 A cultura do amendoim e sua importância socioeconômica

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma oleaginosa de enorme relevância econômica, sendo cultivado mundialmente em países desenvolvidos e em desenvolvimento, apresentando uma produção de 50,4 milhões de toneladas de grãos. A produção no Brasil aumentou 154% entre 2014 e 2023, com expansão da demanda e dos preços globais projetando alta na produção (USDA, 2023).

Os principais produtores são a China, com quase 19 milhões de toneladas em 2023, seguido pela Índia com 6,4 milhões de toneladas. E em 10º lugar o Brasil, que vem subindo na posição. A produção de amendoim no Brasil ainda é concentrada no estado de São Paulo, mais de 90% do total, a qual saltou de cerca de 350 mil toneladas em 2014 para 890 mil toneladas em 2023, mais que o dobro. E a expectativa é de expansão, com 10% de aumento da área plantada neste ano. Em relação as exportações têm aumentado a cada ano, entre 2019 e 2023, o volume exportado subiu 49% indo para 307 mil toneladas (CONAB, 2023; IEA, 2023).

O amendoim é bastante consumido nas regiões tropicais e subtropicais, sendo um dos alimentos importantes para os povos dessas regiões. A maior parte da produção se consome

localmente nos países produtores, sendo que em muitos países os sistemas de produção de subsistência são de baixo rendimento. Portanto, uma modificação dos sistemas de produção, com o objetivo de incrementar os rendimentos, poderá refletir numa melhoria da qualidade de vida dos produtores (Devechio, 2021).

Considerado um alimento funcional de grande importância econômica, é conhecido por suas sementes ricas em gorduras saudáveis, principalmente monoinsaturadas e poli-insaturado. Cada grão de amendoim contém entre 45 e 50% de lipídios, 25 a 32% de proteínas (incluindo albuminas e globulinas), 8 a 12% de carboidratos, 3% de fibra, 2,5% de minerais (como magnésio, fósforo e zinco), além de vitaminas como a vitamina E e as do complexo B. A casca do amendoim possui um maior percentual de carboidratos (49%) e fibra (19%), das quais 25% são compostas por fibras solúveis, além de taninos e pigmentos. Essas características tornam a casca relevante, principalmente para a indústria alimentícia, produção de conservas e indústria farmacêutica (Duarte, 2008; Simões, 2021). Já a película é rica em compostos fenólicos antioxidantes, estes compostos têm um importante papel protetor pela capacidade de se ligar e eliminar os radicais livres (Massarioli et al., 2022).

2.4 Ecofisiologia e cultivo do amendoim

O amendoim é uma planta Magnoliopsida (Dicotiledônea), pertencente à família Fabaceae (Leguminosae) e ao gênero *Arachis*. Trata-se de uma dicotiledônea herbácea, anual com ciclo indeterminado, podendo assim, atingir uma altura entre 15 e 50 cm, dependendo do hábito de crescimento (Cronquist, 1981). Classificada como alotetraplóide e estolonífera, que se reproduz quase exclusivamente por autogamia. Possui folhas tetrafolioladas e flores protegidas por duas brácteas, com estandarte nas cores branco, creme, amarelo (mais frequente) e laranja e quilha pontiaguda que protege o aparelho reprodutor (Assis et al., 2010; Krapovickas; Gregory, 2007). Os frutos são geocárpicos, em cápsulas indeiscentes, geralmente com uma semente, às vezes duas, raramente três, presos aos “pegs” (pedúnculo do ovário) que possuem geotropismo positivo e são frágeis, desprendendo-se facilmente quando maduros (Ferguson, 1995; Pereira, 2016).

A cultura do amendoim é considerada relativamente tolerante à seca, devido ao seu sistema radicular profundo que permite explorar volume de solo das camadas mais profundas as quais possuem maior disponibilidade de água. As necessidades hídricas variam de 450 a 700 mm durante o ciclo. A máxima exigência hídrica ocorre durante o florescimento e frutificação. A falta de água no início do desenvolvimento faz com que ocorram problemas como atraso e

irregularidades na germinação (Cato et al., 2008).

A temperatura é o fator climático de maior importância, nas regiões tropicais geralmente encontra-se próxima às exigências da cultura, com pequenas variações durante o ano. Temperaturas entre 25 e 35 °C são ótimas e proporcionam alta velocidade e porcentagem de germinação. Temperaturas abaixo do ótimo prolongam o estágio vegetativo o que acarreta maiores gastos com tratamentos culturais devido ao alongamento do ciclo da cultura. Temperaturas noturnas de 25 °C e diurnas de 35 °C aumentam a translocação de N, P, K e carboidratos para os frutos, reduzem a respiração, aumentam a taxa fotossintética, promovem maior acúmulo de carboidratos e a senescência das folhas será mais lenta (Armando Júnior, 1990; Nogueira; Távora, 2005).

O amendoineiro tem metabolismo fotossintético do tipo C3 e apresenta máxima taxa fotossintética líquida a 30 °C e a máxima taxa de produção de matéria seca, ou produtividade da cultura, é de 19,6 g m⁻² dia. É considerada como planta neutra, pois o fotoperíodo não afeta essas plantas. A luz não é considerada um fator limitante para a fotossíntese em condições de campo, porém se ocorre exposição da extremidade dos ginóforos a luz, isso pode provocar um desenvolvimento anormal dos frutos (Embrapa, 2009; Nogueira; Távora, 2005).

A cultura desenvolve-se bem em solos de textura arenosa, geralmente, estes solos possuem boa drenagem e aeração, favorecendo o desenvolvimento das raízes e frutos, como também o suprimento de nitrogênio para a fixação simbiótica. O pH considerado ótimo situa-se entre 6 e 6,5, sendo importante manter o pH do solo dentro da faixa ótima de cultivo para que não ocorram deficiências nutricionais, tais como: cálcio, molibdênio e fósforo (Beltrão et al., 2011; Santos et al., 1996).

2.5 Déficit hídrico

A água é essencial para a existência de vida no planeta devido às suas propriedades físicas e químicas. Nas plantas, suas principais funções incluem fornecer estrutura, promover crescimento, facilitar transporte e apoiar o metabolismo. A água é fundamental para diversos processos fisiológicos, como a fase fotoquímica da fotossíntese e a absorção e transporte de nutrientes, tornando-se, assim, indispensável para o desenvolvimento vegetal. Ela constitui cerca de 90 a 95% da biomassa verde das plantas, sendo crucial para a manutenção funcional dos tecidos, células e do organismo como um todo (Chavarria; Santos, 2012; Taiz; Zeiger, 2017).

O déficit hídrico é uma das grandes causas da redução da produtividade agrícola por afetar negativamente o conjunto das funções fisiológicas da planta, como a fotossíntese, respiração e outras reações metabólicas, que podem repercutir diretamente nas variações anatômicas, de crescimento, reprodução e desenvolvimento das plantas. A escassez na disponibilidade de água limita a manutenção de processos cruciais à sobrevivência da planta, promovendo reduções significativas no rendimento de espécies cultivadas pela limitação do máximo potencial produtivo (Conti et al., 2019; Koch et al., 2019).

Se a escassez hídrica ocorrer durante o florescimento, haverá queda das flores e murchamento dos ginóforos. Na fase de frutificação, a deficiência de água resulta na formação de grãos com menor peso específico ou até mesmo em grãos não preenchidos. Durante o período vegetativo, a falta de água prolonga o ciclo da cultura, aumentando os custos com tratamentos culturais para o produtor (Ahmad, et al., 2022; Ansari et al., 2019; Josh et al., 2016) e perdas equivalentes a US\$ 520 milhões (Kambiranda et al., 2011).

Essa questão ganha importância em um cenário cada vez mais preocupado com os desafios das mudanças climáticas e a crescente demanda por segurança alimentar, destacando-se a necessidade de produzir mais alimentos em condições adversas, tornando a convivência com a escassez de recursos, como a água, uma realidade sustentável e eficiente no futuro próximo. Portanto, compreender os mecanismos que as plantas utilizam para tolerar a baixa disponibilidade hídrica, bem como buscar o melhoramento genético focado nesses parâmetros, representará um avanço tecnológico essencial para a produção sustentável de alimentos no futuro.

Entender a biologia e fisiologia de plantas é fundamental para o conhecimento de mecanismos que levam as plantas a se adaptarem ao déficit hídrico, portanto, entender a tolerância das plantas à seca e como explorá-las, devem ser julgados não só como problemas de ordem agrônoma, fisiológica ou ecológica, mas também como importante meta internacional de significância humanitária, econômica e política (Van Rensburg, 1994).

2.6 Comportamento do amendoim sob déficit hídrico

De acordo com Taiz et al. (2017) existe um fluxo contínuo de água entre o sistema solo-planta-atmosfera dependente da diferença de potencial hídrico entre esses componentes. Com a diminuição do potencial hídrico do solo é necessário que a planta também reduza seu potencial hídrico para manter o gradiente de fluxo de água. Este processo acontece através do acúmulo

de solutos no citoplasma e no vacúolo das células vegetais, permitindo que mantenham a pressão de turgor frente a redução de água no solo.

Essas modificações são mecanismos adotados pelas plantas para reduzir os efeitos do fator estressante, adaptação caracterizada por mudanças genéticas através de gerações. E de uma maneira geral cada espécie responde de forma diferente ao estresse hídrico, através do escape, evite ou tolerância à escassez de água (Cruz et al, 2023).

O amendoim é uma oleaginosa conhecida por apresentar alto potencial para se desenvolver em áreas com baixas disponibilidade hídrica, demonstrando, assim, certa tolerância principalmente pela sua habilidade em conviver em ambientes muito secos. Essa facilidade está relacionada principalmente ao fato de as plantas de amendoim apresentarem raízes muito profundas, chegando até dois metros e extrair água de partes mais profundas do solo (Nogueira; Santos, 2000; Pereira et al., 2016; Santos, 2017).

O estresse hídrico, dependendo da frequência e da intensidade dos períodos de seca, aliado às altas temperaturas, influencia negativamente todos os estádios vegetativos do amendoimzeiro, desde a semeadura até a colheita. Para Larcher, Moraes e Bauer (1981), os períodos de seca prejudicam as funções vitais da planta e estimulam as reações de adaptação. Nogueira e Távora (2013) relataram que mesmo apresentando mecanismos de adaptação a seca, o amendoimzeiro é mais afetado pela deficiência hídrica na fase reprodutiva, principalmente durante o florescimento e enchimento dos frutos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Implantação, condução e coleta do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Embrapa Algodão (Figura 1), localizada em Campina Grande - PB (07°13'S; 53°31'W), no período de maio a julho de 2023. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), contendo 8 tratamentos, 2 regimes hídricos, com quatro repetições cada, totalizando 64 parcelas experimentais. Foi utilizado o genótipo de amendoim BRS 421 (BRS - sigla utilizada para caracterizar materiais provenientes de melhoramento genético liderado pela EMBRAPA) e três isolados de *Bradyrhizobium* sp. (ESA 123 e 16295, isolados nativos da região nordeste, recomendados pela Embrapa semiárido como microrganismo de interesse agrícola; e SEMIA 6144, recomendado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA). Os tratamentos foram constituídos por: (i) manejo com nitrogênio químico, com e sem aplicação de N; (ii) manejo com inoculantes, sendo três inoculações individuais - ESA 123, 16295 e SEMIA 6144 e três inoculações consorciadas - ESA 123 x 16295, ESA 123 x SEMIA 6144 e 16295 x SEMIA 6144.

Amostras de solo foram coletadas e submetidas a análise no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas na Embrapa Algodão. O pH estava em torno de 6,6, não necessitou correções. Para atender a recomendação de fertilização do solo descrita por Gomes e Coutinho (1998), por ocasião de plantio em sementes de amendoim (*A. hypogaea* L.) inoculadas com *Bradyrhizobium* sp., foram utilizados 0,16 g/vaso de superfosfato simples e 0,05 g/vaso de cloreto de potássio. Os quais foram adicionados em vasos de 15 x 30 cm preenchidos com solo franco arenoso. A aplicação foi feita cinco dias antes da semeadura.

O plantio ocorreu em 16 de maio de 2023, foram feitos dois poços por vaso, com aproximadamente 3 a 5 centímetros de profundidade e adicionado duas sementes em cada poço, totalizando quatro sementes por vaso. As sementes de amendoim, produzidas pela equipe de Melhoramento Genético lotada em Goiás, foram previamente tratadas com fungicida Standak Top. Após 15 dias da emergência das plântulas foi realizado o desbaste, deixando-se apenas duas plantas por vaso. Foram feitas 2 inoculações (1 mL/planta): no momento da semeadura e 17 dias após. Vinte nove dias após a emergência (DAE), na fase de floração, suspendeu-se a rega por aproximadamente 13 dias nos tratamentos estressados. No período da suspensão da rega, apenas as plantas controles foram irrigadas, mantendo-se a umidade próxima a capacidade de campo. Após esse período todas as plantas foram reidratadas por 48 horas, em seguida foram

coletados os dados agronômicos e material vegetal para análise de nitrogênio.

Figura 1. Experimento com plantas de amendoim sob estresse hídrico, em casa de vegetação na Embrapa Algodão, Campina Grande-PB.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

3.1.1 Cultivo das bactérias e preparo dos inoculantes

Utilizou-se três estirpes de *Bradyrhizobium* sp. (ESA 123, 16295 e SEMIA 6144), as quais foram estriadas em placas de petri de 15 mm contendo 20 mL do meio YM ágar, (Glicose 1%, Ágar 2%, Peptona 0,5%, Malte 0,3% e Extrato de Levedura 0,3%), por 5 dias a 28 °C em BOD (Fred; Waksman, 1928). Em seguida, no preparo dos inóculos, as bactérias foram transferidas de forma isolada para erlemeyer contendo 100 mL de meio líquido YEM “Yeast Extract Malt” (Glicose 1%, Peptona 0,5%, Malte 0,3% e Extrato de Levedura 0,3%) - previamente autoclavado por 20 min a 121°C; à 28 °C, sob agitação de 150 rpm por 72h em agitador orbital com incubadora, ao término da fase exponencial de crescimento das bactérias [$1,0 \times 10^9$ unidade formadoras de colônia (UFC)/mL].

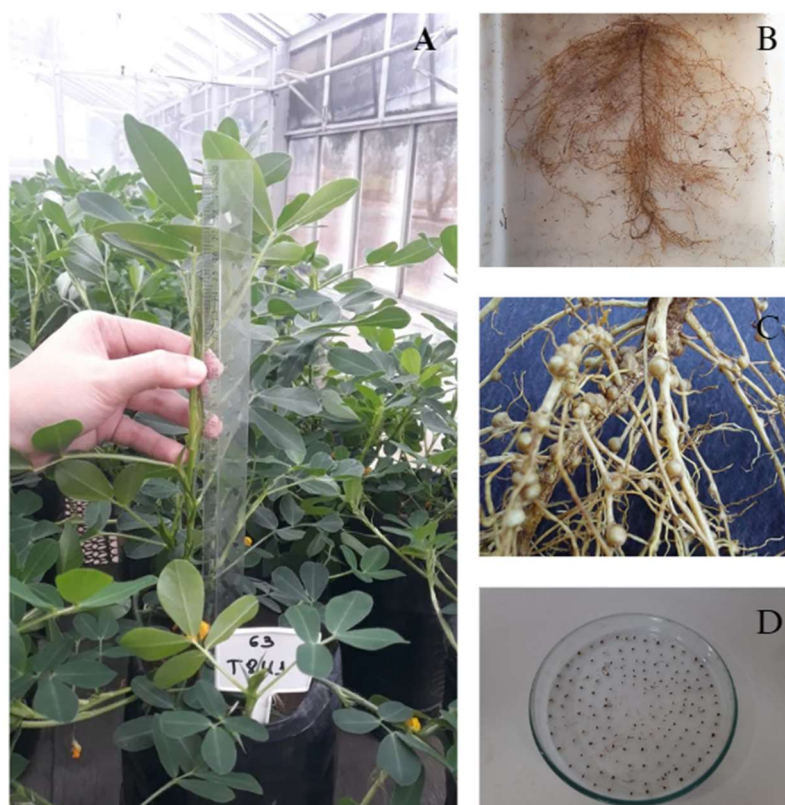
3.1.2. Variáveis de crescimento vegetativo

Foram avaliadas as seguintes variáveis de crescimento: altura de planta (ALT) (cm), mediu-se da base até o ápice da haste principal; massa seca da parte aérea (MSPA) (g);

comprimento de raiz principal (CR) (cm); massa seca de raízes (MSR) (g); número de nódulos por raiz (NNR) (g) e massa seca de nódulos (MSN) (g), o material foi seco em estufa com circulação de ar forçada à temperatura de 65 °C, durante aproximadamente 72h até atingir massa constante, após a secagem o material foi pesado em balança de precisão.

As medições da altura de planta foram feitas com o auxílio de régua e tesouras na separação do material vegetal da parte aérea. As raízes ainda juntas ao solo franco arenoso foram dispostas em bandejas fundas e adicionou-se água gradualmente para melhor preservação das raízes. Posteriormente armazenadas em sacos de papel kraft e levadas a estufa. A contagem e separação de nódulos se deu após a secagem do material, necessitou-se do auxílio de pinças e placas de petri (Figura 2).

Figura 2. Coleta de dados para análise das variáveis de crescimento vegetativo em plantas de amendoim. **(A)** Comprimento da parte aérea; **(B)** Separação das raízes do solo; **(C)** Aglomeração de nódulos nas raízes e **(D)** Contagem de nódulos após secagem em estufa.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

3.1.3 Análise de nitrogênio

A análise de nitrogênio total da parte aérea das plantas (NTA) (g N/kg) foi baseada no

método de digestão sulfúrica desenvolvido por Kjeldahl e descrito por Bezerra Neto e Barreto (2011). Após 72h de secagem em estufa, o material vegetal seco foi triturado em moinho. Uma alíquota com 2 mg do material vegetal seco, 50 mg de sulfato de sódio, 0,5 mg sulfato de cobre (5%) e 5 mL de ácido sulfúrico foram misturados para a pré-digestão a frio em temperatura ambiente durante 12 horas, em seguida a solução foi aquecida em um bloco digestor a 350 °C até que toda matéria orgânica estivesse dissolvida e a solução clara. Uma alíquota de 1 mL do extrato digerido foi adicionada em um balão volumétrico (50 mL) contendo 40 mL de água deionizada, 1 mL de hidróxido de sódio (10%), 1 mL de silicato de sódio (10%) e 2 mL do reagente de Nessler, o volume foi completado com água deionizada para 50 mL. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 410 nm e a partir do teor de nitrogênio foi calculado os elementos acumulados na parte aérea, multiplicando o teor de nitrogênio pela massa seca da parte aérea, de acordo com Alcantara et al. (2014).

3.1.4. Análises estatísticas

Os dados coletados foram digitalizados em tabelas no *Libre Office Community* e salvos em formato DBASE. Possível formato para extração de dados pelo software *Sisvar* versão 5.6 (Ferreira, 2015), os quais foram submetidos à análise de variância pelo teste F e a comparação de médias pelo de Teste de Tukey com 5% de significância. Dos relatórios gerados fez-se a tabela de análise de variância e disposição das letras nos gráficos; letras minúsculas comparam os tratamentos e as maiúsculas comparam os regimes hídricos dentro de cada tratamento. Para a produção dos gráficos utilizou-se o software *GraphPad Prism* versão 10.1.2 (Motulsky, 2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis de crescimento vegetativo

As sementes de amendoim do genótipo BRS 421 apresentaram, no geral, emergência tardia. As primeiras emergências se deram com seis dias subseqüente à sementeira, no entanto, em sua maioria, ocorreram de oito a treze dias. Na fase seguinte, de floração, observou-se as primeiras composições florais em um intervalo de aproximadamente 30 a 37 dias após primeira emergência (DAE).

A oscilação do clima nesse período com mudança frequente de temperatura, alta precipitação e umidade na casa de vegetação, podem ter prolongado os prazos preestabelecidos para as fases de desenvolvimento fenológico. Durante o período de estresse hídrico, após suspensão da rega, observou-se que o solo absorveu parte da umidade relativa do ar postergando o aparecimento dos sintomas morfofisiológicos nas plantas de amendoim e conseqüentemente sua cronologia.

O fator climático mais importante para o crescimento da planta e o desenvolvimento do amendoim é a temperatura. A fase vegetativa da planta é prolongada em temperaturas abaixo do ótimo, o poder germinativo é reduzido proporcionalmente a redução de temperatura adiando o início da floração (Devechio et al, 2021).

Apesar de prolongado o aparecimento dos sintomas iniciais, as plantas exibiram uma série de sinais de estresse hídrico devido a suspensão da rega (Figura 3). Entre essas características estão; murcha, enrolamento, alterações na cor e textura das folhas, que se tornaram amareladas, acinzentadas e secas – clorose; redução no crescimento e prostração do caule ao solo. Um dos primeiros sintomas do estresse hídrico é a diminuição no teor relativo de água nas folhas, gerando variações no potencial hídrico, de turgor e ajustamento osmótico nos tecidos vegetais. Essas mudanças são tentativas adaptativas de reduzir a perda de água foliar através da transpiração, priorizando o uso de recursos hídricos para partes mais vitais, visando minimizar os danos e maximizar a sobrevivência em condições adversas (Silva, 2021; Thangthong et al., 2016).

Após a reidratação das plantas, as folhas recuperaram sua turgidez e coloração, e o caule retornou a uma posição vertical. A cultura do amendoim demonstra uma rápida capacidade de recuperação e atividade estomática, embora esta característica seja governada geneticamente, resultando em variações entre diferentes materiais (Pallas et al., 1979; Távora; Melo, 1991).

Figura 3. Comparação entre plantas de amendoim genótipo BRS 421 sob 13 dias de restrição hídrica, com os seguintes tratamentos: **(A)** sem nitrogênio, **(B)** com nitrogênio, **(C)** ESA 123, **(D)** CEPA 16295, **(E)** SEMIA 6144, **(F)** ESA 123 x CEPA 16295, **(G)** ESA 123 x SEMIA 6144 e **(H)** CEPA 16295 x SEMIA 6144.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

As variáveis de crescimento vegetativo do genótipo BRS 421 apresentaram diferença significativa na interação regime hídrico e tratamento, para as variáveis analisadas: altura (ALT), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), número de nódulos por raiz (NNR) e massa seca de nódulos (MSN) a $p \leq 0,01$, com coeficiente de variação até 20%. Comprimento de raiz (CR) e nitrogênio da parte aérea (NPA) não se mostraram significativos a 1% e 5%, de acordo com o teste F (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância para as variáveis: altura de planta (ALT) (cm), massa seca da parte aérea (MSPA) (g), comprimento da raiz (CR) (cm), massa seca de raiz (MSR) (g), número de nódulos por raiz (NNR), massa seca de nódulos (MSN) (g) e nitrogênio total da parte aérea (NPA) (dag kg.g) no genótipo de amendoim BRS 421 inoculado com rizóbios (ESA 123, CEPA 16295 e SEMIA 6144), isolados e consorciados, mais os manejos com e sem nitrogênio (testemunha absoluta), submetidos a déficit hídrico. Campina Grande-PB, 2023.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio						
		ALT	MSPA	CR	MSR	NNR	MSN	NPA
Regime Hídrico	1	202,99**	51,73**	40,52*	2,556**	14081,77**	0,0175**	709,02**
Tratamentos	7	39,85**	6,28**	42,73**	0,172*	1875,34**	0,0010**	59,29ns
Regime Hídrico x Tratamento	7	16,84**	9,68**	3,55ns	0,449**	2833,84**	0,0006**	92,08ns
Resíduo	48	4,85	1,16	6,54	0,06	367,11	0,0001	67,79
CV (%)		8,90	16,81	9,74	20,32	16,81	18,39	33,33

ns – não significativo; ** significativo a 1%; * significativo a 5% de probabilidade de erro pelo Teste F.

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

De acordo com o gráfico da variável altura (ALT), as estirpes ESA 123 e CEPA 16295 x SEMIA 6144 promoveram as maiores médias quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico, com variação média entre 25,60 cm e 25,90 cm. Sob condição irrigada destacaram-se a CEPA 16295 (28,22 cm) e ESA 123 x SEMIA 6144 (28,40 cm) (Figura 4A). No entanto, apesar de apresentarem médias mais altas, não diferiram estatisticamente do tratamento sem nitrogênio.

Nahrawy e colaboradores (2020) obtiveram resultados semelhantes, estudando os efeitos da compatibilidade biológica entre as linhagens *Bradyrhizobium japonicum* e *Trichoderma* no crescimento das plantas de soja em que, após 60 dias da semeadura, o comprimento da parte aérea alcançou valores significativos de 30,43 cm nos tratamentos de coinoculação, em comparação com os tratamentos de inoculação única, mesmo sob condições de estresse hídrico.

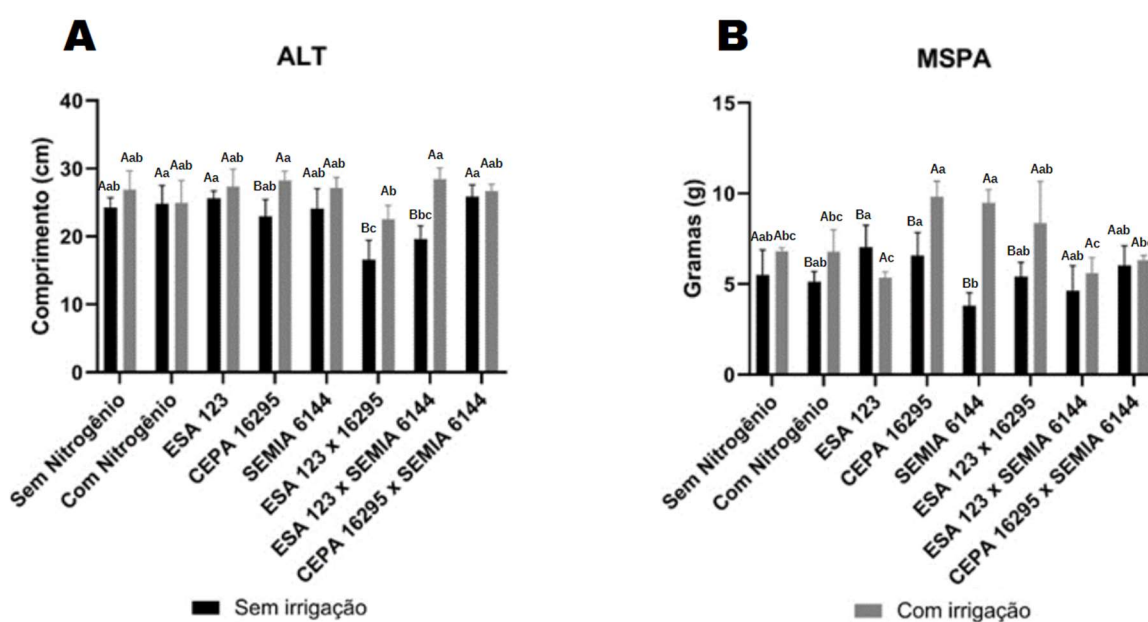
Para a massa seca da parte aérea (MSPA), em condições de déficit hídrico, houve maior média para as estirpes, ESA 123 (7,04 g), CEPA 16295 (6,58 g) e CEPA 16295 x SEMIA 6144 (6,03 g), contudo não diferiram estatisticamente. Sob circunstância de irrigação, CEPA 16295 e SEMIA 6144 demonstraram maiores médias de forma isolada, 9,82 g e 9,49 g respectivamente e ESA 123 x CEPA 16295 de forma consorciada, com média de 8,35g (Figura 4B).

Em um estudo sobre a eficiência das cepas de *Bradyrhizobium* na mitigação das consequências do déficit hídrico, Barbosa et al. (2018) apresentaram resultados análogos para a variável massa seca da parte aérea. Nos tratamentos sob déficit hídrico, a massa seca da parte aérea foi reduzida em nove dos 12 tratamentos avaliados. No CNPA 76 AM inoculado com ESA 123, houve a menor redução, cerca de 7% em relação ao tratamento irrigado; a maior redução da massa seca da parte aérea foi observada no tratamento com nitrogênio, com uma diminuição de 57% em relação ao tratamento irrigado. Essas variações indicam que, em geral,

a cepa ESA 123 foi a mais eficiente em evitar reduções da massa seca da parte aérea de plantas sob condições de estresse hídrico.

Além disso, a partir de análises bioquímicas, observaram que os tratamentos inoculados com a cepa ESA 123 apresentaram redução na atividade de enzimas do estresse oxidativo nos genótipos de amendoim. Isso indica a prevalência de outras vias fisiológicas para reduzir os danos causados pela seca, similar ao que foi recentemente observado em milho inoculado com bactérias diazotróficas que codificam genes relacionados ao estresse oxidativo (Fukami et al., 2017).

Figura 4. Genótipo de amendoim BRS 421 inoculado com rizóbios (ESA 123, CEPA 16295 e SEMIA 6144), isolados e consorciados, submetidos a déficit hídrico. **(A)** Altura da planta (ALT) (cm) e **(B)** massa seca da parte aérea (MSPA) (g). Letras minúsculas comparam os tratamentos; letras maiúsculas comparam os regimes hídricos dentro de cada tratamento, (Teste de Tukey, $p \leq 0,05$).



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

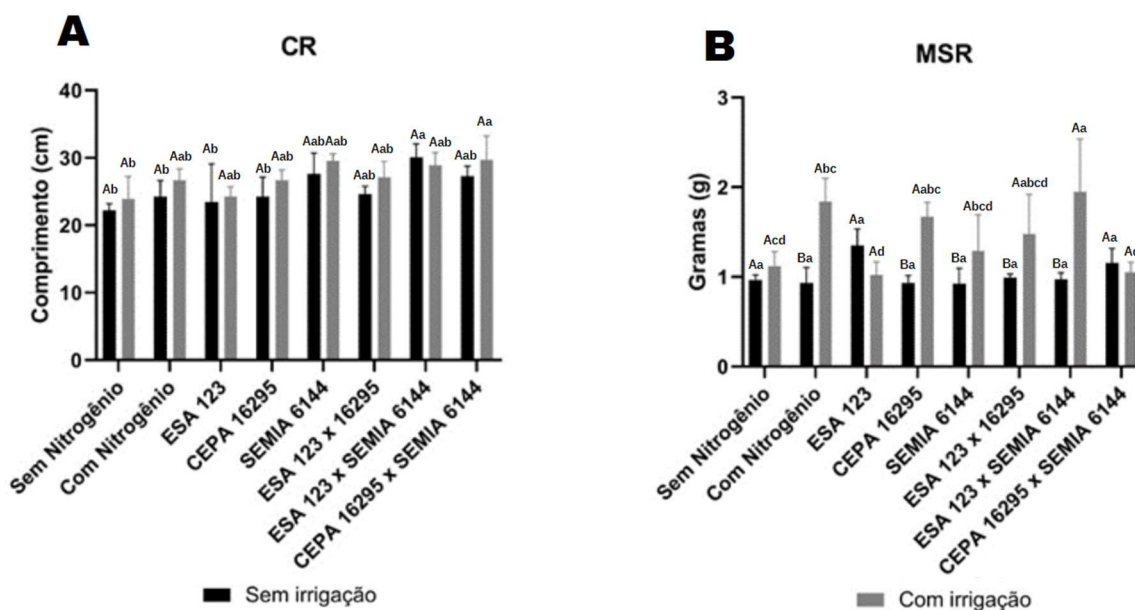
Em consonância a análise estatística comparativa de variâncias e médias, o teste F, não houve diferença significativa na interação regime hídrico e tratamento para a variável comprimento de raiz (CR), sendo não significativo a 1% ou 5%. Contudo, de acordo com a disposição do gráfico e relatório de médias, SEMIA 6144 isolada e consorciada com as estirpes CEPA 16295 (29,70 cm) e ESA 123 (30,06 cm) obtiveram as melhores médias no tratamento com e sem irrigação. A análise do CR indica que as estirpes utilizadas nesse estudo, podem ser capazes de fornecer às plantas de amendoim o nitrogênio necessário para o crescimento normal da raiz mesmo sob estresse hídrico (Figura 5A).

Estudos realizados com amendoim, verificaram que a ausência de água reduziu os parâmetros de crescimento vegetativo, porém, não paralisou seu crescimento. Uma das alternativas das plantas para reduzir os prejuízos acarretados pelo déficit hídrico é a redução da parte aérea e a expansão da raiz, desse modo, a planta pode economizar água e aumentar a área radicular para explorar um maior volume de solo (Santos, 2017).

Ao analisar a variável massa seca de raiz (MSR) no regime irrigado, quase todos os tratamentos apresentaram médias mais altas em comparação ao regime não irrigado. A combinação das rizobactérias, ESA 123 x SEMIA 6144 (1,95 g) destaca-se junto aos tratamentos CEPA 16295 e com nitrogênio, com médias entre 1,67 g e 1,84 g, respectivamente. Em condição de déficit hídrico, houve maior média para os tratamentos com as estirpes ESA 123 (1,35 g) e na associação entre CEPA 16295 x SEMIA 6144 (1,16 g), superando o tratamento com o nitrogênio, evidenciando possíveis benefícios desses isolados para as plantas (Figura 5B).

Rizobactérias promotoras de crescimento, como os rizóbios, podem despertar o crescimento radicular, que além da FBN, podem induzir a produção do hormônio citocinina nas raízes, aumentando a proliferação dos pelos absorventes. Furlan (2017), em experimentos com amendoim inoculados com *Bradyrhizobium* sp., observou aumento no peso seco de raízes submetidas a estresse hídrico, evidenciando o benefício que as bactérias promoveram às plantas. Numa situação de estresse hídrico, raízes maiores seriam capazes de explorar melhor o solo e captar água em maiores profundidades, nessas condições, as plantas inoculadas poderiam ser beneficiadas pelos estímulos dos microrganismos, suportando melhor possíveis condições adversas na implantação da cultura.

Figura 5. Genótipo de amendoim BRS 421 inoculado com rizóbios (ESA 123, CEPA 16295 e SEMIA 6144), isolados e consorciados, submetidos a déficit hídrico. **(A)** Comprimento da raiz (CR) (cm) e **(B)** massa seca da raiz (MSR) (g). Letras minúsculas comparam os tratamentos; letras maiúsculas comparam os regimes hídricos dentro de cada tratamento, (Teste de Tukey $p \leq 0,05$).



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Em relação ao número de nódulos por raiz (NNR), verificou-se aumento nas médias dos tratamentos sob déficit hídrico, ESA 123 e as associações ESA 123 x CEPA 16295 e CEPA 16295 x SEMIA 6144, com médias de 106, 114 e 116 nódulos respectivamente por tratamento. Na condição irrigada, quase todos os tratamentos apresentaram melhores médias em comparação ao regime sem irrigação, destacaram-se CEPA 16295 e SEMIA 6144, com 154 e 167 nodulações por raiz e as associações ESA 123 x SEMIA 6144 e ESA 123 x CEPA 16295, com 146 a 149 nódulos por tratamento (Figura 6A).

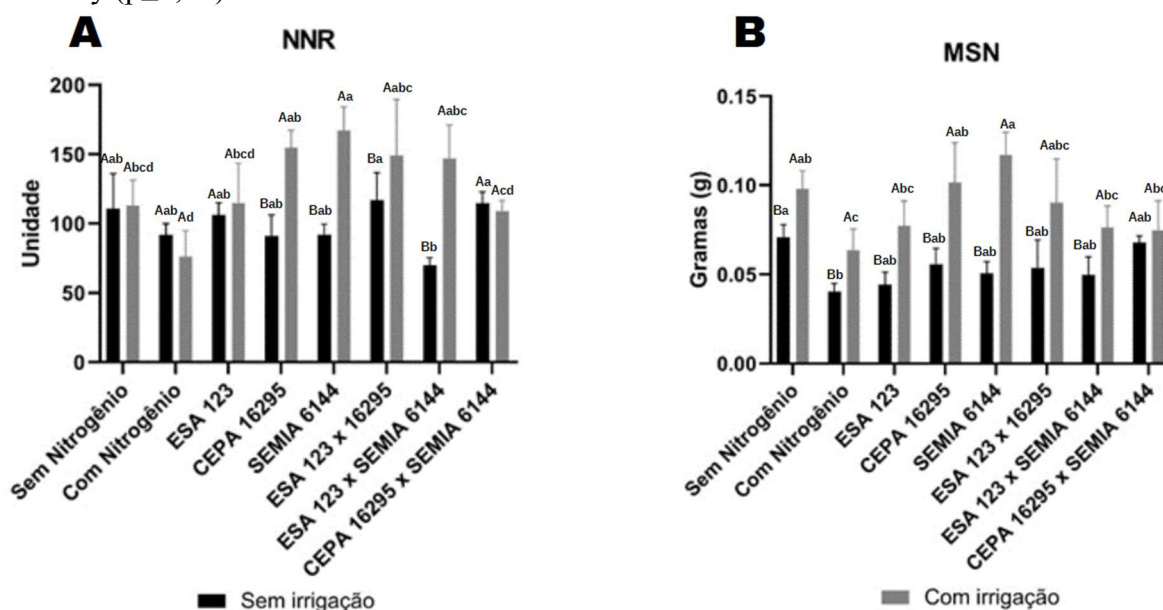
Aumentos no crescimento vegetativo estão associados ao incremento do suprimento de nitrogênio por meio da fixação biológica de nitrogênio (Ayalew et al., 2022). Esses efeitos podem estar relacionados à ocorrência de nodulação heterogênea, resultando no aumento da área radicular e, conseqüentemente, dos locais de infecção (Fukami et al., 2018; Galindo et al., 2018). Segundo Ayalew et al. (2021), o aumento nas variáveis de produtividade associadas ao uso de bactérias fixadoras de nitrogênio está ligado a um maior crescimento, devido ao acúmulo de assimilados, possivelmente decorrente da maior nutrição de N através da fixação biológica de nitrogênio (FBN).

Resultados semelhantes foram relatados por Barbosa et al. (2021), que, ao analisar os benefícios da coinoculação da soja com *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium* spp. por meio de metanálise, encontraram um aumento de 10,6% na massa de nódulos e de 3,2% no rendimento de grãos, quando comparadas a plantas inoculadas apenas com *Bradyrhizobium* spp.

Para a variável massa seca de nódulos (MSN) na condição não irrigada, percebeu-se uma variação das médias entre 0,068 g para o tratamento CEPA 16295 x SEMIA 6144 e 0,071 g para o tratamento sem nitrogênio, embora apresentem média superior, não diferiram estatisticamente quando comparado ao tratamento sem nitrogênio. Na disposição irrigada a variação estende-se entre 0,101 g para CEPA 16295 a 0,117 g para SEMIA 6144, todos os tratamentos apresentaram médias elevadas em comparação ao regime sob déficit hídrico (Figura 6B).

A massa seca dos nódulos é uma variável importante na avaliação da nodulação por rizóbios em virtude da melhor correlação com o desempenho simbiótico. Quanto ao processo de fixação biológica do nitrogênio, o resultado de número e massa seca de nódulos são parâmetros indiretos que avaliam esse processo (Peixoto et al., 2010). Cesari e colaboradores (2019), em estudo com objetivo de reduzir efeitos negativos da restrição hídrica no crescimento de *A. hypogaea* por meio do uso de *Bradyrhizobium* sp. e *Azospirillum brasiliense*, mostraram que tanto a inoculação simples como a dupla podem ter favorecido o crescimento do amendoim sob condição hídrica restrita, a inoculação com SEMIA 6144 foi melhor. Os resultados mostraram que a inoculação com SEMIA 6144 reverteu os efeitos negativos nos parâmetros de crescimento e nodulação do amendoim.

Figura 6. Genótipo de amendoim BRS 421 inoculado com rizóbios (ESA 123, CEPA 16295 e SEMIA 6144), isolados e consorciados, submetidos a déficit hídrico. **(A)** Número de nódulos por raiz (NNR) e **(B)** Massa seca de nódulos (MSN) (g). Letras minúsculas comparam os tratamentos; letras maiúsculas comparam os regimes hídricos dentro de cada tratamento, (Teste de Tukey ($p \leq 0,05$)).



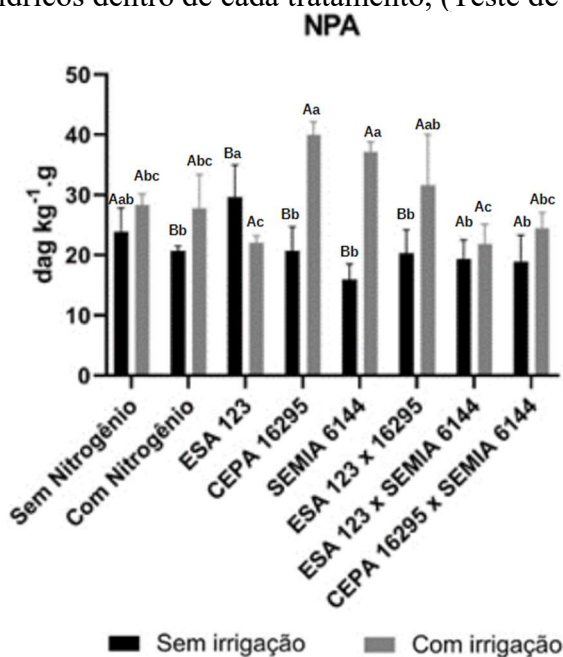
Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

4.2 Teor de nitrogênio na parte aérea

A análise de nitrogênio da parte aérea (NPA), na condição irrigada, revelou que os tratamentos inoculados com CEPA 16295 e SEMIA 6144 e a associação de ESA 123 x CEPA 16295 promoveram as melhores médias. Por sua vez, na condição não irrigada, ESA 123 de forma isolada, apresentou média superior aos demais tratamentos com 29,64 dag kg⁻¹. No entanto, de acordo com o teste de médias, não houve diferença significativa na interação entre regime hídrico e tratamento, sendo não significativo a 1% e 5% (Figura 7).

Estudos anteriores relataram variações na competitividade e eficácia da FBN entre cepas de *Bradyrhizobium*. Jovino et al. (2022) avaliaram a eficiência agrônômica e a fixação biológica de nitrogênio (FBN) das linhagens elite ESA 123 e SEMIA 6144 em quatro campos no semiárido brasileiro e concluíram que a concentração de N na parte aérea das plantas foi maior em apenas um dos campos, sem diferenças significativas nos demais. O teor de N total não apresentou variações significativas, com médias de 78,8, 33,5 e 21,0 kg ha⁻¹ de N. No entanto, a inoculação com ambas as cepas aumentou significativamente o rendimento de vagens e grãos em comparação com plantas não inoculadas nos quatro locais experimentais.

Figura 7. Nitrogênio total da parte aérea (NPA) (dag kg⁻¹.g) em genótipo de amendoim BRS 421 inoculado com rizóbios (ESA 123, CEPA 16295 e SEMIA 6144), isolados e consorciados, submetidos a déficit hídrico. Letras minúsculas comparam os tratamentos; letras maiúsculas comparam os regimes hídricos dentro de cada tratamento, (Teste de Tukey ($p \leq 0,05$)).



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

O efeito da inoculação com *Bradyrhizobium* sp. na raiz do amendoim é a promoção da fixação de N atmosférico pelas bactérias (Dobbelaere et al., 2003), que pode fornecer praticamente a quantidade de nutriente necessário ao desenvolvimento das plantas (Muller et al., 2016) e a produção de hormônios, como auxinas, giberelinas e citocinas, que afetam a morfologia e a fisiologia das raízes, melhorando inclusive a absorção de água superficial (Perin et al., 2003). No entanto as condições ambientais e competição com outros microrganismos podem interferir nos resultados na interação entre planta e bactéria (Quadros et al., 2014).

5 CONCLUSÃO

O genótipo de amendoim BRS 421 inoculado com *Bradyrhizobium* e cultivado em condições de déficit hídrico, em casa de vegetação, apresentou efeitos significativos no crescimento vegetativo das plantas e no teor de nitrogênio na parte aérea, além da mitigação dos efeitos do déficit hídrico, com destaque para os inoculantes: ESA 123, CEPA 16295, SEMIA 6144 e a associação CEPA 16295 x SEMIA 6144. Esses resultados confirmam o potencial desses inoculantes como estratégia para promover a cultura do amendoim em regiões com escassez hídrica nas diversas formas de cultivo, como agroecológico, orgânica e tradicional.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, H. M.; FIAZ, S.; HAFEEZ, S.; ZAHRA, S.; SHAH, A. N.; GUL, B.; AZIZ, O.; RAHMAN, M. U.; FAKHAR, A.; RAFIQUE, M.; CHEN, Y.; YANG, S. H.; WANG, X. Plant growth-promoting rhizobacteria eliminate the effect of drought stress in plants: a review. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, p. 875774, 2022.
- ALCANTARA, R. M. C. M.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G.; ROCHA, M. D. M.; CARVALHO, J. D. S. Eficiência simbiótica de progenitores de cultivares brasileiras de feijão-caupi. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, n. 1, p. 1-9, 2014.
- ANDRADE, L. A.; SANTOS, C. H. B.; FREZARIN, E. T.; SALES, L. R.; RIGOBELLO, E. C. Plant growth-promoting rhizobacteria for sustainable agricultural production. *Microorganisms*, v. 11, n. 4, p. 1088, 2023.
- ANSARI, W. A.; ATRI, N.; PANDEY, M.; SINGH, A. K.; SINGH, B.; PANDEY, S. Influence of Drought Stress on Morphological, Physiological and Biochemical Attributes of Plants: A Review. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, v.16, n.4, p.697-709, 2019.
- ARMANDO JUNIOR, J. *Floração em amendoim (Arachis hypogaea L.)*. Campinas: Unicamp, 1990,83p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Campinas, 1990.
- ASSIS, G. M. L.; VALLS, J. F. M.; CARVALHO, M. A.; VALENTIM, J. F.; ANDRADE, C. M. S. Descritores morfológicos para condução de ensaios de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade em *Arachis pintoi* Krapov. & W. C. Greg. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2010. 25 p. Documentos, 117.
- AYALEW, T.; JOSÉ, T.; PETRA, H.; CADISCH, G. Crescimento foliar, trocas gasosas e desempenho de assimilação de variedades de feijão-caupi em resposta à inoculação de *Bradyrhizobium*. *Heliyon*, v. 8, p. 1-8, 2022.
- AYALEW, T.; JOSÉ, T.; PETRA, H.; CADISCH, G. Resposta de rendimento de variedades de feijão-caupi cultivadas em campo à inoculação de *Bradyrhizobium*. *Revista Agronomia*, v. 113, p. 3258-3268, 2021.
- BARBOSA, D. D.; BRITO, S. L.; FERNANDES, P. I.; FERNANDES-JÚNIOR, P. D.; LIMA, L. M. A inoculação de cepas de *Bradyrhizobium* pode reduzir os efeitos do déficit hídrico no amendoim? *Jornal Mundial de Microbiologia e Biotecnologia*, v. 34, p. 1-11, 2018.
- BARBOSA, J. Z.; HUNGRIA, M.; SENA, J. V. da S.; POGGÈRE, G.; REIS, A. R.; CORRÊA, R. S. Metanálise revela benefícios da coinoculação de soja com *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium* spp. no Brasil. *Ecologia Aplicada do Solo*, v. 163, p. 1-10, 2021.
- BELTRÃO, N. E. M.; SOUSA JUNIOR, S. P.; OLIVEIRA, M.; FIDELES FILHO, J.; SILVA, M. *Ecofisiologia do amendoim. Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal*. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 125-162. (2011).

BERG, G.; KÖBERL, M.; RYBAKOVA, D.; MÜLLER, H.; GROSCH, R.; SMALLA, K. Plant microbial diversity is suggested as the key to future biocontrol and health trends. *Fems Microbiol. Ecol.* 2017, 93, 50.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L.P. Análises químicas e bioquímicas em plantas. Imprensa Universitária da UFRPE. p. 261, 2011.

BHATTACHARYYA, P. N.; JHA, D. K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2012, 28, 1327–1350.

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. 2019.

BROUGHTON, W. J.; ZHANG, F.; PERRET, X.; STAEHELIN, C. Signals exchanged between legumes and Rhizobium: agricultural uses and perspectives. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 252, n. 1, p. 129– 137, may 2003.

BUÉE, M.; DE BOER, W.; MARTIN, F.; VAN OVERBEEK, L.; JURKEVITCH, E. The rhizosphere zoo: An overview of plant-associated communities of microorganisms, including phages, bacteria, archaea, and fungi, and of some of their structuring factors. *Plant Soil* 2009, 321, 189–212.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z. G.; CREAMER, R.; DE DEYN, G. B.; DE GOEDE, R. G. M. ; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUIJPER, T. W. M.; MADER, P.; PULLEMAN, M. M.; SUKKEL, W.; VAN GROENIGEN, J. W.; BRUSSAARD, L. Qualidade do solo – Uma revisão crítica. *Biologia e Bioquímica do Solo*, 20: 105-125, 2018.

CATO, S. C.; ALBERT, L. H. B.; MONTEIRO, A. C. B. A. Amendoimzeiro. CASTRO, P. R., Castro, P. R., KLUGE, R. A., & SESTARI, I. Manual de fisiologia vegetal: fisiologia de cultivos. *Agrônômica Ceres*. 2008.

CESARI, A. B.; PAULUCCI, N. S.; LÓPEZ-GÓMEZ, M.; HIDALGO-CASTELLANOS, J.; LLUCH PLÁ, C.; DARDANELLI, M. S. Desempenho de Bradyrhizobium e Bradyrhizobium-Azospirillum no alívio dos efeitos de condições de restrição hídrica durante os estágios iniciais de crescimento de *Arachis hypogaea*. *Jornal de Regulamentação do Crescimento Vegetal*, v. 1362-1374, 2019.

CHAVARRIA, G.; SANTOS, H.P. Plant water relations: absorption, transport and control mechanisms. In: MONTANARO, G.; DICHIO, B. (Org.). *Advances in selected plant physiology aspects*. Rijeka: Intech, 2012. v.1, p.105-132.

CHIBEBA, A. M.; GUIMARÃES, M. F.; BRITO, O. R.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* promotes early nodulation. *American Journal of Plant Sciences*, v. 6, n. 10, p. 641-1649, 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Amendoim. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/899-amendoim>.

- CONTI, V.; MARERI, L.; FALERI, C.; NEPI, M.; ROMI, M.; CAI, G.; CANTINI, C. Drought stress affects the response of italian local tomato (*solanum lycopersicum* L.) varieties in a genotype-dependent manner. *Plants*, v.8, n.9, p.336, 2019.
- CRONQUIST, A. *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. Columbia University Press, New York, 1981.
- CRUZ N. T.; PORTO, E. M. V.; RAMOS, B. L. P.; SANTOS, H. P.; SEIXAS, A. A.; SANTOS, A. P. S. Estresse hídrico em plantas forrageiras: uma breve revisão. (2023).
DE LA FUENTE CANTÓ, C.; SIMONIN, M.; KING, E.; MOULIN, L.; BENNETT, M.J.; CASTRILLO, G.; LAPLAZE, L. An extended root phenotype: The rhizosphere, its formation and impacts on plant fitness. *Plant J.* 2020, 103, 951–964.
- DEVECHIO, F. D. F. D. S.; PEDROSO, R. M.; SILVA, B. C.; SANTOS, D. J. D.; RAMOS, F. C.; BELCHIOR, F. S.; COSTA, H. A. D. Manejo fitotécnico de culturas leguminosas e oleaginosas CULTURA: AMENDOIM. 2021.
- DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Efeitos de diazotróficos na promoção do crescimento das plantas na rizosfera. *Revisão Crítica CRC em Ciência de Plantas*, v. 22, p. 107-149, 2003.
- DUARTE, A. Amendoim – A Noz Subterrânea. Cultivo em Aljezur. Al-Rihana, Aljezur/Portugal, p. 1-8, 2008.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Amendoim: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília. 2009.
- FERGUSON, J. E. Seed biology and seed systems for *Arachis pintoi*. In: KERRIDGE, P. C.; HARDY, B. (Ed.). *Biology and agronomy of forage Arachis*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1995. p. 122-133.
- FERRARI-NETO, J.; COSTA, C. H. M.; CASTRO, G. S. A. Ecofisiologia do amendoim. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 11, n. 4,1-13, 2012.
- FERREIRA, D. F. Sisvar® (Software estatístico): Sistema de análise de variância para dados balanceados, versão 5.6, Lavras: DEX/UFLA, 2015.
- FRED, E. B.; WAKSMAN, S. A. *Yeast Extract – Mannitol Agar Laboratory Manual of General Microbiology*. New York: McGraw Hill, 1928.
- FUKAMI J.; OLLERO, F. J.; MEGÍAS, M.; HUNGRIA, M. Fitohormônios e indução de tolerância ao estresse da planta e genes de defesa por sementes e inoculação foliar com células e metabólitos de *Azospirillum brasilense* promovem o crescimento do milho. *AMB Expresso* 7:153, 2017.
- FUKAMI, J.; CERZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefícios que vão muito além da fixação biológica de nitrogênio. *AMB Express*, v. 8, p. 1-12, 2018.
- FURLAN, A.; LLANES, A.; LUNA, V.; CASTRO, S. *Physiological and biochemical*

responses to drought stress and subsequent rehydration in the symbiotic association peanut *Bradyrhizobium* sp. *ISRN Agronomy*, p. 8, 2017.

GALINDO, F. S.; DA SILVA, E. C.; PAGLIARI, P. H.; FERNANDES, G. C.; RODRIGUES, W. L.; BIAGINI, A. L. C.; BARATELLA, E. B.; JÚNIOR, C. A. S.; NETO, M. J. M.; SILVA, V. M.; MURAOKA, T.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Nitrogen recovery from fertilizer and use efficiency response to *Bradyrhizobium* sp. and *Azospirillum brasilense* combined with N rates in cowpea-wheat crop sequence. *Applied Soil Ecology*, v. 157, p. 103764, 2021.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA, M.; BUZETTI, S.; LUDKIEWICZ, M. G.; ROSA, P. A.; TRITAPEPE, C. A. Technical and economic viability of co-inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean cultivars in the Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, p. 51-56, 2018.

GOMES, R. V.; COUTINHO, J. L. B. Gergelim. In: CAVALCANTI, F. J. A.; SANTOS, J. C. P.; PEREIRA, J. R.; LEITE, J. P.; SILVA, M. C. L.; FREIRE, F. J.; SILVA, D. J.; SOUSA, A. R.; MESSIAS, A. S.; FARIA, C. M. B.; BURGOS, N.; LIMA JÚNIOR, M. A.; GOMES, R.V.; CAVALCANTI, A. C.; LIMA, J. F. W. F. *Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco (2ª aproximação)*. 2.ed. Recife, IPA, p. 144, 1998.

GOUDA, S.; KERRY, R. G.; DAS, G.; PARAMITHIOTIS, S.; SHIN, H.-S.; PATRA, J. K. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiol. Res.* 2018, 206, 131–140.

HUNGRIA, M. Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja, 36 p. (Documentos, 325). 2011.

ILANGUMARAN, G.; SMITH, D. L. Plant growth promoting rhizobacteria in amelioration of salinity stress: A systems biology perspective. *Front. Plant Sci.* 2017, 8, 1768.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Amendoim: 2023 mantém cenário de expansão com exportações do grão em alta e retração para o óleo. Disponível em: <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=16190>.

JOSHI, R.; WANI, S.H.; SINGH, B.; BOHRA, A.; DAR, Z.A.; LONE, A.A.; PAREEK, A.; SINGLA-PAREEK, S.L. Transcription factors and plants response to drought stress: Current understanding and future directions. *Frontiers in Plant Science*, v.7, p.1029, 2016.

JOVINO, R. S.; SILVA, T. R.; RODRIGUES, R. T.; CARVALHO, J. R. S.; CUNHA, J. B. A.; LIMA, L. M.; SANTOS, R. C.; SANTOS, C. E. R. S.; RIBEIRO, P. R. A.; FREITAS, A. D. S.; MARTINS, L. M. V.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I. F. Elite *Bradyrhizobium* strains boost biological nitrogen fixation and peanut yield in tropical drylands. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 53, n. 3, p. 1623-1632, 2022.

JULIANO, F. F.; MASSAROLI, A. P.; LAMUELA-RAVENTOS, R. M.; ALVARENGA, J. F. R.; LIMA, L. M.; SANTOS, R. C.; SILVA, C. F.; ALENCAR, S. M. Do drought-adapted peanut genotypes have different bioactive compounds and ROS-scavenging activity?. *European Food Research and Technology*, v. 247, p. 1369-1378, 2021.

KALAM, S.; BASU, A.; PODILE, A.R. Functional and molecular characterization of plant growth promoting *Bacillus* isolates from tomato rhizosphere. *Heliyon* 2020, 6, e04734.

KALAM, S.; DAS, S.N.; BASU, A.; PODILE, A.R. Population densities of indigenous Acidobacteria change in the presence of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in rhizosphere. *J. Basic Microbiol.* 2017, 57, 376–385.

KAMBIRANDA, D. M.; VASANTHAIAH, H. K. N.; KATAM, R.; ANANGA, A.; BASHA, S. M.; NAIK, K. Impact of drought stress on peanut (*Arachis hypogaea* L.) productivity and food safety. In: Vasanthaiah, H. (Ed.). *Plants and Environment*, InTech, p. 249–272. (2011).
KESAVAN, P. C.; SWAMINATHAN, M. S. Modern technologies for sustainable food and nutrition security. *Curr. Sci.* 2018, 115, 1876–1883.

KHOSHRU, B.; MITRA, D.; KHOSHMANZAR, E.; MYO, E. M.; UNIYAL, N.; MAHAKUR, B.; MOHAPATRA, P. K.; PANNEERSELVAM, P.; BOUTAJ, H.; ALIZADEH, M.; CELY, M. V. T.; RANI, A. S. A. Current scenario and future prospects of plant growth-promoting rhizobacteria: An economic valuable resource for the agriculture revival under stressful conditions. *J. Plant Nutr.* 2020, 43, 3062–3092.

KOCH, G.; ROLLAND, G.; DAUZAT, M.; BÉDIÉE, A.; BALDAZZI, V.; BERTIN, N.; GUÉDON, Y.; GRANIER, C. Leaf production and expansion: A generalized response to drought stresses from cells to whole leaf biomass—a case study in the tomato compound leaf. *Plants*, v.8, n.10, p.409, 2019.

KRAPOVICKAS, A.; GREGORY, W.C. Taxonomy of the genus *Arachis* (Leguminosae). *Bonplandia, Corrientes*, v. 16, n. 1, p. 1-205, Dec. 2007.

LARCHER, W.; MORAES, J. P. A. V.; BAUER, H. Adaptive responses of leaf water potential, CO₂ gas exchange and water use efficiency of *Olea europaea* during drying and rewatering. In: MARGARIS, N. S.; MOONEY, H. A. (Eds.). *Components of productivity of Mediterranean-climate regions basic and Applied aspects*. The Hague: Junk Publishers, p. 77-84. (1981).

LIU, J.; MA, K.; CIAIS, P.; POLASKY, S. Reducing human nitrogen use for food production. *Sci. Rep.* 2016, 6, 30104.

MANTOVANI, D.; VESTE, M.; BOLDT-BURISCH, K.; FRITSCH, S.; KONING, L.A.; FREESE, D. Carbon allocation, nodulation, and biological nitrogen fixation of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) under soil water limitation. *Annals of Forest Research*, v. 58, n. 2, p. 259-274, 2015.

MARTINS, R. *O agronegócio do amendoim no Brasil*. Brasília: Embrapa, 585p. (2013).
MASSARIOLI, A. P.; SARTORI, A. G. O.; JULIANO, F. F.; SANTOS, R. C.; RAMOS, J. P. C.; LIMA, L. M.; ALENCAR, S. M. Optimizing Procedures for Antioxidant Phenolics Extraction from Skin and Kernel of Peanuts with Contrasting Levels of Drought Tolerance. *Foods* 2022, 11, 449.

MEENA, M.; SWAPNIL, P.; DIVYANSHU, K.; KUMAR, S.; TRIPATHI, Y. N.; ZEHRRA, A.; MARWAL, A.; UPADHYAY, R. S. PGPR-mediated induction of systemic resistance and physiochemical alterations in plants against the pathogens: Current perspectives. *J. Basic*

Microbiol. 2020, 60, 828–861.

MOTULSKY, H. J. GraphPad Prism (Software estatístico): Produção de gráficos, versão 10.1.2, Windows, 2023.

MÜLLER, T. M.; SANDINI, I. E.; RODRIGUES, J. D.; NOVAKOWISKI, J. H.; BASI, S.; KAMINSKI, T. H. Combinação de métodos de inoculação de *Azospirillum brasilense* com aplicação de fertilizante nitrogenado aumenta a produtividade do milho. *Ciência Rural*, v. 46, p. 210-215, 2016.

NAHRAWY, S. E; ELBAGORY, M; OMARA, A. E. D. Efeito da biocompatibilidade das linhagens *Bradyrhizobium japonicum* e *Trichoderma* no crescimento, nodulação e características fisiológicas da soja (*Glycine max L.*) sob condições de déficit hídrico. *Journal of Advances in Microbiology*, v. 11, p. 52-66, 2020.

NAKAGAWA, J.; ROSOLEM, C. A. O amendoim: Tecnologia de produção. Botucatu: FEPAF. 2011.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. Alterações fisiológicas no amendoim submetido ao estresse hídrico. *Revista Engenharia Agrícola*. Campina Grande, vol.4, n.1, p.41-45. (2000).

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*. 1. ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, p. 71-122, 2013.

NOGUEIRA, R.; TÁVORA, F. Ecofisiologia do amendoim (*Arachis hypogaea L.*). 2005.
PALLAS, J. E.; STANSELL, J. R.; KOSKE, T. J. Effects of drought on florunner peanuts. *Agronomy Journal*, Madson, v.71, p.853-858, 1979.

PARRAY, J. A.; JAN, S.; KAMILI, A. N.; QADRI, R. A.; EGAMBERDIEVA, D.; AHMAD, P. Current perspectives on plant growth-promoting rhizobacteria. *J. Plant Growth Regul.* 2016, 35, 877–902.

PEIXOTO, M. S. F. P.; PEIXOTO, C. C.; SAMPAIO, L. S. V.; SAMPAIO, H. S. V.; SOUZA, R. A. S.; ALMEIDA, J. R. C. Ação do herbicida alachlor na microbiota do solo, nodulação e rendimento de plantas de amendoim. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 9, n. 2, p. 60-70, 2010.

PEREIRA, J. W. L. D. E.; ALBUQUERQUE, M. B.; FILHO, P. A. M.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; LIMA, L. M.; SANTOS, R. C. Assessment of drought tolerance of peanut cultivars based on physiological and yield traits in a semiarid environment. *Agricultural Water Management*, v. 166, p. 70-76, 2016.

PEREIRA, J. W. L.; MELO-FILHO, P. A.; ALBUQUERQUE, M. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 4, p. 766-773, 2012.

PERIN, L.; SILVA, M. D.; FERREIRA, J. S.; CANUTO, E. L.; MEDEIROS, A. F. A.; OLIVARES, F. L.; REIS, V. M. Avaliação da capacidade de estabelecimento endofítico de estirpes de *Azospirillum* e *Herbaspirillum* em milho e arroz. *Revista Agronomia*, v. 37, p. 47-53, 2003.

QUADROS, P. D. D.; ROESCH, L. F. W.; SILVA, P. R. F. D.; VIEIRA, V. M.; ROEHRS, D. D.; CAMARGO, F. A. D. O. Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. *Revista Ceres*, v. 61, p. 209-218, 2014.

RYLE, G. J. A.; POWELL, C. E.; GORDON, A. J. The respiratory costs of nitrogen fixation in soyabean, cowpea, and white clover. II. Comparisons of the cost of nitrogen fixation and the utilization of combined nitrogen. *Journal of Experimental Botany*, v.30, p.145-153, 1979.
SANTOS, R. M.; DIAZ, P. A. E.; LOBO, L. L. B.; RIGOBELLO, E. C. Use of plant growth-promoting rhizobacteria in maize and sugarcane: characteristics and applications. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 4, p. 136, 2020.

SANTOS, J. W. M. Diversidade genética e potencial simbiótico de bactérias de nódulos de *Arachis* spp. cultivadas em solos do Semiárido. [s.l.]: Campina Grande, UEPB, p. 65, 2017.
SANTOS, J. W. M.; SILVA, J. F.; FERREIRA, T. D. S.; DIAS, M. A. M.; FRAIZ, A. C. R.; ESCOBAR, I. E. C.; SANTOS, R. C.; LIMA, L. M.; MORGANTE, C. V.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I. Molecular and symbiotic characterization of peanut bradyrhizobia from the semi-arid region of Brazil. *Applied soil ecology*, v. 121, p. 177-184, 2017.

SANTOS, R. D.; Vale, L. V.; SILVA, R.; ALMEIDA, R. D.; ALMEIDA, V. M. R. A. Recomendações técnicas para o cultivo de amendoim precoce no período das águas. Campina Grande: Embrapa-CNPA, 1996. 21p.

SAYYED, R. Z.; SEIFI, S.; PATEL, P. R.; SHAIKH, S. S.; JADHAV, H. P.; EL ENSHASY, H. Siderophore production in groundnut rhizosphere isolate, *Achromobacter* sp. RZS2 influenced by physicochemical factors and metal ions. *Environ. Sustain.* 2019, 2, 117–124.
SILVA, R. D. C. M. Respostas morfogênicas e estruturais de leguminosas forrageiras à frequência de corte e balanço hídrico negativo. 2021.

SIMÕES, T. T. Avaliação da composição nutricional e das operações unitárias envolvidas nos processos de extração de diferentes leites de origem vegetal para a análise de custo benefício. 2021.

SOUZA, R.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. P. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genet. Mol. Biol.* 2015, 38, 401–419.

STACEY, M. G.; OSAWA, H.; PATEL, A.; GASSMANN, W.; STACEY, G. Expression analyses of *Arabidopsis* oligopeptide transporters during seed germination, vegetative growth and reproduction. *Planta* 223: 291 – 305. 2006.

TAÍZ, L.; ZIEGER, E. *Fisiologia vegetal*. Trad. SANTARÉM, E.R. et al., 6º ed., Porto Alegre: Artemed, p.719. 2017

TÁVORA, F. J. A. F.; MELO, F. I. Respostas de cultivares de amendoim a ciclos de deficiência hídrica: Crescimento vegetativo, reprodutivo e relações hídricas. *Ciência Agrônômica*, Fortaleza, v.22, n.1/2, p.47-60, 1991.

THANGTHONG, N.; JOGLOY, S.; PENSUK, V.; KESMALA, T.; VORASOOT, N. Distribution patterns of peanut root. 2016.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign Agricultural Service.

Production, Supply and Distribution. 2023. Disponível em:
<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/home>

VAN RENSBURG, L. Adaptive significance of photosynthetic and metabolic regulation in *Nicotiana tabacum* L. plants during drought stress. Tese (Doutorado), Potchefstroom University for Christian Higher Education, Potchefstroom, South Africa. 1994.

VANLNSBERGHE, D.; MAAS, K.; CARDENAS, E. Nonsymbiotic Bradyrhizobium ecotypes dominate North American forest soils. *Revista The Isme Journal*, v. 9: 2015.
VARGAS, M. A. T.; SUHET, A. R. Efeitos da inoculação e deficiência hídrica no desenvolvimento da soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 4:17-21, 1980.

VIEIRA, E. A.; SILVA, M. G.; MORO, C. F.; LAURA, V. A. Physiological and biochemical changes attenuate the effects of drought on the Cerrado species *Vatairea macrocarpa* (Benth.) Ducke. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 115, n. 4, p. 472-483, 2017.

VOCCIANTE, M.; GRIFONI, M.; FUSINI, D.; PETRUZZELI, G.; FRANCHI, E. The role of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in mitigating plant's environmental stresses. *Applied sciences*, v. 12, n. 3, p. 1231, 2022.