

**ESTIRPES DE *Bradyrhizobium* spp. COMO ATENUADORAS DE DÉFICIT
HÍDRICO EM AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.)**

JOSÉ EDSON LOURENÇO DOS SANTOS

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPINA GRANDE- PB**

2021

**ESTIRPES DE *Bradyrhizobium* spp. COMO ATENUADORAS DE DÉFICIT
HÍDRICO EM AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.)**

JOSÉ EDSON LOURENÇO DOS SANTOS

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

Área de concentração: Biotecnologia e Melhoramento vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Ivan Fernandes Júnior

Coorientadora: Profa. Dra. Liziane Maria de Lima

CAMPINA GRANDE – PB

2021

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

S237e Santos, José Edson Lourenço dos.
Estirpes de *Bradyrhizobium spp.* como atenuadoras de déficit hídrico em amendoim (*Arachis hypogaea* L.) [manuscrito] / José Edson Lourenço dos Santos. - 2021.
71 p. : il. colorido.

Digitado.
Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2022.
"Orientação : Prof. Dr. Paulo Ivan Fernandes Júnior, Embrapa Algodão."
"Coorientação: Profa. Dra. Liziane Maria de Lima, Embrapa Algodão"

1. Produção agrícola. 2. 2. 3. Amendoim. 4. 3. 5. Inoculação. 6. 4. 7. Experimento agrícola. I. Título

21. ed. CDD 633.368

**ESTIRPES DE *Bradyrhizobium* spp. COMO ATENUADORAS DE DÉFICIT
HÍDRICO EM AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.)**

JOSÉ EDSON LOURENÇO DOS SANTOS

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

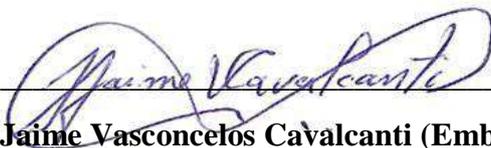
Área de concentração: Biotecnologia e melhoramento vegetal.

Aprovada em 17/12/2021

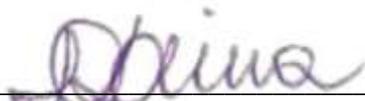
BANCA EXAMINADORA



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



Prof. Dr. José Jaime Vasconcelos Cavalcanti (Embrapa Algodão)



Prof.^a. Dra. Liziane Maria de Lima (Coorientadora)



Prof. Dr. Paulo Ivan Fernandes Júnior (Orientador)

“Até onde posso, vou deixando o melhor de mim... Se alguém não viu, foi porque não me sentiu com o coração.”

(Clarice Lispector)

A minha filha Lara, que esteve presente ao meu lado nessa caminhada, muito obrigado pelo amor, paciência e compreensão, nos momentos de minha ausência. TE AMO

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, sua graça permite que eu esteja neste mundo.

À minha família que sempre foi e será meu porto seguro, lugar de descanso, crescimento e amadurecimento.

Aos meus pais Helena e Heleno, que apesar de todas as dificuldades enfrentadas na vida, me deram uma boa educação e sempre me ofereceram o essencial: amor.

À minha esposa Adriana, que sempre esteve presente em todos os momentos da minha caminhada acadêmica, não me deixando desistir dos meus objetivos. Muito obrigado pelo amor, paciência e compreensão.

À minha filha Lara, que mesmo tão pequena tentava me ajudar nos trabalhos, e eu as vezes com muitas coisas para fazer, não a deixei de lado, sempre estive presente, meu amor maior, razão da minha vida.

À minha coorientadora Dra. Liziane Maria de Lima por ter acreditado em mim, por todas as contribuições, paciência, compreensão e compromisso. Gratidão por tudo!

Ao meu orientador Paulo Ivan Fernandes Júnior pela orientação e parceria ao longo de todo o mestrado.

Ao Dr. Tarcísio Gondim e Adelardo por todas as contribuições na aérea do campo.

Aos amigos que conquistei na turma do mestrado: Bruno (que esteve presente em todo processo, a primeira pessoa que tive contato no laboratório de Biotecnologia), Luana, Tybério, Cristiano, Pequena, Ruth, Igor, Dayse e Alexandre.

Aos meus amigos do laboratório que tanto me ajudaram: Terê, Fábria, Sabrina, Laysla (que esteve comigo no experimento em casa de vegetação, me ajudando e contribuindo para que nosso trabalho desse certo), em especial a Dra. Geisenilma Rocha que não mediu esforços para me ajudar nas análises laboratoriais e também para a montar o experimento em campo ultrapassando até os limites físicos para ver os frutos desse trabalho.

As amigas Andreza e Fabiana, que estiveram comigo no experimento em campo, me ajudando no que fosse preciso, para concluir nosso trabalho. Gratidão!

Aos amigos Di Assis e Mirandy por todas as contribuições na estatística, na casa de vegetação, paciência e amizade, gratidão por tudo.

Ao meu amigo desde a graduação Raphael Jovino, obrigado pela ajuda na montagem dos experimentos, contribuição e paciência.

Ao programa PPGCA (UEPB/EMBRAPA) minha segunda casa e a Capes pela concessão da bolsa.

Todos esses agradecimentos só foram possíveis graças a Deus que me abençoou e guiou meu caminho, dando força e sabedoria para continuar minha caminhada mesmo em determinados momentos tão difíceis. GRATIDÃO!

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVO	20
2.1	Objetivo Geral	20
2.2	Objetivos Específicos	20
3.	REVISÃO DE LITRATURA	21
3.1	Rizobactérias promotoras do crescimento vegetal	21
3.2	Fixação biológica de nitrogênio	22
3.3	A cultura do amendoim e sua importância econômica	23
3.4	Déficit hídrico	24
3.5	Comportamento do amendoim sob déficit hídrico	25
4	MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1	Implantação, condução e coleta do experimento	27
4.1.1	<i>Experimento em condições de vegetação</i>	27
4.1.2	<i>Em campo</i>	28
4.1.3	<i>Inoculantes de Bradyrhizobium spp.</i>	30
4.1.4	<i>Trocas gasosas foliares</i>	31
4.1.5	<i>Variáveis de crescimento vegetativo</i>	31
4.1.7	<i>Teor de prolina livre total</i>	32
4.1.8	<i>Teor de clorofila e carotenoides</i>	33
4.1.9	<i>Análises estatísticas</i>	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1	Avaliação do experimento conduzido em casa de vegetação	34
5.1.1	<i>Crescimento vegetativo</i>	35
5.1.2	<i>Número de nódulos e massa seca de nódulos</i>	36
5.1.3	<i>Trocas gasosas</i>	38
5.2	Análises bioquímicas	43
5.2.1	<i>Prolina livre total</i>	43
5.2.5	<i>Pigmentos fotossintetizantes</i>	44
5.3	Avaliação do experimento conduzido em campo	46
6	CONCLUSÕES	62
	REFERÊNCIAS	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Análise dos componentes físico-químicos do solo (Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas. Embrapa Algodão, Campina Grande, PB, 2020)..	27
Tabela 2 -	Resultado da análise de solo da área do experimento para avaliação da tolerância a seca de genótipos de amendoim com inoculantes, localizada na Embrapa Algodão, Campina, Grande, 2021.....	28
Tabela 3 -	Rizóbios utilizados nos experimentos com déficit hídrico em duas variedades de amendoim, Campina Grande-PB, 2021.....	30
Tabela 4 -	Resumo da análise de variância para as variáveis: altura de planta (ALT), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR), Campina Grande-PB, 2021).....	34
Tabela 5 -	Resumo da análise de variância para fotossíntese (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), carbono interno (Ci) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (Gs) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência instantânea da carboxilação (EiC) a partir da relação (E/Ci), eficiência do uso da água (EUA) relação entre (A/E), Campina Grande-PB, 2021. Fv/Fm.....	39
Tabela 6 -	Resumo da análise de variância para as variáveis: stand final (SF), massa seca da raiz (MSR) e massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das vagens (MSV), massa seca da planta total (MSPT) e índice de colheita (IC) Campina Grande-PB, 2021.....	46
Tabela 7 -	Resumo da análise de variância para as variáveis: número de vagens por planta (NVP), peso de 100 vagens (P100V), peso de sementes (PSEM), peso da casca (PCASCA), peso de sementes chocha (PSC) e peso de 100 sementes (P100S) Campina Grande-PB, 2021.....	51
Tabela 8 -	Resumo da análise de variância para as variáveis: número de nódulos por planta (NNP), massa de nódulo seco (MNS), comprimento da raiz (CR), comprimento da parte aérea (CPA), Campina Grande-PB, 2021.....	56
Tabela 9 -	Análise dos valores médios da produtividade de grãos Kg/ha^{-1} , avaliados em experimento conduzido em campo, Campina Grande, PB 2021.....	60

Tabela 10-	Análise dos valores médios da produtividade de massa seca da raiz Kg/ha^{-1} , avaliados em experimento conduzido em campo, Campina Grande, PB 2021.....	61
Tabela 11-	Análise dos valores médios da produtividade de massa seca da parte aérea Kg/ha^{-1} , avaliados em experimento conduzido em campo, Campina Grande, PB 2021.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Crescimento vegetativo de genótipos de amendoim (BRS 421 e BRS 423) inoculados com rizóbios (SEMIA 6144, ESA 123, 16295 e 16986) e submetidos a déficit hídrico. Altura da planta (ALT), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR).....	36
Figura 2	Nodulação de genótipos de amendoim (BRS 421 e BRS 423) inoculados com rizóbios (SEMIA 6144, ESA 123, 16295 e 16986) e submetidos a déficit hídrico Massa seca de nódulos (MSN) e número de nódulos (NNOD).....	38
Figura 3	Análises fisiológicas: condutância estomática (gs), fotossíntese (A), transpiração (E), concentração interna de CO ₂ (Ci), eficiência instantânea da carboxilação (EiC) e eficiência do uso da água (EUA) em genótipos de amendoim (BRS 421 e BRS 423) inoculados com <i>Bradyrhizobium</i> , sob estresse hídrico.....	40
Figura 4	Concentração de prolina livre em dois genótipos de amendoim inoculados com <i>Bradyrhizobium</i> e submetidos a estresse hídrico comparando-se ao controle, com seus respectivos tratamentos.....	45
Figura 5	Análise de pigmentos fotossintéticos clorofila <i>a</i> (7A), <i>b</i> (7B), clorofila total (7C) e carotenoides (7D) em plantas de amendoim inoculadas com <i>Bradyrhizobium</i> e sob condição de déficit hídrico.....	37
Figura 6	Crescimento vegetativo (massa seca da parte raiz) (g) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de <i>Bradyrhizobium</i> (ESA 123, SEMIA 6144,16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423. Letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.....	47
Figura 7	Crescimento vegetativo (Massa seca da parte aérea) (g). Genótipos: BRS 421 e BRS 423. Letras maiúsculas comparam os genótipos (Figura 8 A) e letras minúsculas comparam as fontes de nitrogênio.....	48
Figura 8	Dados agronômicos (massa seca de vagens) (g) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de <i>Bradyrhizobium</i> (ESA 123, SEMIA 6144,16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha	

	absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423. Letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.....	48
Figura 9	Dados agronômicos (índice de colheita (g) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de <i>Bradyrhizobium</i> (ESA 123, SEMIA 6144,16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423, letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.....	49
Figura 10	Dados agronômicos (índice de colheita (g) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de <i>Bradyrhizobium</i> (ESA 123, SEMIA 6144,16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423, letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.....	50
Figura 11	Dados agronômicos (número de vagens por planta) (g) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de <i>Bradyrhizobium</i> (ESA 123, SEMIA 6144,16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423, Letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.....	51
Figura 12	Dados agronômicos (peso de sementes) (g) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de <i>Bradyrhizobium</i> (ESA 123, SEMIA 6144,16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423, letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.....	52
Figura 13	Dados agronômicos (peso da casca) (g) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de <i>Bradyrhizobium</i> (ESA 123, SEMIA 6144,16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423, letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.....	53

- Figura 14** Dados agronômicos (peso de semente chocha (g) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (ESA 123, SEMIA 6144,16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423, letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo..... 54
- ..
- Figura 15** Dados agronômicos (peso de 100 sementes) (g) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (ESA 123, SEMIA 6144,16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423, letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo..... 55
- Figura 16** Nodulação (número de nódulos por planta) (g) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (ESA 123, SEMIA 6144,16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423, letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo..... 57
- Figura 17** Nodulação (massa de nódulo seco) (g) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (ESA 123, SEMIA 6144,16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423, letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo..... 57
- Figura 18** Crescimento vegetativo (comprimento da raiz) (cm) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (ESA 123, SEMIA 6144,16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423, letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo..... 58
- Figura 19** Crescimento vegetativo (comprimento da parte aérea) (g) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (ESA 123,

SEMIA 6144,16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423, letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo..... 59

RESUMO

A seca é um dos principais fatores responsáveis por limitar o crescimento e a qualidade da produção agrícola mundial. O uso de bactérias dos gêneros *Bradyrhizobium* e *Rhizobium* com capacidade para infectar raízes de plantas leguminosas e estimular a formação de nódulos, e consequentemente fixação de nitrogênio, é de extrema importância para expandir a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, principalmente no Brasil, proporcionando a redução do uso de fertilizantes nitrogenados e mitigando os efeitos do déficit hídrico. Desta forma, objetivou-se neste trabalho avaliar a interação de isolados de *Bradyrhizobium* spp. com genótipos de amendoim sob condições de déficit hídrico, em casa de vegetação e em campo, a fim de selecionar a interação melhor aclimatada ao estresse. Foram conduzidos dois experimentos (campo e casa de vegetação), com dois genótipos de amendoim (BRS 421 e BRS 423), quatro inoculantes (ESA 123, SEMIA 6144, 16295 e 16986) para o experimento em casa de vegetação e três inoculantes para o experimento em campo (ESA 123, SEMIA 6144 e 16295). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com arranjo fatorial 2 x 6 x 2, com cinco repetições, sendo: dois genótipos de amendoim (cultivares BRS 421 e BRS 423); seis níveis de nitrogênio (N) [(i) sem N (testemunha); (ii) com N (2 g de sulfato de amônio/vaso); (iii) quatro inoculantes (Semia 6144, ESA 123, 16295 e 16986)]; e dois regimes hídricos (com e sem estresse). Vinte e cinco dias após emergência (DAE), suspendeu-se a rega durante 10 dias para as plantas do grupo estressado. Sessenta DAE foram realizadas as avaliações agronômicas (altura de planta, massa seca da parte aérea, massa seca das raízes, número de nódulos e massa de nódulos). No campo, foram utilizados dois genótipos de amendoim (BRS 421 e BRS 423), o delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 4 blocos contendo 10 tratamentos, totalizando 40 parcelas experimentais. Cada parcela experimental foi composta por 2 linhas de 3 metros de comprimento, com espaçamentos entre linhas de 0,80 m, intervalo entre parcelas de 1,60 m, e parcela útil de 4,8 m². Foram utilizados neste experimento três estipes de *Bradyrhizobium* sp. (ESA 123, SEMIA 6144 e 16295), um tratamento com nitrogênio (100kg de N/ha) e uma testemunha absoluta (sem inoculante e nitrogênio). Os genótipos de amendoim inoculados com *Bradyrhizobium* e cultivados em condições de déficit, em casa de vegetação, revelaram efeito significativo no crescimento vegetativo das plantas com inoculantes bacterianos, destacando-se as interações que mais contribuíram para mitigar os efeitos do estresse hídrico: BRS 421 x SEMIA 6144 e BRS 421 x 16295; BRS 423 x ESA 123 e BRS 423 x 16295. Os tratamentos inoculados com ESA 123, 16295 e manejo nitrogenado favoreceram o aumento de pigmentos fotossintéticos nos genótipos durante o estresse hídrico. No experimento de campo, considerando a produtividade, o genótipo BRS 421 estabeleceu melhor interação com a estirpe 16295, para o rendimento de grãos kg/ha, enquanto o genótipo BRS 423 estabeleceu melhor interação com a estirpe ESA 123. Comparando a produção final dos dois genótipos, o genótipo BRS 421 foi o mais responsivo, contribuindo para maior produtividade e rendimento de grãos.

Palavras-chave: bactérias. Seca. Inoculantes. Nitrogênio. produtividade.

ABSTRACT

Drought is one of the main factors responsible for limiting the growth and quality of agricultural production worldwide. The use of bacteria of the genera *Bradyrhizobium* and *Rhizobium* capable of infecting leguminous plant roots and stimulating the formation of nodules, and consequently nitrogen fixation, is extremely important to expand the sustainability of agricultural systems, especially in Brazil, providing a reduction in use of nitrogen fertilizers and mitigating the effects of water deficit. Thus, the objective of this work was to evaluate the interaction of *Bradyrhizobium* spp. with peanut genotypes under water deficit conditions, in greenhouse and field, in order to select the interaction best acclimated to stress. Two experiments were carried out (field and greenhouse), with two peanut genotypes (BRS 421 and BRS 423), four inoculants (ESA 123, SEMIA 6144, 16295 and 16986) for the experiment in the greenhouse and three inoculants for the field experiment (ESA 123, SEMIA 6144 and 16295). The experimental design was completely randomized, with a 2 x 6 x 2 factorial arrangement, with five replications, as follows: two peanut genotypes (cultivars BRS 421 and BRS 423); six levels of nitrogen (N) [(i) without N (control); (ii) with N (2 g of ammonium sulphate/pot); (iii) four inoculants (Semia 6144, ESA 123, 16295 and 16986)]; and two water regimes (with and without stress). Twenty-five days after emergence (DAE), irrigation was suspended for 10 days for plants in the stressed group. Sixty DAE were carried out for agronomic evaluations (plant height, shoot dry mass, root dry mass, number of nodules and nodule mass). In the field, two peanut genotypes (BRS 421 and BRS 423) were used, the experimental design was randomized blocks, with 4 blocks containing 10 treatments, totaling 40 experimental plots. Each experimental plot was composed of 2 lines of 3 meters in length, with spacing between lines of 0.80 m, interval between plots of 1.60 m, and useful plot of 4.8 m². Three strains of *Bradyrhizobium* sp. (ESA 123, SEMIA 6144 and 16295), a treatment with nitrogen (100kg of N/ha) and an absolute control (without inoculant and nitrogen). The peanut genotypes inoculated with *Bradyrhizobium* and cultivated under deficit conditions, in a greenhouse, showed a significant effect on the vegetative growth of plants with bacterial inoculants, highlighting the interactions that most contributed to mitigate the effects of water stress: BRS 421 x SEMIA 6144 and BRS 421 x 16295; BRS 423 x ESA 123 and BRS 423 x 16295. The treatments inoculated with ESA 123, 16295 and nitrogen management favored the increase of photosynthetic pigments in the genotypes during water stress. In the field experiment, considering yield, the BRS 421 genotype established a better interaction with the 16295 strains, for the kg/ha grain yield, while the BRS 423 genotype established a better interaction with the ESA 123 strain. Comparing the final production of the two genotypes, the BRS 421 genotype was the most responsive, contributing to higher grain yield and yield.

Keywords: bacteria; dry inoculants. Nitrogen. productivity.

1 INTRODUÇÃO

Diversas espécies da família das leguminosas (Fabaceae) podem se associar com bactérias fixadoras de nitrogênio habitantes do solo. Essas bactérias são chamadas coletivamente de “rizóbios” e essa associação simbiótica pode ser explorada na agricultura com a produção de inoculantes contendo estirpes selecionadas. Na simbiose ocorre a associação da planta com a bactéria, formando estruturas chamadas de nódulos, localizadas nas raízes, nesses nódulos infectados pelas bactérias ocorre o processo de redução do N_2 em formas absorvíveis pela planta, e assim dispensa a utilização de fertilizantes sintéticos. O amendoim (*Arachis hypogaea* L.), uma das mais importantes oleaginosas do mundo (FLETCHER e SHI, 2016), pode se beneficiar dessa simbiose, o que abre a possibilidade da seleção de pares simbióticos (genótipos vegetais e bactérias) para aumentar a produtividade da cultura.

No Brasil, o amendoim é cultivado principalmente nas regiões Sudeste, Sul, Centro-Oeste e Nordeste, sendo o Estado de São Paulo o maior produtor, responsável por mais de 90% da produção nacional, com volume estimado em 562,3 mil toneladas de amendoim em casca, 7,2% a mais na comparação com o ciclo anterior em que foram colhidas 524,5 mil toneladas (CONAB, 2021). Embora a cultura venha conquistando espaço na região Nordeste e Centro-Oeste, em razão da adoção de tecnologias que favorecem a melhoria no sistema de cultivo (CONAB, 2021), há limitação na irrigação.

A escassez por água é um dos principais fatores responsáveis por limitar o crescimento e a qualidade da produção agrícola mundial (HU e XIONG, 2014). A carência de água afeta consideravelmente o desenvolvimento fisiológico e nutricional das plantas, conseqüentemente provoca a diminuição da biomassa e do crescimento. Além do mais, a seca induz o fechamento estomático que reduz as trocas gasosas e diminui a fotossíntese (ARBONA et al., 2013; IHUOMA e MADRAMOOTOO, 2017). Seus efeitos também promovem inúmeras alterações no metabolismo das plantas, como danos nas membranas celulares e na cadeia de transporte de

elétrons, levando ao aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) (PEREIRA et al., 2016).

Por se tratar de uma leguminosa, tem a capacidade de se associar a bactérias diazotróficas que realizam a fixação biológica de nitrogênio (FBN). Essas bactérias são exploradas na agricultura por meio da produção de inoculantes rizobianos para fornecer a demanda de N para o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das leguminosas. Além da FBN, essas bactérias podem desempenhar papéis em outros processos como o controle biológico de doenças e pragas, solubilização de nutrientes, promoção do crescimento por meio da produção de fitormônios, dentre outros. A sua aplicação agrícola tem sido de extrema importância para expandir a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, principalmente no Brasil, proporcionando a redução do uso de fertilizantes nitrogenados, e gerando plantas mais saudáveis e robustas.

Apesar de haver inoculantes disponíveis no mercado para a cultura do amendoim, estes não são capazes de proporcionar aumentos de produtividade sob estresses abióticos como o déficit hídrico, por exemplo. Dessa forma, a prospecção de outras bactérias que atuem como agentes protetores dos hospedeiros em condição de déficit hídrico é uma demanda do setor agrícola brasileiro.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Avaliar e selecionar as melhores interações de isolados de *Bradyrhizobium* spp. com genótipos de amendoim sob condições de déficit hídrico, em casa de vegetação e em campo, a fim de selecionar o genótipo e o isolado melhor aclimatado ao estresse.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Avaliar alterações fisiológicas e bioquímicas provocadas pelo déficit hídrico nos genótipos de amendoim inoculados com *Bradyrhizobium* spp. em experimento de casa de vegetação;
- ✓ Estimar os componentes de crescimento vegetativo a fim de identificar o genótipo mais responsivo em condições de déficit hídrico, em experimento de casa de vegetação e em campo;
- ✓ Identificar dentre os inoculantes, qual melhor contribuiu para a tolerância dos genótipos de amendoim ao déficit hídrico em experimento de casa de vegetação e em campo.

3 REVISÃO DE LITRATURA

3.1 Rizobactérias promotoras do crescimento vegetal

Os microorganismos associados à promoção de crescimento vegetal são considerados uma alternativa para favorecer a agricultura de maneira mais sustentável. As bactérias se destacam entre os microorganismos mais abundantes em associação com diferentes plantas, devido à grande capacidade de proporcionar por meio de mecanismos diretos e indiretos, o crescimento das raízes e da planta, sendo comumente definidas como Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV's), direto ou indireto, por diversos mecanismos (GUPTA et al., 2013; SOUSSI et al., 2015).

Soussi e colaboradores (2015) ressaltaram, que estirpes têm sido propostas como candidatos a biofertilizantes pelas suas propriedades envolvidas na promoção de crescimento vegetal. Portanto, é importante a seleção de estirpes competitivas em diferentes condições edafoclimáticas para utilizá-las em inoculações massais, permitindo que esta população introduzida seja favorecida em detrimento de outras indesejáveis e em menor número no solo (REIS, 2007).

As bactérias que colonizam a rizosfera podem exercer diversos efeitos benéficos às plantas como: fixação de N, solubilização de fosfato, produção de sideróforos (quelantes de ferro e outros metais), produção de hormônios reguladores do crescimento vegetal (giberelina, auxina e citocina), e indiretamente através do antagonismo a organismos fitopatogênicos como fungos, vírus e indução da resistência sistêmica contra doenças (SOUZA et al., 2012; ARRUDA et al., 2013; LIU et al., 2013).

A capacidade das bactérias de produzir e secretar hormônios vegetais estimula o crescimento da planta, atuando na defesa do hospedeiro contra microorganismos patogênicos, podendo influenciar diretamente o aumento da produção de grãos (SCHMIDT et al., 2011; BHATTACHARYYA e JHA, 2012).

O aumento no rendimento das plantas inoculadas com BPCV, inclusive quando cultivadas em campo, tem sido relatado por diversos autores (PEDRAZA et al., 2009; BHATTACHARYYA e JHA, 2012; ESTRADA et al., 2012). Essas bactérias além de reduzir estresses bióticos sem prejudicar a planta, podem promover a divisão celular e a extensão das raízes (OLIVEIRA et al., 2009), inclusive das raízes laterais e, em alguns casos, aumentar a biomassa de raízes e folhas (PEDRAZA et al., 2009; REIS et al., 2000). Contra os estresses abióticos, essas bactérias são capazes de metabolizar diferentes fontes de carbono e apresentar tolerância a outros antibióticos que podem ser produzidos por outros microrganismos do solo (FERNANDES JÚNIOR et al., 2012).

A produção de fitormônios é um mecanismo da interação bactéria-planta, influenciado por vários fatores, como o genótipo da planta e do próprio microrganismo, cuja influência desses microrganismos está relacionada com os estágios iniciais do desenvolvimento vegetal, estimulando o crescimento do sistema foliar e radicular e influenciando no aumento do número de pêlos radiculares (SANTI; BOGUSZ; FRANCHE, 2013).

3.2 Fixação biológica de nitrogênio

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes em sistemas biológicos, compreendendo um dos componentes de ácidos nucleicos e proteínas, dentre as suas múltiplas funções, sendo um suprimento crucial para a produção vegetal. É um dos principais componentes para elevadas produções na agricultura, formando cerca de 80% da atmosfera na forma gasosa de N_2 que não é aproveitável pelas plantas, sendo apenas os procariotos diazotróficos capazes de transformar o N_2 em formas assimiláveis (DOBEREINER, 1997; CHANWAY et al., 2014; COLLINO et al., 2015).

Segundo Raymond e colaboradores (2004), a fixação biológica de N_2 é um processo que ocorre em variados contextos metabólicos abrangendo ambientes aeróbicos e anaeróbicos nos mais diversos ambientes da Terra. O processo de redução do nitrogênio atmosférico a NH_3 é catalisado pelo complexo enzimático nitrogenase em um complexo ativo redox constituído de duas proteínas, a dinitrogenase e a dinitrogenase redutase interagindo cooperativamente na FBN, a reação ocorre acoplada a produção de H_2

O local ativo da redução é a subunidade dinitrogenase I ou Mo-Fe proteína, que pode ser encontrada em alguns organismos diazotróficos com o Mo substituído por V ou Fe. A dinitrogenase redutase ou Fe-proteína é a subunidade responsável pela transferência de elétrons

para que ocorra a redução do N₂ sendo mais sensível ao O₂ (RAYMOND et al., 2004; REIS & TEIXEIRA, 2005).

As práticas agrícolas devem diversificar as técnicas de cultura, buscando reproduzir os ecossistemas naturais, e estimar a contribuição da FBN é uma forma crucial de análise do uso de nutrientes e impacto humano sobre o ciclo do nitrogênio em agro-ecossistemas (AUSTIN-ALLA et al., 2013; COLLINO et al., 2015).

Na década de 80 os estudos com inoculação de bactérias diazotróficas desenvolvidos por DOBEREINER e DAY impulsionaram as pesquisas com FBN no Brasil. Nestes estudos, verificou-se grande variação entre as diferentes culturas como arroz, milho, sorgo, trigo que apresentaram rendimento em torno de 20-30% (DOBEREINER & DAY, 1976; REIS, 2007), demonstrando a necessidade de se selecionar pares simbiotes mais eficazes para a FBN, o que tem sido um dos alvos dos estudos com FBN no Brasil desde então. Essas bactérias, quando estão em contato com as raízes das leguminosas, induzem a formação de pequenas estruturas, chamadas nódulos, onde ficam alojadas. No interior dos nódulos ocorre o processo onde o nitrogênio é aproveitado do ar e transformado em amônia solúvel em água, que é utilizado diretamente pela planta, quando ocorre o processo de FBN.

3.3 A cultura do amendoim e sua importância econômica

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) (família Fabaceae, subfamília Faboideae) (KRAPOVICKAS & GREGORY, 1994) é uma planta originária da América do Sul e considerada uma das principais oleaginosas cultivadas no mundo (DILLEHAY et al., 2007).

A espécie *A. hypogaea*, encontra-se subdividida em duas subespécies, *hypogaea* e *fastigiata*, as quais, dividem-se em seis variedades botânicas segundo seu hábito de crescimento, onde *hypogaea* e *hirsuta*, pertencentes a subespécie *hypogaea*, apresentam hábito de crescimento rasteiro, e *fastigiata*, *vulgaris*, *aequatoriana* e *peruviana*, pertencentes a subespécie *fastigiata*, são de hábito ereto (NOGUEIRA e TÁVORA, 2013).

A quantidade de óleo nas sementes de amendoim é de aproximadamente 40% a 50% e proteínas de 22% a 33%, também possui carboidratos, sais minerais e vitaminas E e do complexo B, compreendendo-se assim em um alimento altamente energético (585 calorias/100 g) (SILVEIRA et al., 2011). É uma leguminosa bastante utilizada na alimentação humana, *in natura* ou processada, ou ainda na produção de óleos. Estudos estão sendo realizados com essa cultura e vêm mostrando resultados bastante promissores, como o uso da matéria prima na produção de

biodiesel, devido ao elevado teor de óleo em suas sementes (GONÇALVES et al., 2004; NAKAGAWA e ROSOLÉM, 2011).

A produção mundial do amendoim em 2019 foi de em torno de 41,77 milhões de toneladas. Entre os principais produtores, destacam-se China, Índia, Nigéria, Estados Unidos e Sudão, com produção estimada de 17,00; 4,70; 3,20; 2,48 e 1,40 milhões de toneladas, respectivamente. O Brasil ainda não possui grande expressividade, representando apenas 1% da produção mundial (USDA, 2019).

No Brasil, seu cultivo é bastante expandido nas regiões Sul e Sudeste, sendo o estado de São Paulo o maior produtor, grande parte dessa produção paulista é destinada ao mercado Europeu, sendo o restante consumido internamente pelas fábricas de doces (CONAB, 2021). Nas regiões semiáridas do Nordeste pode ser considerada como uma ótima alternativa de rentabilidade para produtores da região (FREITAS, 2011). Na safra total de 2020/21 estima-se que a produção de amendoim tenha sido de 570 mil toneladas, um aumento de 1,9% em relação ao ciclo anterior 2019/20, esse aumento na produção é devido principalmente à adoção de cultivares mais produtivas, aliada as outras tecnologias (CONAB, 2021).

O amendoim é uma leguminosa que possui benefícios econômicos significativos e um aumento gradual em área plantada nos últimos anos (CONAB, 2017). Todavia, a produção e qualidade do amendoim são desfavoravelmente afetados por estresses ambientais, como climas extremos, salinidade, seca e estresse oxidativo (RAO & WRIGHT, 1994; LAURIANO et al., 2000). A temperatura afeta o crescimento e desenvolvimento do amendoim nas fases de florescimento, crescimento e maturação dos frutos. O déficit hídrico prejudica a produção de forma geral, como o enchimento das vagens, variando entre cada genótipo (SHINDE et al., 2010; NAUTIYAL et al., 2012). Essas circunstâncias provocam modificações fisiológicas que resultam em alterações metabólicas, prejudicando o crescimento e a produtividade (KALARIYA et al., 2013).

3.4 Déficit hídrico

O estresse hídrico é um dos fatores abióticos que mais afeta a cultura do amendoim durante os períodos de seca prolongada em ambientes semiáridos como no Nordeste brasileiro, apesar de sua adaptação à seca. Esses fatores podem provocar mudanças fisiológicas, bioquímicas e moleculares extremamente severas, as quais se tornam responsáveis por perdas na produção, principalmente nessas regiões (FAROOQ et al., 2009; RIBEIRO, 2010).

O déficit hídrico é um dos principais estresses abióticos que limita o desenvolvimento das culturas em todo o mundo, retardando o crescimento, induzindo o fechamento estomático e reduzindo a fotossíntese (NÉMETH et al., 2002), conseqüentemente, minimizando a produtividade (SINGH et al., 2014). Ademais, o déficit hídrico também gera alterações nas membranas celulares, aumento da respiração, inibição da fotossíntese, menor produção de matéria seca, senescência prematura e redução na produção (UPADHYAY et al., 2011; PEREIRA et al., 2012; DUARTE et al., 2013). Bartels e Sunkar (2005) ressaltaram que o estresse hídrico gera diminuição do crescimento, devido ao fechamento dos estômatos, menor assimilação de CO₂, síntese de fotoassimilados, redução da área foliar, além de uma redução da eficiência fotossintética.

O estresse hídrico provoca também modificações nos componentes celulares e bioquímicos das plantas, onde cascatas de sinalização são iniciadas, gerando ativação ou supressão de certos genes (YAMAGUCHI-SHINOZAKI & SHINOZAKI 2006; KATAM et al., 2013). Além de afetar o transporte de elétrons nos tilacóides (sistemas de membranas internas, onde ocorre as reações de luz da fotossíntese), a fosforilação, a carboxilação e a fotossíntese nas plantas (KAMBIRANDA et al., 2011).

A deficiência hídrica nos sistemas de cultivos afeta o crescimento e desenvolvimento das culturas e é considerada o maior obstáculo na produtividade agrícola mundial (KRAMER & BOYER, 1995; REDDY et al., 2004; SANTOS & CARLESSO, 1998), interferindo negativamente em diversos processos fisiológicos e bioquímicos (ALVES, 2013; GRACIANO, 2009). Entretanto, as plantas sob deficiência hídrica tendem a desenvolver mecanismos de adaptação, morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, na tentativa de amenizar os efeitos causados pelo estresse (FAROOQ et al., 2009; MAFAKHERI et al., 2010; WASEEM et al., 2011), visando a sobrevivência das plantas em períodos prolongados de seca (LARCHER et al., 1981).

3.5 Comportamento do amendoim sob déficit hídrico

Dentre os fatores que limitam o crescimento e desenvolvimento do amendoimzeiro, a restrição hídrica desencadeia diversos processos fisiológicos das plantas, podendo afetar principalmente a produção da cultura. Kambiranda e colaboradores (2011) citaram uma estimativa anual que mostrou perdas na produtividade de amendoim causadas pela seca equivalentes a US\$ 520 milhões.

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 (NOGUEIRA & SANTOS, 2000; PEREIRA et al., 2012; SANTOS; FREIRE; LIMA, 2013). 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. Entretanto, em uma situação de déficit hídrico, alguns parâmetros como conteúdo relativo de água, potencial hídrico foliar, resistência estomática, taxa de transpiração e temperatura foliar, são influenciados nas relações hídricas (KAMBIRANDA et al., 2011). Quando esses parâmetros são alterados, as respostas morfológicas e fisiológicas são modificadas, sendo assim promove o menor crescimento vegetativo e desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, diminuição da produtividade.

O estresse hídrico, dependendo da frequência e da intensidade dos períodos de seca, aliado as altas temperaturas, influencia negativamente todos os estádios vegetativos do amendoineiro, 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 (2005) relataram que mesmo apresentando mecanismos de adaptação a seca, o amendoineiro é mais afetado pela deficiência hídrica na fase reprodutiva, principalmente durante o florescimento e enchimento dos frutos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Implantação, condução e coleta do experimento

Foram conduzidos dois experimentos, sendo um em casa de vegetação e outro em campo, ambos localizados na Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, com dois genótipos de amendoim (BRS 421 e BRS 423)

4.1.1 Experimento em condições de casa de vegetação

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Embrapa Algodão, localizada em Campina Grande, PB (07°13'S; 53°31'W). Foram utilizados dois genótipos de amendoim (BRS 421 e BRS 423), e cultivados em vasos de plástico com capacidade para 5 L, preenchidos manualmente com solo de textura média. O solo foi previamente analisado no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Embrapa Algodão (Tabela 1), e corrigido de acordo com a análise de solo e fertilizado de acordo com as recomendações para a cultura.

Tabela 1 - Análise dos componentes físico-químicos do solo (Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas. Embrapa Algodão, Campina Grande, PB, 2020).

Fertilidade do solo											
Complexo Sortivo (mmolc/dm ³)							%	mmolc/dm ³	mg/dm ³ g/kg		
pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	S	H+Al	T	V	Al ⁺³	P	M.O.
5,7	26,9	18,6	1,5	3,1	50,1	14,9	60,0	77,1	0,5	50,4	14,8

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

pH – Concentração de hidrogênio em solução do solo; Ca⁺² - Cálcio; Mg⁺² - Magnésio; Na⁺ Sódio; K⁺ - Potássio; S - enxofre; H+Al - Acidez potencial ou total; T – Capacidade de troca catiônica

(CTC) subtraída da soma de bases (SB) mais o alumínio (Al); Al^{+3} – Acidez trocável; P – Fósforo; M.O. – Matéria orgânica.

As sementes de amendoim foram tratadas antes da semeadura com o fungicida Standak Top usando a dosagem de 300 mL/100 kg. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (genótipos, BRS 421 e BRS 423) x 2 (regime hídrico, irrigado e não irrigado) x 6 (fontes de variação), totalizando 24 tratamentos com 5 repetições. Os tratamentos foram caracterizados em: (i) fertilização com sulfato de amônio (SAM; 21% de N) na dose de 2 g/planta; (ii) inoculação com 4 estirpes de *Bradyrhizobium* spp. (SEMIA 6144, ESA 123, 16295 e 16896, sendo a estirpe SEMIA 6144 recomendada pelo MAPA, e as demais estirpes cedidas pela Embrapa Semiárido, Petrolina, PE); (iii) testemunha absoluta, sem aplicação de nitrogênio e sem inoculação.

O plantio foi realizado no dia 14 de janeiro de 2020, foram semeadas duas sementes de cada genótipo por vaso, após 10 dias da emergência das plântulas foi realizado o desbaste, deixando-se apenas duas plantas por vaso. Vinte e cinco dias após a emergência (DAE), suspendeu-se a rega durante 10 dias para as plantas do grupo estressado. No período da suspensão da rega, apenas as plantas controles foram irrigadas, mantendo-se a umidade próxima à capacidade de campo.

4.1.2 Experimento em condição de campo

O preparo do solo seguiu o cultivo mínimo, apenas com a abertura dos sulcos de plantio. Foi aplicado herbicida Poast (2,0 L ha⁻¹ p.c.) em 05/06/2021 e após 12 dias realizou-se a marcação das linhas, espaçadas de 0,8 m, com sulcador tracionado por trator. Esta marcação seguiu as curvas de nível distribuídas no terreno. Amostras simples de solo foram previamente coletadas e uma amostra composta foi submetida à análise, observando-se o resultado na Tabela 2.

Tabela 2- Resultado da análise de solo da área do experimento para avaliação da tolerância a seca de genótipos de amendoim com inoculantes, localizada na Embrapa Algodão, Campina, Grande, 2021.

Fertilidade do solo											
pH	Complexo Sortivo (mmolc/dm ³)						T	V	mmolc/dm ³	mg/dm ³	g/kg
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	S	H+Al					
6,2	14,3	6,6	0,5	4,0	25,5	11,6	37,0	68,7	0,5	80,2	11,6

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Para atender a recomendação de fertilização, foi aplicada ½ tonelada de calcário por hectare distribuído a lanço na área. Todas as parcelas foram adubadas com superfosfato simples (40 kg P₂O₅/ha) e cloreto de potássio (20 kg K₂O/ha). Para o tratamento nitrogenado foi aplicado N na forma de ureia (100 kg N/ha) dividida em 2 aplicações, sendo uma no plantio e outra aos 35 dias após a emergência.

A instalação do ensaio foi precedida da marcação da área com uso de trenas, cordas e piquetes e seguida da identificação das parcelas, por meio de plaquetas devidamente grafadas com a identificação da parcela, seguindo-se o acaso do sorteio do tratamento. Este procedimento foi adotado para facilitar a identificação das parcelas no momento da semeadura e das avaliações em campo e coleta de dados. O sistema de irrigação foi instalado e previamente testado antes da semeadura.

O plantio foi realizado no mês de junho de 2021, foram utilizados dois genótipos de amendoim (BRS 421 e BRS 423), o delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 4 blocos contendo 10 tratamentos, totalizando 40 parcelas experimentais. Cada parcela experimental foi composta por 2 linhas de 3 metros de comprimento cada, com espaçamentos entre linhas de 0,80 m e intervalo entre parcelas de 1,60 m, e parcela útil de 4,8 m². Foram utilizados nesse experimento três estipes de *Bradyrhizobium* spp. (ESA 123, SEMIA 6144 e 16295), um tratamento com nitrogênio (100 kg de N/ha) e uma testemunha absoluta (sem inoculante e nitrogênio).

A inoculação das sementes com o inoculante turfoso, foi realizada nas primeiras horas do dia e 30 minutos antes do plantio, sendo as sementes misturadas ao inoculante turfoso até ficarem aderidas as sementes (item 4.1.3). A semeadura foi realizada de forma manual, sendo adicionadas 135 sementes em cada parcela.

O ensaio recebeu irrigação diária, visando fornecer a demanda hídrica (600 mm) para a cultura, por meio de gotejamento espaçados de 20 cm com vazão de 1,60l/h/0,20m. A irrigação seguiu as fases de crescimento e desenvolvimento, aplicando-se 20% até o início da floração, 60% durante os 45 dias de ciclo e 15% na fase de finalização de maturação (dos 100 aos 115 dias após a emergência).

O experimento foi conduzido em condições de irrigação, livre da competição de plantas daninhas, por meio de uma capina química (Poast) e três repasses manuais, com auxílio de enxada, em intervalos de 15 a 25 dias, de modo a não haver influência dessas plantas no crescimento do amendoim.

A colheita da produção foi realizada manualmente, em operação única, considerando-se a uniformidade de maturação das vagens, aos 115 dias da emergência; enfim o encerramento do

experimento em campo ocorreu com o arranquio das plantas e coleta de dados de crescimento e produção da cultura, em cada tratamento.

4.1.3 Inoculantes de *Bradyrhizobium spp.*

Utilizou-se quatro estirpes de *Bradyrhizobium sp.*, sendo três isolados nativos da região nordeste e depositados na Coleção de Micro-organismos de Interesse agrícola da Embrapa Semiárido (CMISA) (16295, 16896 e ESA 123) e um recomendado pelo MAPA (SEMIA 6144) (Tabela 4).

Tabela 3 - Rizóbios utilizados nos experimentos com déficit hídrico em duas variedades de amendoim, Campina Grande-PB, 2021.

Isolado	Gênero	Instituição	Crescimento	Referência
SEMIA 6144	<i>Bradyrhizobium</i>	IAC	Lento	MAPA (2011)
ESA 123	<i>Bradyrhizobium</i>	Embrapa semiárido	Lento	Cunha et al. (2013)
16295	<i>Bradyrhizobium</i>	Embrapa semiárido	Lento	Santos (2017)
16896	<i>Bradyrhizobium</i>	Embrapa semiárido	Lento	Santos (2017)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

As bactérias foram inicialmente incubadas em placa de Petri contendo meio YM ágar (glicose 1%, ágar 2%, peptona 0,5%, malte 0,3%, extrato de levedura 0,3%), por cinco dias a 28°C em BOD. Em seguida, foram inoculadas em meio líquido YEM (glicose 1%, peptona 0,5%, malte 0,3% e extrato de levedura 0,3%) à 28°C, sob agitação (150 rpm), por 7 dias, quando ocorreu o final da fase exponencial de crescimento das bactérias ($1,0 \times 10^9$ unidade formadoras de colônia (UFC)/mL), observado pela mudança de coloração do meio, ocasionado pelas bactérias. Para o ensaio em casa de vegetação, o meio contendo as bactérias foi usado diretamente na inoculação. Foram feitas duas inoculações de rizóbios (1 mL do inoculante/ semente/ plântula: a primeira no momento da semeadura e a segunda após 15 dias.

Para o ensaio em campo, preparou-se um inoculante turfoso, no qual 20 g de turfa foram acondicionadas em sacos de polipropileno e esterilizados por autoclavagem (120° C, 1,5 atm por 1 h). Após resfriamento, foram adicionados 5 mL de cada cultura bacteriana e armazenado em câmara fria ($10 \pm 3^\circ$ C) até a implantação do ensaio. Previamente a implantação do experimento, aproximadamente 500 g de sementes foram misturadas para cada inoculante, seguindo as

recomendações de boas práticas de inoculação (Embrapa, 2009). A inoculação das sementes com o inoculante turfoso, foi realizada nas primeiras horas do dia e 30 minutos antes do plantio, sendo as sementes misturadas ao inoculante turfoso até ficarem aderidas as sementes. Para isso, utilizamos luvas, e trocamos ao pegar cada material, para evitar qualquer tipo de contaminação.

4.1.4 Trocas gasosas foliares

As avaliações de trocas gasosas foram realizadas apenas no experimento em casa de vegetação, no período da manhã entre 9:00 e 11:00 horas, antes da implementação do déficit hídrico, sendo repetida a cada três dias durante os períodos de desidratação e reidratação. As avaliações foram realizadas utilizando um analisador portátil de fotossíntese (IRGA - Infra Red Gas Analyzer, modelo LCpro-SD), sem fonte artificial de carbono e com fonte luminosa artificial de $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{m}^{-1}$. Os parâmetros avaliados foram: condutância estomática (gs) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); fotossíntese (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); transpiração (E) ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (Ci) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$). A partir dos dados obtidos foram calculadas a eficiência instantânea da carboxilação (EiC) entre A e Ci (A/Ci) e a eficiência do uso da água (EUA) entre A e E (A/E) (MAGALHÃES FILHO et al., 2008).

4.1.5 Variáveis de crescimento vegetativo

Em casa de vegetação foram avaliadas as seguintes variáveis de crescimento: altura de planta (ALT) (cm), mediu-se desde a base até o ápice da haste principal da planta; massa seca da parte aérea (MSPA) (g) e de raízes (MSR) (g), o material foi seco em estufa com circulação de ar forçada a temperatura de 65°C , durante aproximadamente 72 horas até atingir massa constante, após a secagem o material foi pesado em balança de precisão, nodulação: número de nódulos (NNOD), os mesmos foram retirados e contados e massa de nódulos (MNOD) (g), após secagem foram pesados em balança de precisão.

Em campo, foram avaliadas as seguintes variáveis agronômicas: massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da vagem (MSV) e massa seca da planta total (MSPT), o material foi seco em estufa com circulação de ar forçada a temperatura de 65°C , até atingir massa constante, após a secagem o material foi pesado em balança de precisão; índice de colheita (IC), calculado a partir do peso seco das vagens/peso seco da planta total x 100 ($\text{IC} = \text{PSV}/\text{PSPT} \times 100$); número de vagens por planta (NVP), peso de 100 vagens (P100V), peso de sementes (PS), peso da casca (PC), peso de semente chocha (PSC), peso de 100 sementes (P100S);

número de nódulos (ND), massa seca de nódulos (MSN), após secagem foram pesados em balança de precisão; comprimento da raiz (CR) e comprimento da parte aérea (CPA); rendimento de grãos (em casca) kg/ha, calculado de acordo com a fórmula: peso das vagens (g)/1.000x10.000/3,2; produtividade da massa seca da raiz (kg/ha), calculado de acordo com a fórmula: peso da raiz (g) /1.000x10.000/3,2; e produtividade da massa seca da parte aérea (kg/ha), calculado de acordo com a fórmula: peso da parte aérea (g) /1.000x10.000/3,2.

Para a análise de número de nódulos presentes nas raízes, massa dos nódulos secos, e massa da parte aérea seca. As plantas foram separadas por partes com auxílio de uma tesoura de poda: a parte aérea foi armazenada em sacos de papel e as raízes foram lavadas cuidadosamente em água corrente para retirar o excesso de solo, e em seguida realizada a retirada dos nódulos presente nas raízes. A contagem do número de nódulos presente nas raízes foi realizada manual.

4.1.7 Teor de prolina livre total

O teor de prolina foi determinado apenas no experimento em casa de vegetação e foi utilizada a metodologia descrita por Bates et al. (1973). Uma curva padrão de prolina foi preparada com uma solução estoque a 10 mM e uma padrão a 1 mM, sendo a padrão uma diluição do estoque de 1:10 (v/v) (1 mL da solução estoque + 9 mL de água destilada). Para a extração, 100 mg de tecido vegetal foi pesado em balança de precisão e armazenado a -80 °C, em seguida foi macerado com auxílio de um cadinho e pistilo acrescentando-se ácido sulfossalicílico (3%), 9 g do ácido foi homogeneizado em 290 mL de água destilada completando o volume final para 300 mL. Uma alíquota de 2 mL da solução resultante foi transferida para um microtubo de 2 mL e centrifugada por 10 minutos a 2000 rpm em temperatura ambiente, coletando-se em seguida o sobrenadante. A ninhidrina ácida (2,5 mg) foi dissolvida em 60 mL de ácido acético glacial PA (99%) e 40 mL de ácido fosfórico 6 M, em agitador magnético com auxílio de um bastão magnético sob aquecimento de 40 °C por 5 minutos. A reação foi conduzida no escuro e no momento requerido para a utilização da mesma.

A marcha analítica deu-se sequência submetendo as amostras em água sob aquecimento a 100 °C, em tubos de ensaio. Uma alíquota de 1000 µL do sobrenadante foi utilizada para reagir com 1000 µL de ninhidrina ácida e 1000 µL de ácido acético glacial em um tubo de ensaio hermeticamente fechado e aquecido durante 1 hora a 100 °C, em seguida resfriada em gelo. A leitura procedeu-se adicionando 2 mL de tolueno para suspender o material orgânico o qual foi avaliado em espectrofotômetro a 520 nm. O volume final da solução compreendeu 5 mL (1 mL da amostra + 1 mL da ninhidrina + 1 mL do ácido acético + 2 mL do tolueno).

4.1.8 Teor de clorofila e carotenoides

Os teores de clorofila a, b e total (a+b) e de carotenoides foram determinados apenas no experimento em casa de vegetação, a partir do método de extração em acetona 80% (LICHTENTHALER, 1987). Todo procedimento foi realizado na presença de luz verde, evitando assim a degradação da clorofila. Nessa metodologia, 200 mg do tecido vegetal foram macerados em N₂ líquido e depois solubilizados em 10 mL de acetona 80%. Posteriormente, a solução foi filtrada em papel filtro qualitativo e as seguintes absorvâncias foram quantificadas: 470, 646,8, 663,2 e 710 nm para determinar o teor de clorofila a, b, total e carotenoides, respectivamente.

4.1.9 Análises estatísticas

Os dados coletados foram analisados usando o programa estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2014), 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.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação do experimento conduzido em casa de vegetação

As variáveis de crescimento vegetativo, apresentaram diferença significativa entre os genótipos BRS 421 e BRS 423, para as variáveis analisadas de massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), número de nódulos (NNOD), massa de nódulos (MNOD) e nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA) a $p < 0,01$ (Tabela 4).

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para as variáveis: altura de planta (ALT), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca de nódulos (MSN), número de nódulos (NNOD) e nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA), Campina Grande-PB, 2021.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		ALT	MSPA	MSR	MSN	NNOD	NAPA
Genótipo	1	399,67**	1,5300 ^{ns}	0,0083 ^{ns}	0,0076 ^{ns}	0,0023*	0,6453**
Regime Hídrico	1	1197,00**	285,5476**	0,1717**	18,9225**	0,034**	3,9603**
Tratamentos	5	12,97 ^{ns}	4,5655**	0,0095*	10,5877**	0,0036**	0,4157**
Gen X RH	1	20,00 ^{ns}	22,1278**	0,0607**	1,7632**	0,0049**	0,0108 ^{ns}
Gen X Trat	5	33,65*	9,7177**	0,0440**	0,6761**	0,0006**	0,0829**
RH X Trat	5	7,66 ^{ns}	3,3450**	0,0262**	5,8726**	0,0036**	0,1412**
Gen x RH x Trat	5	8,30 ^{ns}	4,1566**	0,0106*	3,6715**	0,0012*	0,0082**
Resíduo	96	12,55	0,8525	0,0040	0,173	0,0004	0,0082**
CV (%)		19,44	13,52	14,72	9,79	2,88	2,25

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

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

5.1.1 Crescimento vegetativo

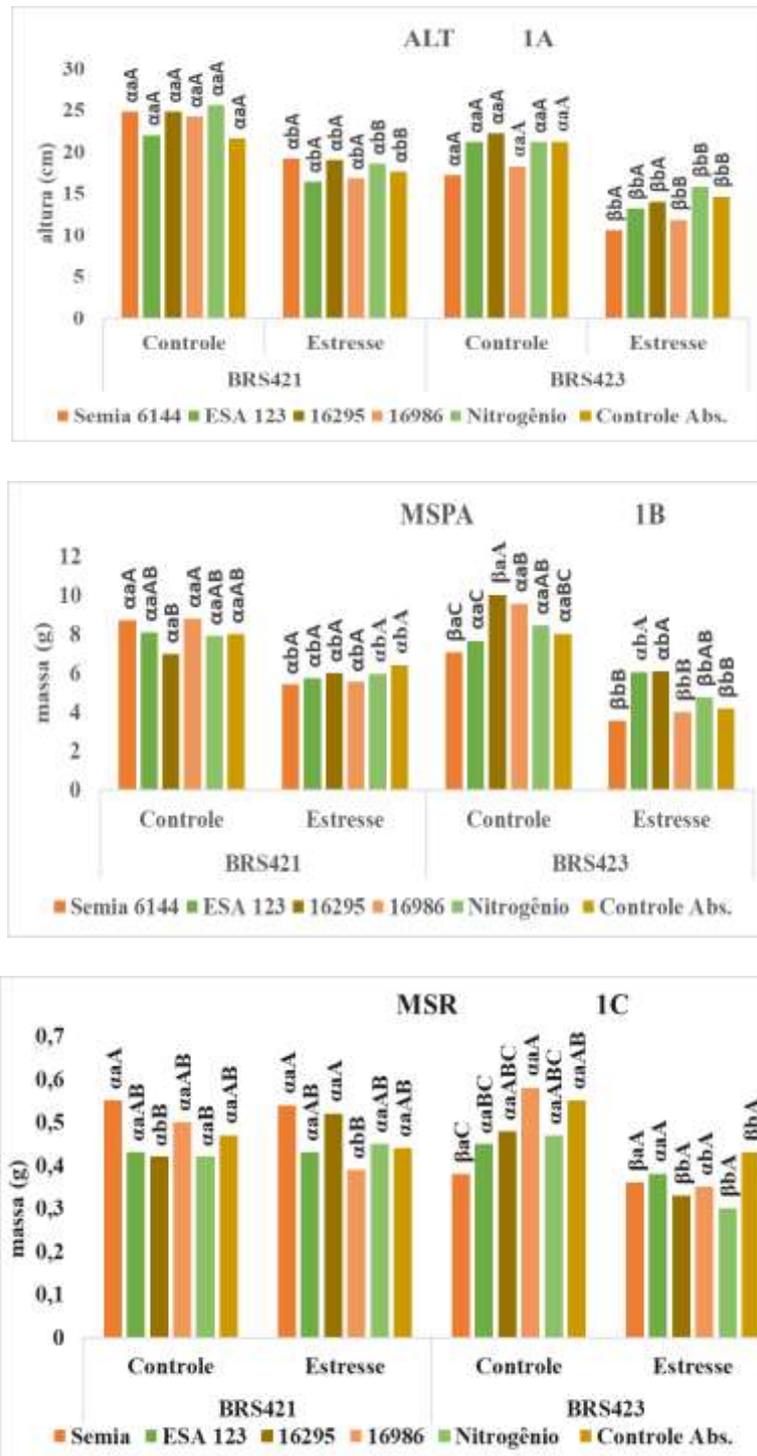
Apesar da redução da altura de planta em todos os genótipos sob condição de déficit hídrico, as estirpes Semia 6144 e 16295 promoveram as maiores médias quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico. Contudo, a cultivar BRS 421 apresentou maior altura de planta para os tratamentos inoculados com SEMIA 6144 (19,2 cm) e 16295 (19 cm), mostrando a contribuição positiva das bactérias em relação aos tratamentos sem inoculação (17,6 cm) (Figura 1A).

Observou-se que a MSPA foi reduzida em todos os tratamentos sob condição de déficit hídrico, no entanto a cultivar BRS 421 teve a menor redução. A análise da MSPA dá um indicativo que as estirpes utilizadas nesse estudo, podem ser capazes de fornecer às plantas de amendoim o nitrogênio necessário para o crescimento normal da parte aérea (Figura 1B).

Para a massa seca das raízes (MSR) em condições de déficit hídrico, houve maior média para os tratamentos com as estirpes Semia 6144 e 16295, superando o tratamento com nitrogênio, para a cultivar BRS 421 (Figura 1), evidenciando possíveis benefícios desses isolados para as plantas, uma vez que o aumento das raízes proporciona uma maior área de absorção de água em maiores profundidades. Correia e Nogueira (2004), em estudos 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 a reduzir os prejuízos acarretados pelo déficit hídrico é a redução da parte aérea e expansão da raiz, desse modo, a planta pode economizar água e aumentar a área radicular para explorar um maior volume de solo (SANTOS et al., 2015).

Em condições de déficit hídrico, parte dos assimilados produzidos pela fotossíntese ou da degradação do amido são utilizados para estimular o crescimento do sistema radicular, resultando assim, em uma maior área radicular (ALBUQUERQUE et al., 2013). 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 pêlos absorventes (VACHERON et al., 2013). 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.

Figura 1 - Crescimento vegetativo de genótipos de amendoim (BRS 421 e BRS 423) inoculados com rizóbios (SEMIA 6144, ESA 123, 16295 e 16986) e submetidos a déficit hídrico. (1A) Altura da planta (ALT); (1B) massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR); (1C). Campina Grande-PB, 2021. Letras minúsculas comparando o regime hídrico dentro de cada genótipo, maiúsculas comparando os tratamentos dentro de cada genótipo e as gregas comparam os genótipos. (Teste de Tukey ($p < 0,05$)).



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

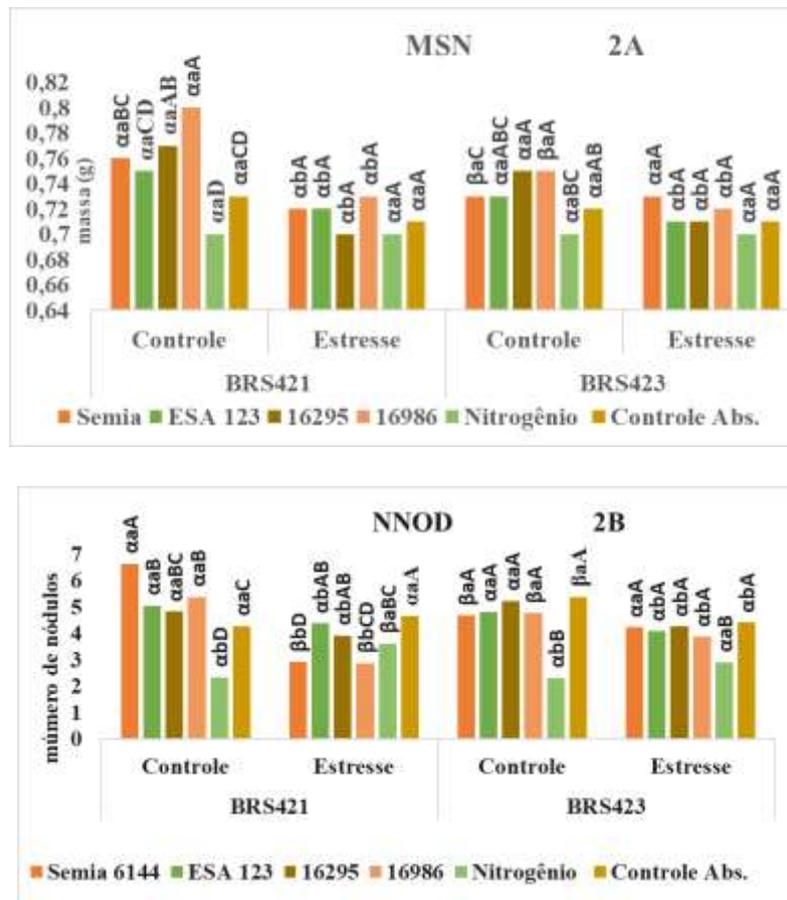
5.1.2 Número de nódulos e massa seca de nódulos

Em relação ao número de nódulos, observou-se aumento na cultivar BRS 423 inoculada e sob déficit hídrico. Porém os tratamentos irrigados, obtiveram maiores médias, mostrando que o fator estresse não foi limitante na interação genótipo x rizóbios (Figura 2B). Isso mostra a possível eficiência na inoculação, bem como a capacidade das plantas, mesmo em condições de déficit hídrico, formarem assimilados suficientes para si e para os rizóbios em interação, o que contribuiu para minimizar os efeitos deletérios de ALT, MSPA e MSR nestas condições. Melo et al. (2016), em estudos com amendoim inoculado com *Bradyrhizobium* sp., observaram incremento de 28% no número de nódulos em relação ao controle (sem fertilizante nitrogenado), para o genótipo BRS Havana.

Santos et al. (2005) avaliaram diferentes isolados de rizóbios nativos da região nordeste do Brasil e verificaram que a quantidade e o tamanho dos nódulos por planta são extremamente dependentes da cultivar e do isolado utilizado. A cultura do amendoim pode estabelecer simbiose com diversas estirpes dos gêneros *Rhizobium* sp. e *Bradyrhizobium* sp., porém, para aumentar a eficiência da inoculação é interessante que as estirpes possuam alta capacidade de competir com as estirpes nativas do solo (SANTOS et al., 2017).

Não houve diferença significativa na massa seca de nódulos para a cultivares BRS 421 e BRS 423 inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* sp., porém a cultivar BRS 421 obteve as melhores médias no tratamento sob irrigação, enquanto a BRS 423 apresentou a menor redução da massa seca de nódulos quando submetida ao déficit hídrico (Figura 2A). Resultados semelhantes foram observados por Melo (2014), em cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. inoculadas com a estirpe SEMIA 4077, que teve redução do peso e número de nódulos, ocasionados pelos efeitos do déficit hídrico. Mesmo sob déficit hídrico, a MNOD e o NNOD podem variar em função da capacidade de adaptação de bactérias promotoras de crescimento, por serem capazes de produzir alguns compostos que podem proporcionar tolerância à seca, tais como, exopolissacarídeos (SOUZA e GARCIA-CRUZ, 2004), biofilme (BRANDA et al., 2006) e/ou sideróforos (VARDHARAJULA et al., 2011). Esses compostos têm a propriedade de proteger as raízes contra o dessecamento promovido por estresses ambientais.

Figura 2 - Nodulação de genótipos de amendoim (BRS 421 e BRS 423) inoculados com rizóbios (SEMIA 6144, ESA 123, 16295 e 16986) e submetidos a déficit hídrico. (2A) massa seca dos nódulos (MSN) e (2B) número de nódulos (MN). Campina Grande-PB, 2021. Letras minúsculas comparando o regime hídrico dentro de cada genótipo, maiúsculas comparando os tratamentos dentro de cada genótipo e as letras gregas comparam os genótipos. (Teste de Tukey ($p < 0,05$)).



5.1.3 Trocas gasosas

Para as variáveis de trocas gasosas, observou-se diferença significativa a $p < 0,01$ pelo teste de Tukey para *A* e *gs* na interação entre GEN X Trat, bem como a $p < 0,05$ para *Ci*, *E*, *EIC* e *EUA* (Tabela 5).

Tabela 5- Resumo da análise de variância para fotossíntese (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), carbono interno (Ci) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (Gs) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência instantânea da carboxilação (EiC) a partir da relação (E/Ci), eficiência do uso da água (EUA) relação entre (A/E), Campina Grande-PB, 2021.

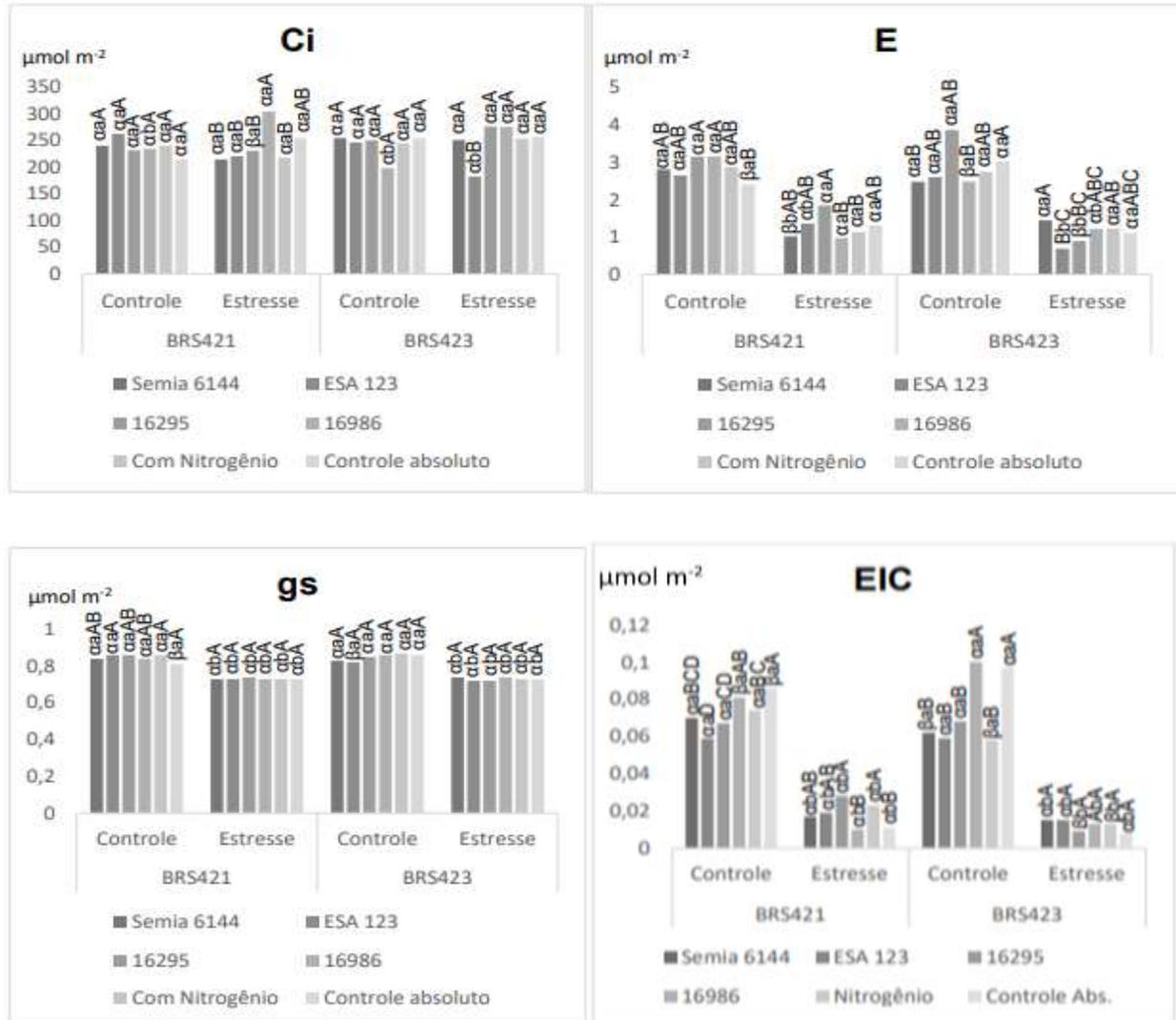
Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		Ci	A	E	GS	EIC	EUA
Genótipo	1	357,07 ^{ns}	0,2910 ^{ns}	0,7456 ^{**}	0,000002 ^{ns}	0,000098 ^{ns}	1,0472 ^{ns}
Regime Hídrico	1	2210,20 ^{ns}	5747,6136 ^{**}	75,1766 ^{**}	0,410911 ^{**}	0,103806 ^{**}	237,0460 ^{**}
Tratamentos	5	1546,90 ^{ns}	5,9698 ^{ns}	0,2755 ^{**}	0,000660 ^{ns}	0,000670 ^{**}	0,4535 ^{ns}
Gen X RH	1	837,40 ^{ns}	4,4892 ^{ns}	0,0116 ^{ns}	0,000077 ^{ns}	0,000485 ^{**}	0,0517 ^{ns}
Gen X Trat	5	3748,85 ^{**}	12,6487 [*]	0,4414 ^{**}	0,001607 [*]	0,000483 ^{**}	4,0588 ^{**}
RH X Trat	5	9684,62 ^{**}	19,5325 ^{**}	0,0596 ^{ns}	0,000624 ^{ns}	0,001638 ^{**}	7,8766 ^{**}
Gen x RH x Trat	5	515,78 ^{ns}	6,7947 ^{ns}	0,7400 ^{**}	0,000977 ^{ns}	0,000187 ^{**}	3,6062 ^{**}
Resíduo	96	1213,10	4,3358	0,0836	0,000666	0,000040	0,5767
CV (%)		14,44	19,95	14,57	3,25	14,07	15,98

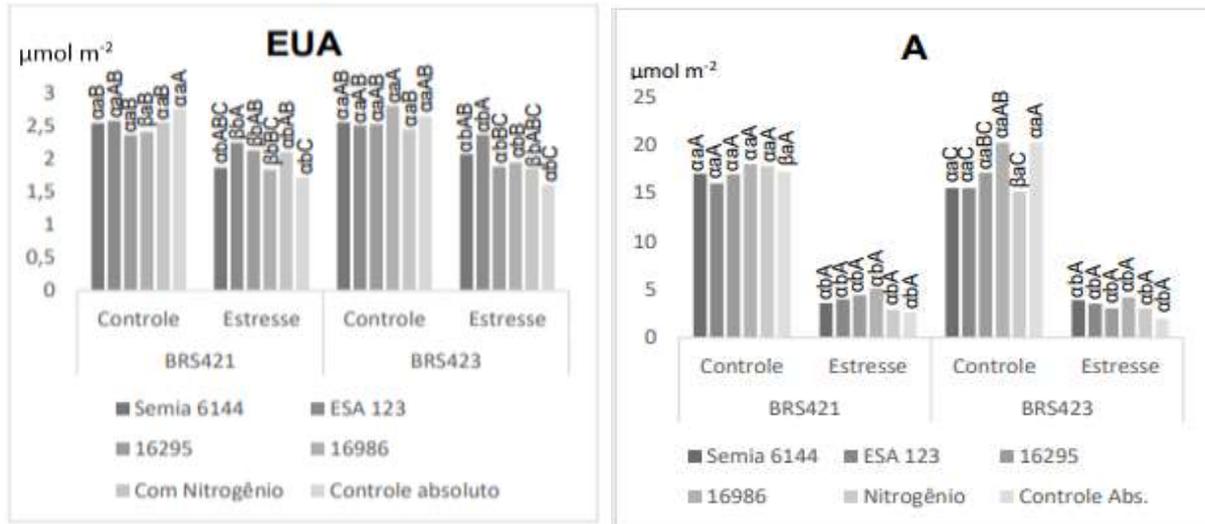
ns-não significativo; **, * significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F. GEN-Genótipo; FN-Fontes de nitrogênio, RH –Regime hídrico.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

O estresse hídrico promoveu redução da transpiração, fotossíntese, condutância estomática, eficiência instantânea da carboxilação e eficiência do uso da água nas plantas de amendoim submetidas a déficit hídrico (Figura 3). Tais resultados devem-se ao fato que em déficit hídrico ocorre redução na taxa fotossintética das plantas, ocasionando fechamento dos estômatos para reduzir a perda de água por transpiração, redução na absorção de CO_2 , redução da área foliar, além de acelerar a senescência das folhas (LARCHER, 2006; TAIZ e ZEIGER, 2017). Todas essas modificações fazem parte da defesa natural das plantas contra o estresse hídrico.

Figura 3 - Trocas gasosas foliares em dois genótipos de amendoim submetidos ao déficit hídrico em um experimento em condições de casa de vegetação. Condutância estomática (gs), fotossíntese líquida (A), transpiração (E), concentração interna de CO₂ (Ci), eficiência instantânea da carboxilação (EiC) e eficiência do uso da água (EUA) em genótipos de amendoim (BRS 421 e BRS 423) inoculados com *Bradyrhizobium spp.*, sob estresse hídrico. Letras minúsculas comparando o regime hídrico dentro de cada genótipo, maiúsculas comparando os tratamentos dentro de cada genótipo e as letras gregas comparam os genótipos. (Teste de Tukey ($p < 0,05$)).





Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Pôde-se observar que não houve ou foi pouca a redução da C_i em todos os tratamentos avaliados na condição de déficit hídrico. A redução da condutância estomática g_s limita a absorção de carbono, uma vez que, a redução da g_s implica no fechamento da abertura estomática e consequentemente na redução de absorção do carbono.

Resultados semelhantes foram observados por Suassuna (2011), quando genótipos de citros submetidos a déficit hídrico, mantiveram o C_i com valores próximos entre às condições de irrigado ou não irrigado. Isso implica dizer que as plantas quando sob injúrias ambientais, ajustam os mecanismos morfológicos de tolerância à seca. Ferraz et al. (2012) observaram que não houve diferença significativa para a variável C_i em ecotipos de *Phaseolus vulgaris* L. cultivados no semiárido, ressaltando que nem sempre ocorre a redução de C_i em condições de déficit hídrico. Efeito semelhante encontrado no presente trabalho, onde não se observou redução significativa do carbono, sendo que em alguns dos tratamentos o C_i ficou próximo ou até mesmo um pouco acima na condição de déficit hídrico, quando comparado ao controle irrigado.

Esse comportamento fisiológico é possível, devido o carbono encontrar-se presente nas câmaras subestomáticas sendo acessado para fotossíntese em condições ambientais normais, entretanto, em condições de déficit hídrico podem ocorrer falhas no fotossistema, provocadas pela restrição hídrica, afetando no acesso ao carbono e consequentemente a fotossíntese, mesmo que este esteja em quantidades altas nos estômatos (BERTOLLI et al., 2015).

Para a transpiração, verificou-se redução em todos os genótipos submetidos ao estresse hídrico. Azevedo Neto et al. (2010) observaram em cinco cultivares de amendoim que a redução da transpiração variou de 89% a 94% até o fim do período de estresse. Essa é uma consequência prevista, pois conforme a disponibilidade hídrica é reduzida no solo, os estômatos se fecham e a

transpiração diminui para evitar a perda de água (ALBUQUERQUE et al., 2013). Isso é observado, pois, assim como reduziu a transpiração houve a redução da fotossíntese e da condutância estomática.

A condutância estomática é um fator essencial para na avaliação de trocas gasosas nas plantas, pois indica o fechamento dos estômatos, estruturas responsáveis pela saída de água e entrada de CO₂ (GONÇALVES et al., 2010; FERRAZ et al., 2014). Nos genótipos avaliados, pode-se observar que houve redução na *g_s* em todos os tratamentos sob condições de déficit hídrico. Apesar de não ser relacionado na literatura trabalhos avaliando a interação de plantas-microrganismos em condição de déficit hídrico, Kalariya et al. (2013) observaram a redução da condutância estomática em variedades de amendoim, quando estas foram submetidas ao déficit hídrico, observando reduções na *g_s* entre 20% e 55%, sem a presença de inoculantes.

A relação entre a taxa de assimilação de CO₂ e a concentração de CO₂ intracelular (A/C_i) é o cálculo realizado para obter a eficiência instantânea da carboxilação (E_iC), ou seja, o quanto de CO₂ foi utilizado no processo de fotossíntese (KONRAD et al., 2005).

Em relação a fotossíntese líquida, observa-se que houve redução em todos os tratamentos sob déficit hídrico, e inoculados com estirpes de rizóbios. Esse resultado já era esperado, tendo em vista que sob déficit hídrico moderado a fotossíntese foliar é afetada e conforme o estresse avança os efeitos são mais evidentes (TAIZ e ZEIGER, 2006; AZEVEDO NETO et al., 2010)

Para a E_iC houve redução em todos os tratamentos irrigados, indicando baixa eficiência da carboxilação. Em condições de déficit hídrico um dos fatores que causa a redução da E_iC é a menor absorção de CO₂ (DUTRA et al., 2015), de acordo com Ferraz et al. (2012), sob déficit hídrico, a resistência da difusão gasosa limita a assimilação de CO₂ (A), causada pelo fechamento estomático, refletindo na eficiência da carboxilação. Assim como no presente estudo, o déficit hídrico afetou a E_iC causando a redução da mesma, em cultivares de feijão-caupi (DUTRA et al., 2015) e cultivares de laranjeiras (MAGALHÃES FILHO et al., 2008).

A Eficiência do Uso da Água (EUA) é a taxa que representa a quantidade de carbono fixado durante a fotossíntese para cada molécula de água perdida durante esse processo (JAIMEZ et al., 2005). O fechamento estomático é importante para evitar a perda excessiva de água na transpiração, permitindo a utilização do CO₂ acumulado nas câmaras subestomáticas e reduzindo a perda de água no déficit hídrico (BERTOLLI et al., 2015; YAN et al., 2016).

Pôde-se observar que houve redução na EUA para todos os tratamentos sob estresse hídrico, sendo que o tratamento ESA 123, obteve pouca redução, tendo valores médios próximos aos tratamentos irrigados, sendo portanto, mais eficiente. As plantas C3 de clima semiárido podem ser tolerantes a seca, por possuírem controle estomático e alta EUA, isso é variável entre e dentro

das espécies, sendo dependente das características fisiológicas e dessas associadas a outras características das plantas, tais como, desenvolvimento radicular e morfologia da parte aérea (PIMENTEL, 2004).

Em relação a fotossíntese líquida, observa-se que houve redução em todos os tratamentos sob déficit hídrico, e inoculados com estirpes de rizóbios. Esse resultado já era esperado, tendo em vista que sob déficit hídrico moderado a fotossíntese foliar é afetada e conforme o estresse avança os efeitos são mais evidentes nas plantas (TAIZ e ZEIGER, 2006; AZEVEDO NETO et al., 2010).

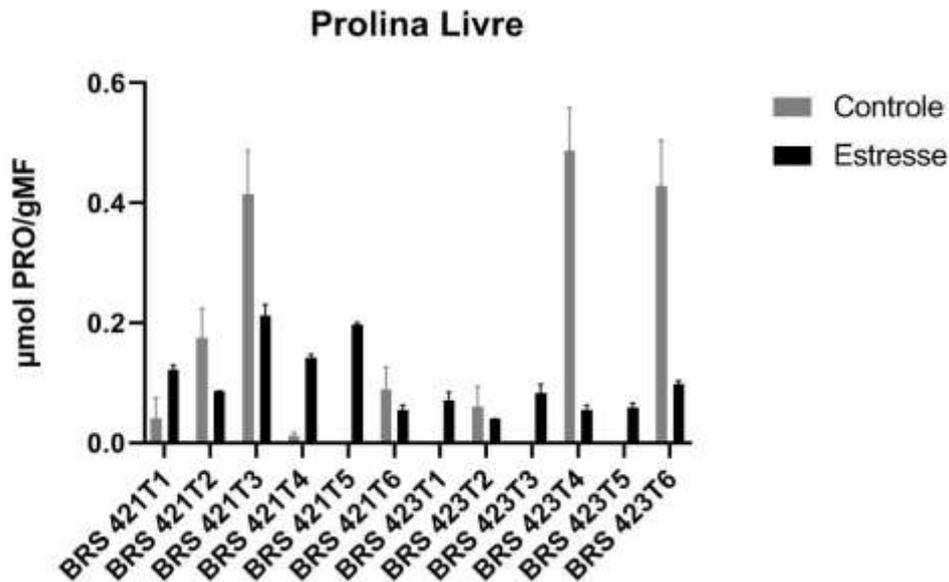
O fechamento estomático provoca a redução da absorção de carbono, deixando de ser assimilado para a fotossíntese, afetando a mesma. Assim, como no presente estudo, Kalariya et al. (2013), também observaram em genótipos de amendoim submetidos ao déficit hídrico a redução da fotossíntese líquida, seguida da redução da g_s e do carbono interno. Porém, nos tratamentos inoculados com rizóbios, a redução menos acentuada. O que pode ser considerado um efeito positivo das estirpes por serem capazes de promover a produção de osmorreguladores e atenuar o efeito do estresse (CHANG et al., 2007; KAVAMURA et al., 2013).

5.2 Análises bioquímicas

5.2.1 Prolina livre total

A análise de prolina livre total nos tecidos das plantas mostrou um aumento em alguns tratamentos sob déficit hídrico, como T1(Semia 6144), T3(16295), T4(16896) e T5(Nitrogênio) (Figura 4). A prolina é uns dos compostos osmorreguladores mais estudados em condições de baixa disponibilidade hídrica, sendo até mesmo utilizado como critério na classificação de variedades com menor ou maior resistência (NOGUEIRA et al., 1998; PEREIRA et al., 2010; ALVES et al., 2016). Os vegetais superiores sob condições de estresses, bióticos ou abióticos, acumulam açúcares, prolina livre, ácidos orgânicos, íons, dentre outros solutos (BARTELS e SUNKAR, 2005).

Figura 4 - Concentração de prolina livre em dois genótipos de amendoim inoculados com *Bradyrhizobium* e submetidos a estresse hídrico comparando-se ao controle, com seus respectivos tratamentos. T1- Semia 6144; T2- Esa 123; T3- 16295; T4- 16986; T5- Com nitrogênio; T6- Sem nitrogênio.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

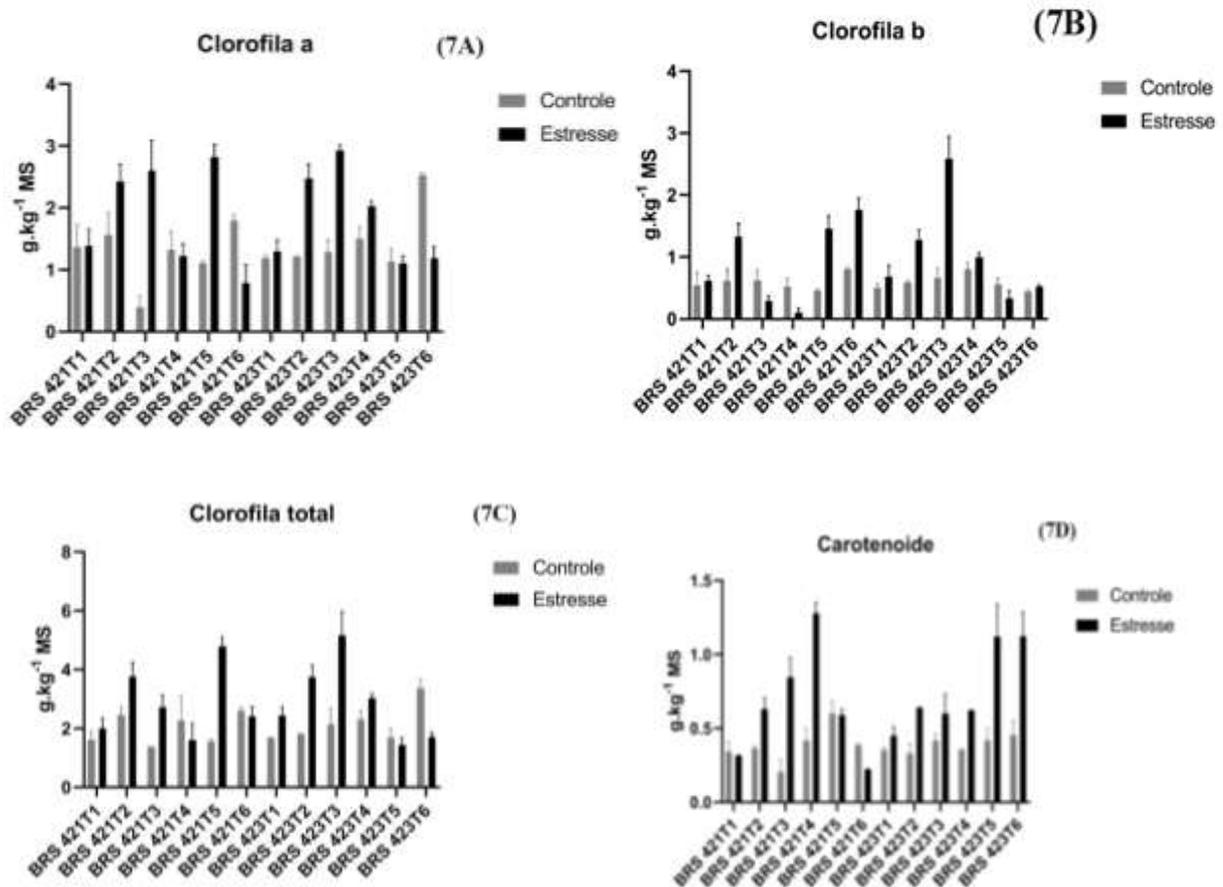
A maior concentração de prolina para o genótipo BRS 421 foi observada na condição controle e estresse no tratamento inoculado com a estirpe 16295, diferindo estaticamente dos demais tratamentos. No entanto, pode-se observar um aumento positivo em alguns tratamentos estressados, como os tratamentos 1 (Semia 6144), 4 (16896) e 5 (nitrogênio). Padmavathi e Rao (2013) e Sankar et al. (2014), em estudos com genótipos de amendoim, observaram acúmulo de prolina nas plantas estressadas e evidenciaram que o acúmulo nessas condições propõe uma adaptação das plantas para superar as condições de estresse.

5.2.5 Pigmentos fotossintetizantes

Apesar da restrição hídrica, os resultados mostraram uma interação positiva aumentando a concentração de clorofila *a* nos tratamentos inoculados com as estirpes ESA 123 e 16295, para ambos os genótipos (Figura 7A). Na avaliação da clorofila *b* foi observado um aumento expressivo na associação da BRS 423 com a estirpe 16295 e ainda um aumento na interação da BRS 421 com ESA 123 (Figura 7B) e para a clorofila total as estirpes ESA 123 e 16295 também apresentaram efeito positivo, bem como o tratamento nitrogenado. Essas interações foram mais eficientes na

indução a biossíntese dos pigmentos apresentando valores superiores ao controle (Figura 7C). Os tratamentos inoculados com ESA 123,16295 e 16896 promoveram um aumento nos carotenoides na BRS 421 (Figura 7D). Todavia, todos os tratamentos em associação com a BRS 423, obtiveram um aumento expressivo em relação ao tratamento controle, tendo destaque para os tratamentos nitrogenado e testemunha. Provavelmente tal resultado, deve-se ao do nitrogênio ser um componente essencial da estrutura química dos pigmentos, sendo assim a fertilização com esse nutriente possibilitando a síntese de compostos fotossintetizantes.

Figura 4 - Concentração de prolina livre em dois genótipos de amendoim inoculados com *Bradyrhizobium* e submetidos a estresse hídrico comparando-se ao controle, com seus respectivos tratamentos. T1- Semia 6144; T2- Esa 123; T3- 16295; T4- 16986; T5- Com nitrogênio; T6- Sem nitrogênio.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Gholinezhad et al. (2020) observaram uma redução dos níveis de clorofilas *a* e *b* com o aumento do estresse hídrico reduzindo em 60% e 26%, respectivamente, em comparação as plantas irrigadas de acordo com a demanda pela cultura. Os autores ressaltaram o aumento dos carotenoides e apontaram uma melhora nos tratamentos inoculados.

5.3 Avaliação do experimento conduzido em campo

Os genótipos de amendoim inoculados com *Bradyrhizobium* apresentaram significância a $p \leq 0,01$ em relação a MSR, MSPA e IC e para nitrogênio em relação a MSPA, MSV e MSPT (Tabela 5). Também houve significância a $p \leq 0,01$ na interação Cultivar x Nitrogênio para MSR e a $p \leq 0,05$ para a massa seca da planta total e índice de colheita.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância para as variáveis: stand final (SF), massa seca de raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das vagens (MSV), massa seca da planta total (MSPT) e índice de colheita (IC). Campina Grande-PB, 2021.

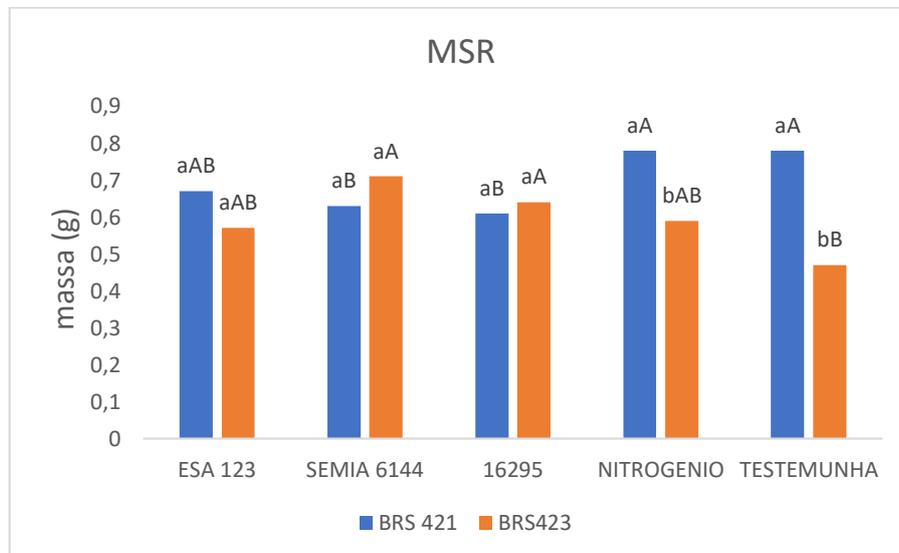
Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		SF	MSR	MSPA	MSV	MSPT	IC
Cultivar	1	21,025000 ^{ns}	0,102010 ^{**}	21,697290 ^{**}	2,056622 [*]	6,773290 ^{ns}	84,535562 ^{**}
Fontes de nitrogênio	4	49,812500 ^{ns}	0,007779 ^{ns}	8,210373 ^{**}	10,186002 ^{**}	28,412204 ^{**}	17,931790 ^{ns}
Cultivar x nitrogênio	4	14,087500 ^{ns}	0,051141 ^{**}	2,568915 ^{ns}	1,449235 ^{ns}	9,478846 [*]	31,964638 [*]
Bloco	3	851,491667 ^{ns}	0,009573 ^{ns}	0,882553 ^{ns}	1,665083 ^{ns}	3,299077 ^{ns}	4,132196 ^{ns}
Resíduo	27	1407,275000	0,004846	1,072879	2,059944	2,612973	10,401201
CV (%)		15,00	10,74	11,75	11,27	7,63	5,42

ns – não significativo; ** $p \leq 0,01$; * $p \leq 0,05$

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Para a MSR (Figura 6), o genótipo BRS 421 utilizando o nitrogênio químico e a testemunha absoluta apresentaram as maiores médias. A BRS 423 apresentou melhor média inoculado com as estirpes Semia 6144 e 16295. Diante disso, foi possível identificar uma contribuição significativa dos inoculantes para os atributos agrônômicos das raízes dos genótipos de amendoim estudados.

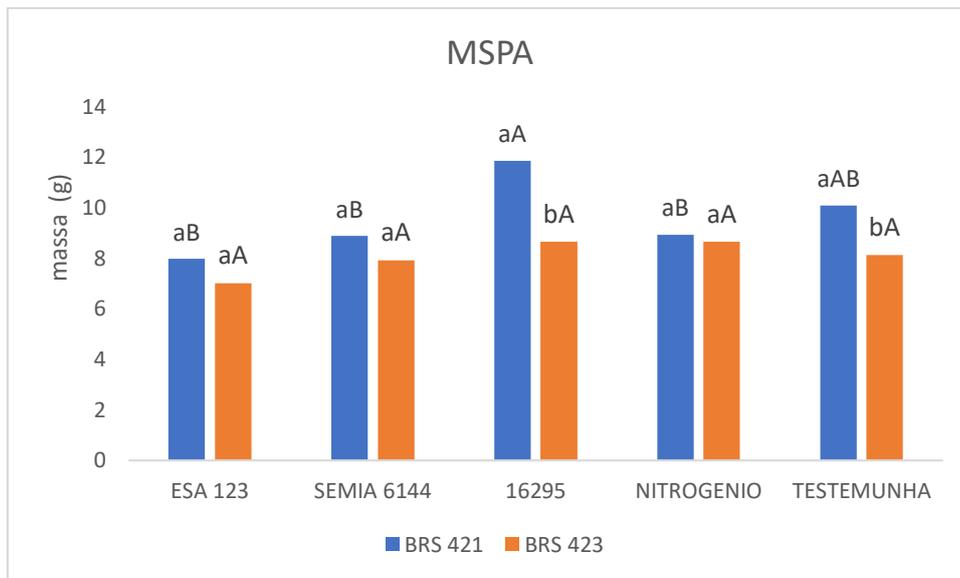
Figura 6 - Crescimento vegetativo (massa seca da raiz) (g) de genótipos de amendoim (BRS 421 e BRS 423) e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (ESA 123, SEMIA 6144 e 16295). Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423. Letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

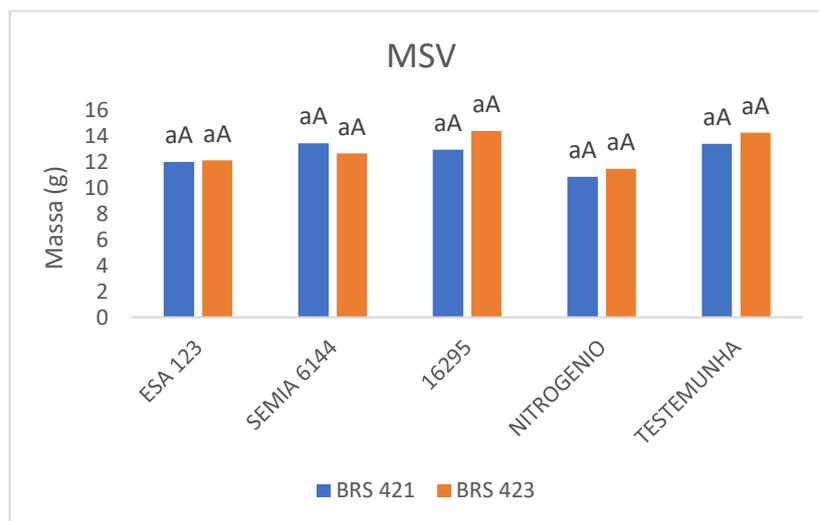
A associação das estirpes de *Bradyrhizobium*, 16295 com o genótipo BRS 421 para a variável massa seca da parte aérea, foi a que mais se destacou com média 10,26 g/planta (Figura 7) entretanto a testemunha absoluta também se sobressaiu com média 9,1 g/planta. Esses resultados mostram a eficiência do uso de inoculantes bacterianos para a variável analisada, todavia houve redução dos demais tratamentos inoculados. Para Pimentel (2004), a redução da massa seca da parte aérea varia entre as espécies e entre outros fatores, como altas temperaturas, radiação e baixos teores de nutrientes. A testemunha absoluta que também obteve uma média superior aos demais tratamentos inoculados indica que as estirpes nativas do solo foram capazes de suprir a demanda de N requerida pelas plantas. No geral, essa variável obteve uma boa interação quando inoculados com a BRS 421, apresentando médias superiores a BRS 423.

Figura 7 - Crescimento vegetativo (massa seca da parte aérea) (g). Genótipos: BRS 421 e BRS 423. Letras maiúsculas comparam os genótipos e letras minúsculas comparam as fontes de nitrogênio.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Figura 8 - Dados agrônômicos (massa seca de vagens) (g). Genótipos: BRS 421 e BRS 423. Letras maiúsculas comparam os genótipos e letras minúsculas comparam as fontes de nitrogênio.

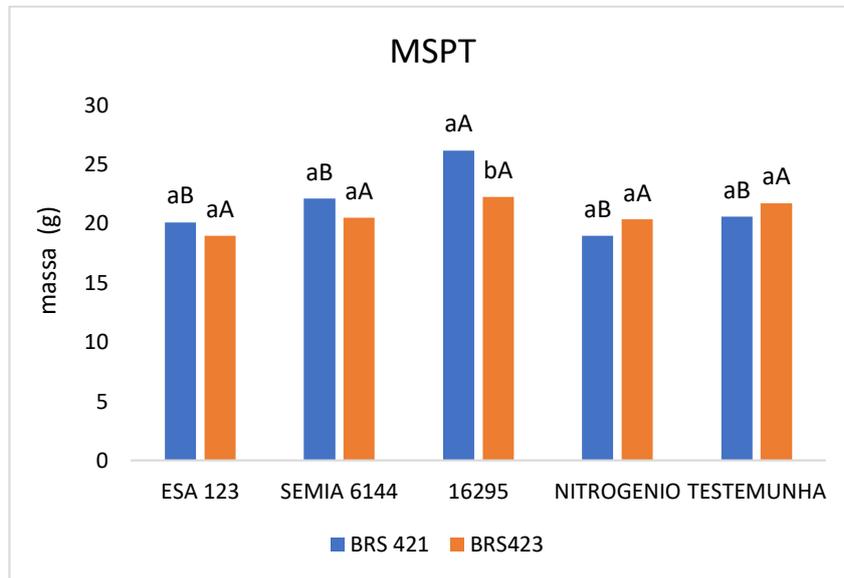


Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Para a produção de vagens, a estirpe 16295 e testemunha absoluta promoveram maior média com 13,82 e 13,62, em associação com o genótipo BRS 423 respectivamente, e o tratamento nitrogenado obteve a menor média, contudo não diferiram estatisticamente entre os tratamentos. Tal resultado é considerado positivo, já que ambos os genótipos apresentaram uma boa produção

de vagens em associação com as estirpes de rizóbios, mostrando-se assim um efeito extremamente relevante e importante para a produção de vagens, principalmente para o produtor, sendo uma alternativa viável para elevar a sua produtividade.

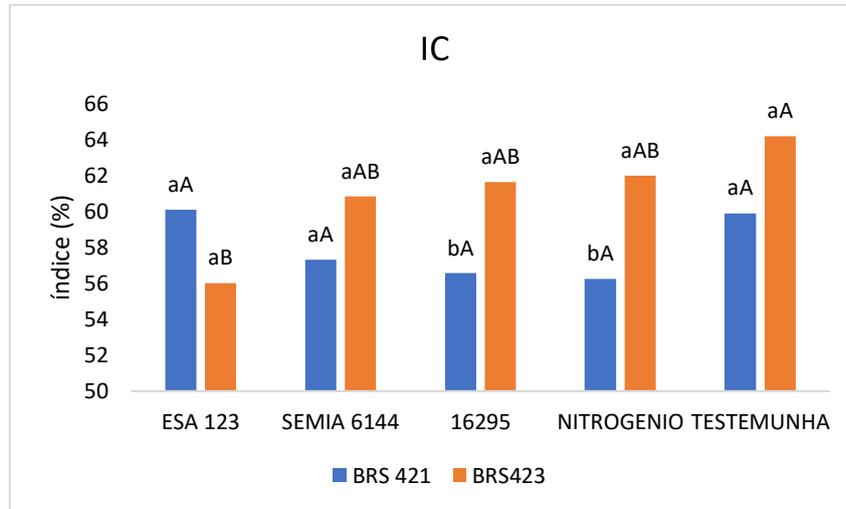
Figura 9 - Crescimento vegetativo (massa seca da planta total) (g). Genótipos: BRS 421 e BRS 423. Letras maiúsculas comparam os genótipos e letras minúsculas comparam as fontes de nitrogênio.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Para a MSPT, os genótipos BRS 421 e BRS 423 em interação com a estirpe 16295 apresentaram as melhores médias, 26,17 g/planta e 22,25 g/planta, respectivamente (Figura 10). Para o IC, a BRS 421 com a estirpe ESA 123 atingiu uma maior média (60,10) diferindo-se apenas do tratamento nitrogenado. Enquanto para a BRS 423, a testemunha absoluta se sobressaiu (60,17). Para o índice de colheita, esse resultado é interessante por denotar que, mesmo em condições adversas, a planta foi capaz de manter a divisão de fotossintatos de forma mais equilibrada, de modo a garantir a produção dos frutos.

Figura 10 - Dados agrônômicos (índice de colheita) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (ESA 123, SEMIA 6144, 16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423. Letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

O índice de colheita, mostrou que a associação das estirpes com o genótipo BRS 423 foi maior, em relação a BRS 421. Entretanto, a estirpe ESA 123 com a BRS 421 se sobressaiu, não diferindo dos tratamentos SEMIA 6144 e testemunha absoluta, ambos para a BRS 421. Esse resultado é interessante por denotar que, mesmo em condições adversas, a planta foi capaz de manter a divisão de fotossintatos de forma mais equilibrada, de modo a garantir a produção dos frutos.

O número de vagens por planta apresentou significância de $p \leq 0,01$ para a interação cultivar x nitrogênio. O peso de 100 vagens não houve significância, já o peso de sementes houve significância $p \leq 0,01$ para cultivar (Tabela 7).

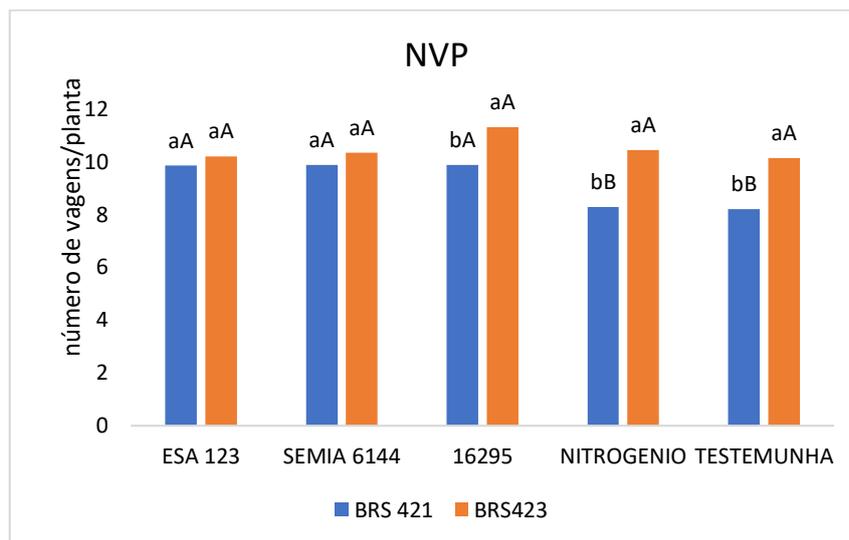
Para o número de vagens por planta, a cultivar BRS 421 em interação com estirpes de *Bradyrhizobium* apresentou as melhores médias, comparado aos tratamentos nitrogenado e testemunha, enfatizando o efeito positivo desses isolados para a formação de vagens. Para a BRS 423 não houve diferença, apresentando valores médios bem próximos. A deficiência hídrica reduz a produção de flores, e o efeito é proporcional, diminuindo sensivelmente o número de vagens por planta, uma vez que há redução na produção de fotoassimilados (Rao et al., 1988).

Tabela 7 - Resumo da análise de variância para as variáveis: número de vagens por planta (NVP), peso de 100 vagens (P100V), peso de sementes (PSEM), peso da casca (PCASCA), peso de sementes chocha (PSC) e peso de 100 sementes (P100S) Campina Grande-PB, 2021.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		NVP	P100V	PSEM	PCASCA	PSC	P100S
Cultivar	1	16,307290**	136,974010S ^{ns}	661,700902**	358,321960**	172,225000**	157,529610**
Fontes de nitrogênio	4	2,684579**	125,300310 ^{ns}	64,938065 ^{ns}	12,574628 ^{ns}	28,770754**	34,709573**
Cultivar x nitrogênio	4	1,386534*	103,304185 ^{ns}	107,721427 ^{ns}	13,702198 ^{ns}	28,544169**	8,714297**
Bloco	3	0,130430 ^{ns}	21,163797 ^{ns}	62,678269 ^{ns}	9,635670 ^{ns}	10,330283*	1,681750 ^{ns}
Resíduo	27	0,392361	52,988134	58,689793	5,176816	2,858935	0,697809
CV (%)		6,36	5,07	6,79	8,03	15,75	1,25

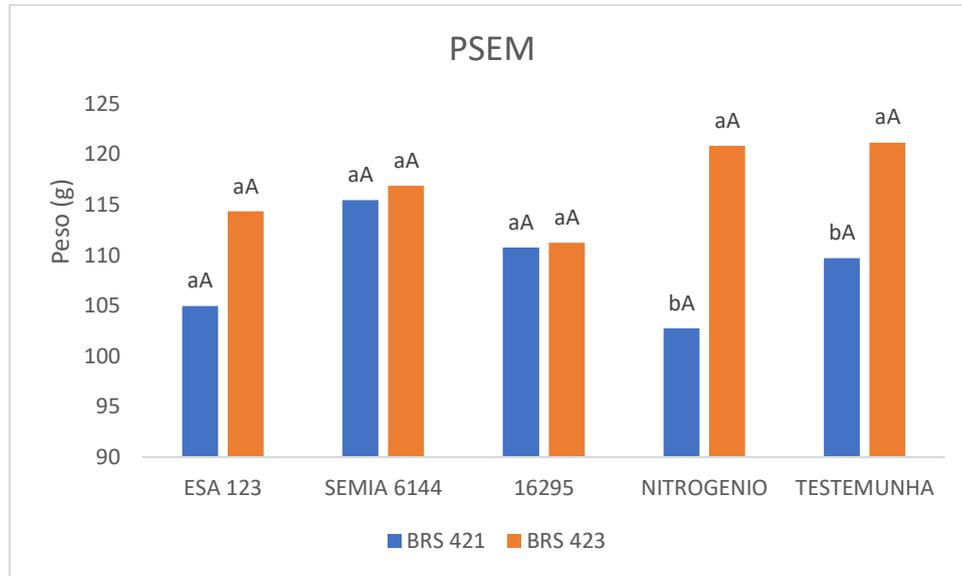
Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Figura 11 - Dados agrônômicos (número de vagens por planta) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (ESA 123, SEMIA 6144, 16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423. Letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Figura 12 - Dados agronômicos (peso de sementes) (g) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (ESA 123, SEMIA 6144, 16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423. Letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.

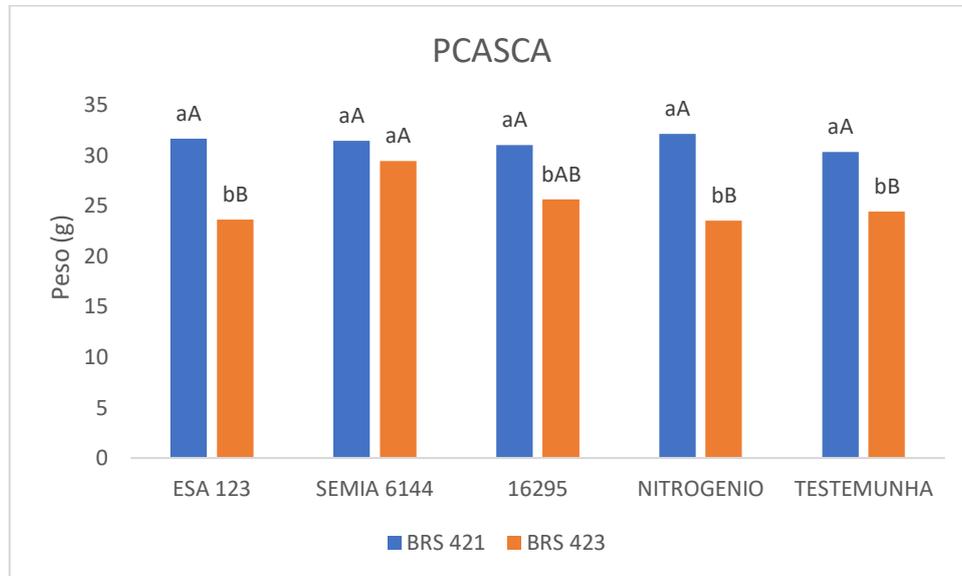


Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

O peso de sementes teve destaque para a interação nitrogênio e testemunha com a BRS 423, tendo médias de 120,78 e 121,13 respectivamente, diferindo apenas dos tratamentos nitrogenado e testemunha, para a BRS 421, quando comparados as fontes de nitrogênio.

O peso de sementes encontrado no presente estudo indica que os rizóbios testados fixaram o nitrogênio atmosférico de modo eficiente, fornecendo ao amendoim quantidade necessária para o desenvolvimento das plantas, entretanto os tratamentos nitrogenados e testemunha refletiu positivamente em maior peso das sementes, obtivendo as maiores médias, porém não diferiu dos demais tratamentos. Resultados similares foram encontrados por Fonseca et al. (2013), avaliando a resposta de cultivares de feijoeiro à inoculação com rizóbios em duas localidades diferentes, observaram diferenças significativas entre os tratamentos inoculados, onde a testemunha sem inoculação (26,26 g) e a bactéria CIAT 899T (26,31 g) foram superiores ao tratamento com a bactéria UFLA-04,173 (25,03 g).

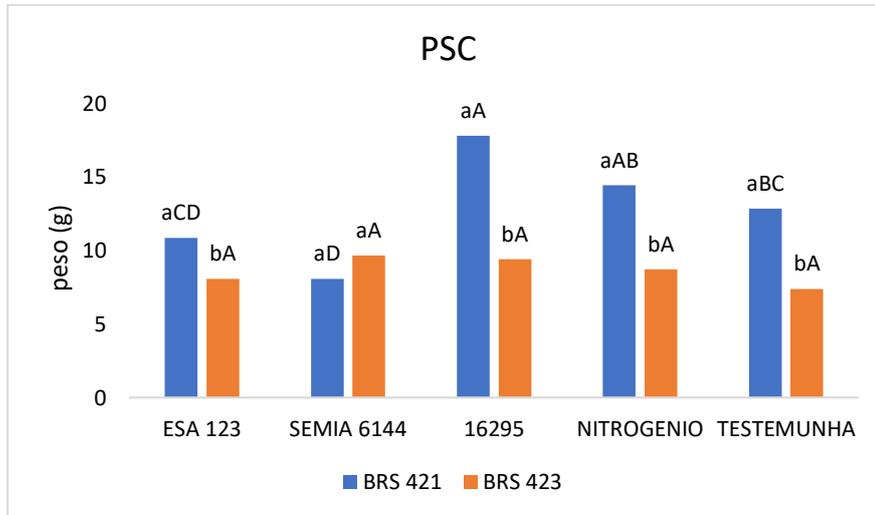
Figura 13 - Dados agronômicos (peso da casca) (g), de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (ESA 123, SEMIA 6144, 16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423. Letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

O peso da casca apresentou maiores médias para todos os tratamentos em associação com a BRS 421, não diferindo estatisticamente. Já para a BRS 423, a interação com a estirpe SEMIA 6144, obteve a maior média 29,4g, diferindo dos demais tratamentos, quando comparados o mesmo genótipo. O peso da casca é uma variável que reflete na produção de grãos, pois quanto maior o peso da casca, conseqüentemente terá um maior peso e quantidade de grãos.

Figura 14 -Dados agrônômicos (peso de sementes chocha) (g), de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (ESA 123, SEMIA 6144,16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423. Letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.

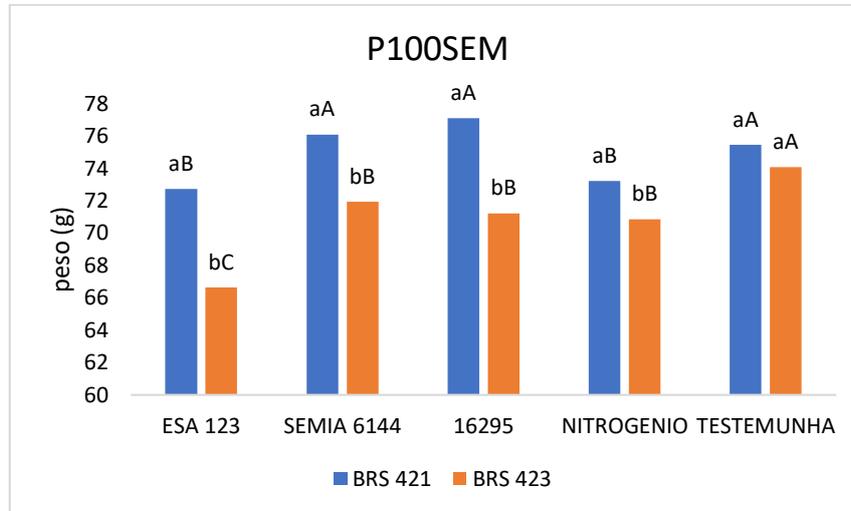


Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Houve destaque para a estirpe 16295 com o genótipo BRS 421, tendo uma maior média em relação aos demais tratamentos diferindo estatisticamente, para a variável peso de sementes chocha, e para a BRS 423 a estirpe semia 6144 se destacou, apresentando um maior número de sementes chocha. Tal resultado pode estar relacionado com a pouca disponibilidade hídrica no experimento, afetando assim o enchimento dos grãos e aborto de óvulos (Burkhart & Collins, 1941), produzindo frutos com uma ou nenhuma semente (Colwell & Brady, 1945b) e, ou, vagens chochas (Cox & Reid, 1964).

Porém a estirpe Semia 6144, em associação com o genótipo BRS 421, obteve um menor número de sementes chocha, sendo neste caso, a interação mais eficiente.

Figura 15 - Dados agrônômicos (peso de 100 sementes) (g), de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (ESA 123, SEMIA 6144, 16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423. Letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Para o peso de 100 sementes, a BRS 421 destacou-se em todas as fontes de nitrogênio, obtendo as maiores médias em relação a BRS 423, sendo a cultivar mais promissora nessas condições.

De acordo com Rao et al. (1985), na cultura do amendoim, quando a deficiência hídrica ocorre durante a fase de enchimento dos frutos, a relação peso de sementes/frutos é afetada drasticamente. Ross & Kvien (1989) revelaram que a deficiência hídrica afeta a composição das sementes, diminuindo o volume e o peso médio das sementes, reduzindo o movimento e absorção de nutrientes imóveis no floema. Todavia, também há redução do fluxo de nutrientes móveis no floema às sementes (Conkerton et al., 1989).

Tabela 8 - Resumo da análise de variância para as variáveis: número de nódulos por planta (NNP), massa de nódulo seco (MNS), comprimento da raiz (CR), comprimento da parte aérea (CPA), Campina Grande-PB, 2021.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		NNP	MNS	CR	CPA
Cultivar	1	34.114090**	0.000063 ^{ns}	0.951722 ^{ns}	13.537322**
Fontes de nitrogênio	4	779.982746**	0.001329*	9.285916**	16.986447**
Cultivar x nitrogênio	4	749.745784**	0.002681**	15.642591**	7.999548**
Bloco	3	0.579843 ^{ns}	0.000163 ^{ns}	0.301516 ^{ns}	0.301349 ^{ns}
Resíduo	27	1.836614	0.000222	0.588270	0.272134
CV (%)		2,03	23,18	6,24	1,86

ns- não significativo; **, * - significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

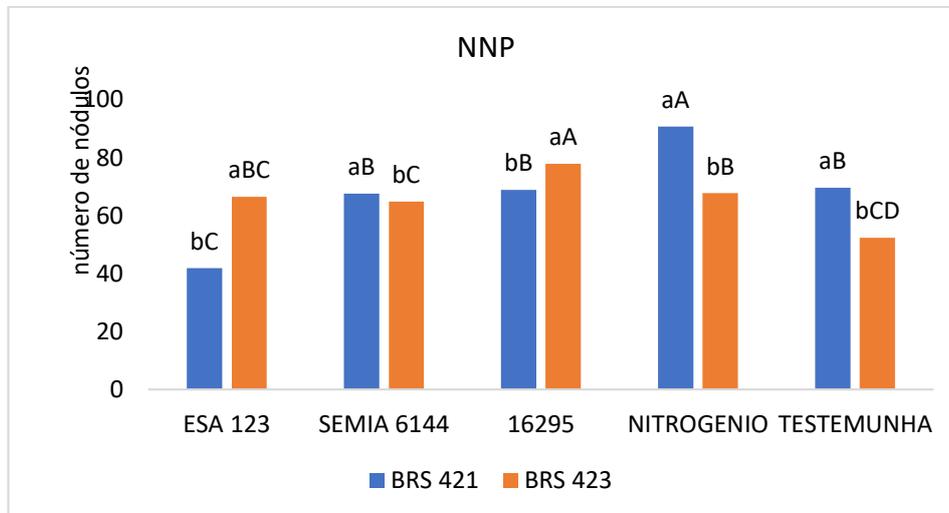
Houve significância de $p \leq 0,01$ para todas as fontes de variação analisadas em relação ao NNP (Tabela 8). Para o MNS também houve significância de $p \leq 0,01$ para a interação cultivar x nitrogênio e $p \leq 0,05$ para nitrogênio. Para o número de nódulos por planta (Figura 12A), observou-se que todos os tratamentos apresentaram nodulação com médias acima de 40.

Straliotto (2002) estudando a inoculação com rizóbio na cultura do feijoeiro observou que o indicativo de boa nodulação pode ser observado pela formação de nódulos por planta, os quais devem ser superiores a 20 nódulos ativos. No presente estudo observa-se que em todos os tratamentos o número de nódulos foi superior a esse valor indicado por este autor. Destaque para a BRS 423 com a estirpe 16296 que apresentou 77,75, contribuindo assim para uma boa nodulação das plantas e conseqüentemente uma fixação de nitrogênio (Figura 16).

Em relação a massa de nódulos secos (Figura 17), houve aumento na BRS 421 com o nitrogênio químico, corroborando com o aumento em número de nódulos, para o mesmo genótipo. O mesmo foi observado para a BRS 423 inoculado com a estirpe 16295, enfatizando que o número de nódulos resultou também em uma maior massa seca de nódulos.

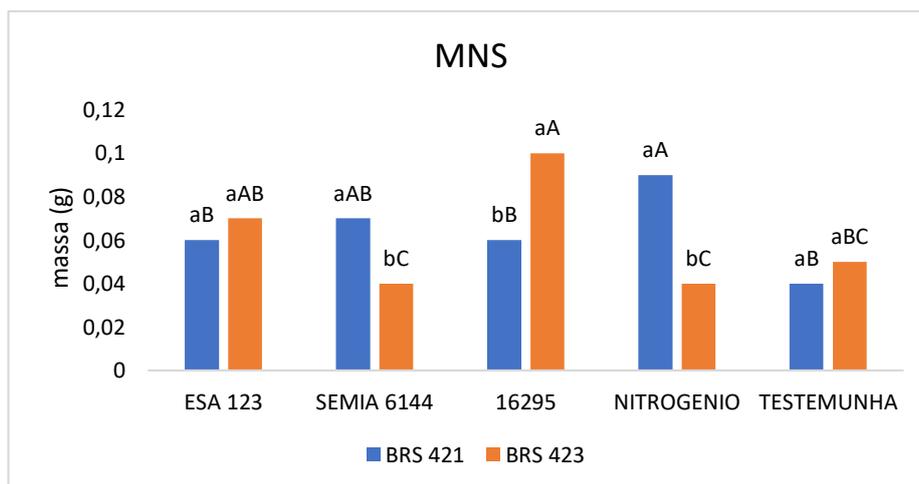
Os autores Hungria & Bohrer (2000) relataram que a massa seca dos nódulos é uma variável importante na avaliação da nodulação por rizóbios em virtude da melhor correlação com o desempenho simbiótico. Quanto ao processo de fixação biológica do nitrogênio, o resultado de número e massa seca de nódulos são parâmetros indiretos que avaliam esse processo (PEIXOTO et al., 2010).

Figura 16 - Nodulação (número de nódulos por planta) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (ESA 123, SEMIA 6144,16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423. Letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Figura 17 - Nodulação (massa de nódulos seco) (g) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (ESA 123, SEMIA 6144,16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423. Letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.

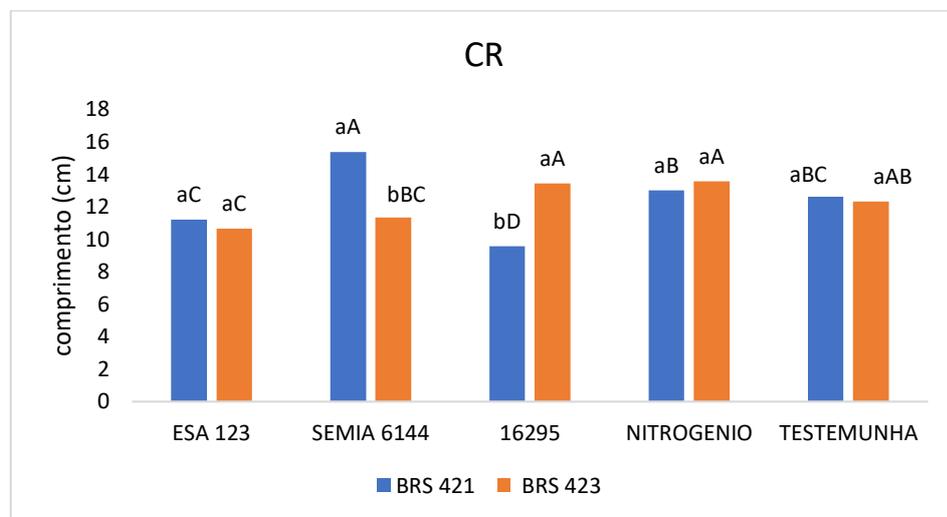


Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Houve significância de $p \leq 0,01$ em relação ao CR, para fontes de nitrogênio e na interação cultivar x nitrogênio. Para o CPA houve significância de $p \leq 0,01$ para todas as fontes de variação (Tabela 8). Observou-se que para a variável CR, o genótipo BRS 421 inoculada com a estirpe Semia 6144 se destacou em relação as demais, com média de 15,36 cm/planta. O sistema radicular do amendoim é extenso e ramificado, apresentando raiz pivotante com ramificações laterais, o que

propicia rápido crescimento e absorção de nutrientes (Peixoto et al., 2008). Para a BRS 423, teve destaque para a estirpe 16295 com 13,41 cm/planta e o tratamento nitrogenado com 13,55 cm, não diferindo estatisticamente. Esse elevado crescimento sugere influência dessas bactérias sobre o crescimento das raízes do amendoim, pois além da fixação biológica de nitrogênio, a produção de fitormônios pode ter influenciado o desenvolvimento e crescimento radicular da planta, e consequentemente melhorar a capacidade das plantas em suportar um período de seca (RUCKER et al., (1995)

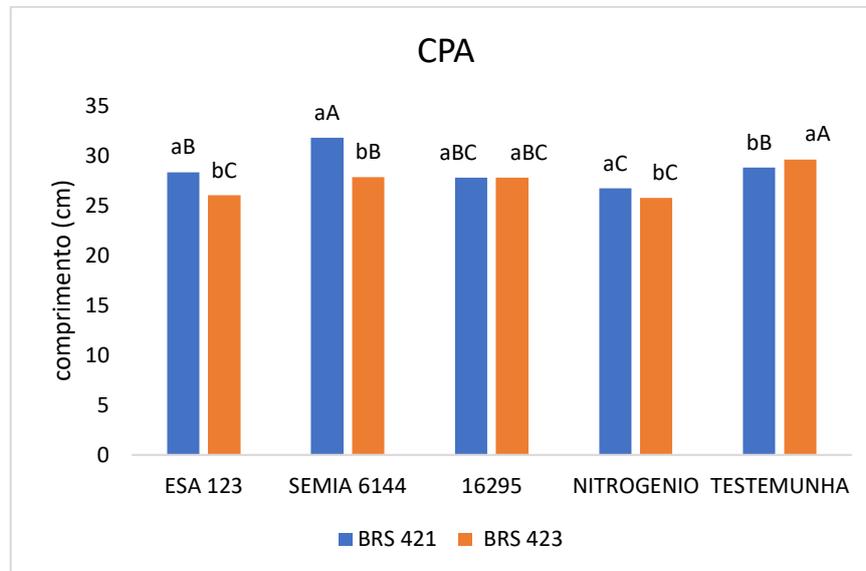
Figura 18 - Crescimento vegetativo (crescimento da raiz) (cm) de genótipos de amendoim e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (ESA 123, SEMIA 6144, 16295. Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423. Letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Em relação ao comprimento da parte aérea (Figura 19), a estirpe Semia 6144 com a BRS 421 alcançou média de 31,77 cm. Este resultado corrobora com os dados encontrados para o CR, enfatizando o bom desempenho desse isolado para o crescimento das plantas de amendoim. Schossler et al. (2016), avaliando a influência da inoculação e co-inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* em sementes de feijoeiro sobre a produtividade de grãos da cultura, observaram efeito significativo dos tratamentos com inoculações isoladas, assim como da co-inoculação de ambas as bactérias sobre a altura de plantas.

Figura 19 - Crescimento vegetativo (comprimento da parte aérea) (cm) de genótipos de amendoim inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium* (ESA 123, SEMIA 6144 e 16295). Manejos: Nitrogênio e sem nitrogênio (testemunha absoluta). Genótipos: BRS 421 e BRS 423. Letras minúsculas para as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

A tabela 9 contém as análises das médias obtidas para os valores referentes a produtividade de rendimento de grãos (em casca), dos genótipos de amendoim inoculados com estirpes de *Bradyrhizobium*. A estirpe 16295 em associação com o genótipo BRS 421 foi a que promoveu a maior média entre todos os tratamentos, mostrando-se assim um potencial elevado de competitividade, quando comparado com as estirpes ESA 123, que vem sendo testada muitas vezes em experimentos com amendoim, e SEMIA 6144, que é a estirpe recomendada pelo MAPA. Já a cultivar BRS 423 teve sua melhor média quando inoculada com ESA 123. A produtividade de grãos é umas das mais importantes variáveis estudadas, tendo em vista que é um indicativo de lucro para o produtor, estando diretamente relacionada à rentabilidade de cultivo.

Os resultados dos parâmetros agrônômicos também ressaltam a importância da interação entre os genótipos dos micros- e macro-simbiontes na interação rizóbio-leguminosa, uma vez que os resultados obtidos com a inoculação das estirpes ESA 123 e 16295 foi diferente nas duas variedades estudadas. Esse fator deve ser levado em conta nos projetos de melhoramento genético do amendoim, para a seleção de genótipos mais responsivos à inoculação com rizóbios eficientes.

Tabela 9 - Análise dos valores médios da produtividade de grãos Kg/ha⁻¹, avaliados em experimento conduzido em campo, Campina Grande, PB 2021.

Genótipos	Tratamentos				
	ESA123	SEMIA 6144	16295	Nitrogenado	Test. Absoluta
BRS 421	1722,6aA	1789,0aA	2316,4aA	1698,4aA	1931,2aA
BRS 423	1801,5aA	1443,7aA	1601,5bA	1630,4aA	1685,1aA

*Médias seguidas de mesma letra em cada linha e coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de Tukey. Letras minúsculas comparam as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Uma estirpe para uso comercial deve ser eficiente e competitiva, pois competem pela ocupação dos sítios de infecção e as bactérias mais competitivas tendem a ocupar uma maior quantidade desses sítios e resultar em maior número de nódulos formados (FERNANDES JÚNIOR et al., 2008).

Em trabalho conduzido por Gericó (2019), constatou-se o aumento da produtividade de vagens de amendoim quando inoculado com *Bradyrhizobium* sp., além do aumento na massa da parte aérea e dos nódulos. O efeito positivo da inoculação do amendoim por *Bradyrhizobium* também foi constatado por Zapata et al. (2014) que submeteram isolados de *Bradyrhizobium* na cultivar de amendoim Valência, os resultados sinalizaram aumentos significativos no crescimento das plantas, acúmulo de massa seca e no rendimento de grãos.

Para MSR podemos observar que os tratamentos ESA 123, 16295, nitrogenado e testemunha absoluta, diferiram estatisticamente do tratamento SEMIA 6144 em associação com o genótipo BRS 423, porém em combinação com a BRS 421, não diferiu dos demais tratamentos, apresentando médias próximas. A BRS 421 em todos os tratamentos obteve as maiores médias para a variável analisada (Tabela 10).

Pode-se observar, que no presente trabalho, não houve redução da massa seca da raiz kg/ha nos tratamentos com rizóbios, podendo estes atuarem na mitigação dos danos causados pela falta de água, assim, a planta desencadeia mecanismos de ajuste osmótico, tornando o potencial hídrico nas células vegetais mais negativo que o solo, para manter a absorção de água.

Rizobactérias promotoras de crescimento, como os rizóbios, podem estimular o crescimento radicular, que além da FBN, podem incentivar a produção do hormônio citocinina nas raízes, aumentando a proliferação dos pêlos absorventes (VACHERON et al., 2013). Furlan (2017) em experimentos com amendoim inoculados com *Bradyrhizobium* sp., observou ganhos no peso seco de raízes em condições de estresse abiótico. Estes dados corroboram com os resultados aqui

apresentados e confirmam o benefício que a interação dos rizóbios com as plantas promove no crescimento das plantas.

Tabela 10 - Análise dos valores médios da produtividade de massa seca da raiz Kg/ha⁻¹, avaliados em experimento conduzido em campo, Campina Grande, PB 2021.

Genótipos	Tratamentos				
	ESA123	SEMIA 6144	16295	Nitrogenado	Test Absoluta
BRS 421	126,5aA	108,5aA	121,8aA	111,7aA	88,2aA
BRS 423	89,8aA	60,1bA	89,8aA	71,8aA	57,8aA

*Médias seguidas de mesma letra em cada linha e coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de Tukey. Letras minúsculas comparam as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Para a variável massa seca da parte aérea (Kg/ha), não houve diferença estatística entre os tratamentos. Todavia, o genótipo BRS 421 em associação com a estirpe 16295 obteve a maior média entre todos os tratamentos, corroborando com os resultados obtidos neste presente estudo para a variável massa seca da planta total e rendimento de grãos.

Arruda et al. (2015) constataram reduções no acúmulo de massa seca de genótipos de amendoim sob deficiência hídrica, mostrando, assim, variabilidade genotípica entre as plantas da espécie *A. hypogaea*, contradizendo com os resultados encontrados no presente estudo. Por outro lado, esses autores não usaram inoculantes, então isso corrobora com a ideia de que o uso de inoculantes pode mitigar os efeitos do déficit hídrico em amendoim.

Tabela 11 - Análise dos valores médios da massa seca da parte aérea Kg/ha⁻¹, avaliados em experimento conduzido em campo, Campina Grande, PB 2021.

Genótipos	Tratamentos				
	ESA123	SEMIA 6144	16295	NITROGENADO	TEST ABSOLUTA
BRS 421	2089,8aA	1816,40a A 1816,4aAA	2359,37a 2359,37a	2074,22aA 2000,20aA	2000,0aA
BRS 423	1871,0aA	1753,9Aa	1855,4aA	1863,2aA	1867,1aA

*Médias seguidas de mesma letra em cada linha e coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de Tukey. Letras minúsculas comparam as fontes de nitrogênio dentro do genótipo e letras maiúsculas para o genótipo.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

6 CONCLUSÕES

Os genótipos de amendoim inoculados com *Bradyrhizobium* e cultivados em condições de déficit hídrico, em casa de vegetação, revelaram efeito significativo no crescimento vegetativo das plantas com inoculantes bacterianos, destacando-se as interações que mais contribuíram para mitigar os efeitos do estresse hídrico: BRS 421 x SEMIA 6144 e BRS 421 x 16295; BRS 423 x ESA 123 e BRS 423 x 16295.

No experimento de campo, considerando a produtividade, o genótipo BRS 421 estabeleceu melhor interação com a estirpe 16295 com um incremento de 27% para o rendimento de grãos (kg/ha). Enquanto o genótipo BRS 423 interagiu melhor com a estirpe ESA 123 que promoveu incremento em torno de 10%. Comparando a produção final dos dois genótipos, o genótipo BRS 421 foi o mais responsivo, com uma produtividade superior em 21%, contribuindo para uma boa produtividade e rendimento de grãos.

REFERÊNCIAS

- AKCAY, U. C.; ERCAN, O.; KAVAS, M.; YILDIZ, L.; YILMAZ, C.; OKTEM, H. A.; YUCEL, M. Drought-induced oxidative damage and antioxidant responses in peanut (*Arachis hypogaea* L.) seedlings. **Plant Growth Regulation**, v. 61, p. 21-28, 2010.
- ALBUQUERQUE, M. P. F.; MORAES, F. K. C.; SANTOS, R. I. N.; CASTRO, G. L. S.; RAMOS, E. M. L. S.; PINHEIRO, H. A. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-africano submetidas à deficit hídrico e reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 1, p. 9-16, 2013.
- ARBONA, V.; MANZI, M.; OLLAS, C.; GOMEZ-CADENAS, A. Metabolomics as a tool to investigate abiotic stress tolerance in plants. **International Journal Molecular Science**, v. 14, n. 3, p. 4885–4911, 2013.
- APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, p. 373-399, 2004.
- ARRUDA, I. M.; CIRINO, V. M.; BURATTO, J. S.; FERREIRA, J. M. Crescimento e produtividade de cultivares e linhagens de amendoim submetidas a déficit hídrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 146-154, 2015.
- ALVES, G.M.R.; PEREIRA, J.W.L.; LUIZ, L.N.; LIMA, L.M; SANTOS, R.C.: Genotypic variability of peanut lines in response to water stress, based on biochemical descriptors. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p.528 – 526, 2016.
- AUSTIN A. T.; BUSTAMANTE, M. M. C.; NARDOTO, G. B.; MITRE, S. K.; PÉREZ, T.; OMETTO, J. P. H. B. ASCARRUNZ, N. L.; FORTI, M. C.; LONGO, K.; GAVITO, M. E.; ENRICH-PRAST, A.; MARTINELLI, L. A. Latin America's Nitrogen Challenge. **Science**, v. 340, p.340, 2013.
- AZEVEDO NETO, A. D.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; MELO FILHO, P. A.; SANTOS, R. C. Physiological and biochemical responses of peanut genotypes to water deficit. **Journal of Plant Interactions**, v. 5, p. 1-10, 2010.
- BARTELS, D.; SUNKAR, R. Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, **Boca Raton**, v. 24, n. 1, p. 23-58, 2005.
- BERTOLLI, S. C.; SOUZA, J.; SOUZA, G. M. Caracterização fotossintética da espécie isohídrica pata-de-elefante em condições de deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 196 – 205, 2015.
- BHATTACHARYYA, JHA, P. N. Natural occurrence of *Pseudomonas aeruginosa*, a dominant cultivable diazotrophic endophytic bacterium colonizing *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. **Applied Soil Ecology**, v. 64, p. 252–261, 2013.
- BOLONHEZI, D.; SANTOS, R. C.; GODOY, I. J. Manejo cultural do amendoim. In: SANTOS, R. C. **O agronegócio do amendoim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. p. 193-244.

BRANDA, S. S.; CHU, F.; KEARNS, D. B.; LOSICK, R.; KOLTER, R. A. A major protein component of the *Bacillus subtilis* biofilm matrix. **Molecular Microbiolog**, v. 59, n. 4, p. 1229-

BURKHART, L.; COLLINS, E.R. Mineral nutrients in peanuts plant growth. **Soil Science Society of America. Proceedings**, Madison, v.6, p.272-280, 1941.

CAVALCANTI, F.J. A. (Coord.). **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**: 2a. aproximação. 2 ed. rev. Recife: IPA, 1998. 198 p. il.

CHANG WS, VAN DE MROTEL M, NIELSEN L, GUZMAN GN, LI X, HALVERSON LJ. Alginate roduction by *Pseudomonas putida* creates a hydrated microenvironment and contributes to biofilm architecture and stress tolerance under water-limiting conditions. **J Bacteriol**, v. 189, n. 22, p. 8290–8299, 2007.

CHANWAY, C.P.; ANAND, R.; YANG, H. Nitrogen fixation outside and inside plant tissues. In: Ohyama, Takuji (Ed.), *Advances in Biology and Ecology of Nitrogen Fixation*, p. 3-23, 2014.

COLLINO, D. J.; SALVAGIOTTI, F.; PERTICARI, A.; PICCINETTI, C.; OVANDO, G.; URQUIAGA, S.; RACCA, R.W. Biological nitrogen fixation in soybean in Argentina: relationships with crop, soil, and meteorological factors. *Plant Soil*, v 392, p.239– 252, 2015.

COLWELL, W.E.; BRADY, N.C. The effects of calcium on yield and quality of large-seed type peanuts. **American Society of Agronomy Journal**, Madison, v.37, n.413-428, 1945b.

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos **Acomp. safra bras. grãos** v.8– S.

CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, p. 7, 2004.

CONKERTON, A.J.; ROSS, L.F.; DAIGLE, D.J.; KVIEN, C.S.; McCOMBS, D.S. The effect of drought stress on peanut seed composition. II. Oil, protein and minerals. **Oleagineux**, Montpellier, v.44, n.12, p.593-602, 1989.

COX, F.R.; REID, P.H. Calcium-boro nutrition as related to canceled damage in peanuts. **Agronomy Journal**, Madison, v.56, p.173-176, 1964.

DILLEHAY, T.D.; ROSSEN, J.; ANDRES, T.C.; WILLIAMS, D.E. Preceramic adaption of peanut, squash, and cotton in northern Peru. **Science**, v. 316, p. 1890-1893, 2007.

DOBEREINER, Joana. A importância da fixação biológica de nitrogênio para a agricultura sustentável. *Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*, v.1, p.1-2, 1997.

DUARTE, E.A.A.; MELO FILHO, P.A.; SANTOS, R.C. Características agrônômicas e índice de colheita de diferentes genótipos de amendoim submetidos a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 8, p. 843-847, 2013.

- 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.
- ESTRADA DE LOS SANTOS, P.; BUSTILLOS-CRISTALES, R.; CABALLERO MELLADO, J. Burkholderia, a genus rich in plant-associated nitrogen fixers with wide. Environmental and geographic distribution. **Applied. Environmental Microbiology**, v 67, p. 2790-2798, 2012.
- FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA S. M. A. (2009). Plantdrought Stress: Effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable and Development**, vol. 29, n. 1, p. 185–212.
- FERNANDES JÚNIOR, P.I.; REIS, V.M. **Algumas Limitações à Fixação Biológica de Nitrogênio em Leguminosas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2008.
- FERNANDES JÚNIOR, P.I.; PEREIRA, G. M. D.; PERIN, L.; SILVA, L. M.; BARAÚNA, A. C.; ALVES, F. M.; PASSOS, S. R.; ZILLI, J.E. Diazotrophic bacteria isolated from wild rice *Oryza glumaepatula* (Poaceae) in the Brazilian Amazon. **Revista de Biología Tropical**, v, 61, p. 991-999, 2012
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 109-112, 2014.
- FERRAZ, R. L. S.; MELO, A. S. SUASSUNA, J. F.; BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; JUNIOR, E. S. N. Trocas gasosas e eficiência fotossintética de ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 181-188, 2012.
- FLETICHER, S.M.; SHI, Z. Peanut markets In: STALKERT, H.T.; WILSON, R.F. Peanut: genetics, processing and utilization. Amsterdam: Elsevier, 2016. p. 268
- FREITAS, G.A. Produção e área colhida de amendoim no nordeste. 3a ed. Banco do Nordeste, Fortaleza, 8 p, 2011.
- FONSECA, G. G.; OLIVEIRA, D. P.; SOARES, B. L.; FERREIRA, P. A. A.; TEIXEIRA, C. M.; MARTINS, F. A. D.; MOREIRA, F. M. S.; ANDRADE, M. J. B. Resposta de cultivares de feijoeiro-comum à inoculação das sementes com duas estirpes de rizóbio. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1778-1787, 2013.
- 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, 2012.
- GERICÓ, T.G **Efeitos da utilização de bactérias promotoras do crescimento de plantas no desenvolvimento e na produtividade do amendoim (*Arachis hypogaea* L.)** Pós Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista. Tupã, 2019.
- GHOLINEZHAD, E., DARVISHZADEH, R., MOGHADDAM, S. S., & POPOVIĆ-DJORDJEVIĆ, J. (2020). Effect of mycorrhizal inoculation in reducing water stress in sesame (*Sesamum indicum* L.): The assessment of agrobiochemical traits and enzymatic antioxidant activity. *Agricultural Water Management*, 238, 1-11.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, V. J.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 378–386, 2010.

GONÇALVES, R. C.; VIANA, L. Q.; ROTUNNO FILHO, O. C. Avaliação espaçotemporal do NDVI com a precipitação e com a evapotranspiração na bacia do Rio Preto RJ/MG. in: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves-RS. **Anais...** Bento Gonçalves-RS: ABRH, 2013. p.8.

GRACIANO, E. S. A. (2009). **Estudos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido à deficiência hídrica**. 66 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

GUPTA, G.; PANWAR, J.; JHA, P. N. Natural occurrence of *Pseudomonas aeruginosa*, a dominant cultivable diazotrophic endophytic bacterium colonizing *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. **Applied Soil Ecology**, v 64, p. 252–261, 2013.

HU, H.; XIONG, L. Genetic Engineering and Breeding of Drought-Resistant Crops. **Annual Review of Plant Biology**, v. 65, p. 31-32, 2014.

HUNGRIA, M.; BOHRER, T. R. J. Variability of nodulation and dinitrogen fixation capacity among soybean cultivars. **Biology and Fertility of Soils**, v.31, p.45-52, 2000.

IHUOMA SO, MADRAMOOTOO CA (2017) Recent advances in crop water stress detection. **Computers and Electronics in Agriculture** 141:267-275.

JAIMEZ, R.E.; RADA, F.; GARCIA-NUNEZ, C.; AZOCAR, A. Seasonal variations in leaf gas exchange of plantain cv. Harton (*Musa AAB*) under different soil water conditions in a humid tropical region. **Scientia Horticulturae**, v. 104, p. 79–89, 2005.

KADKHODAIE, A.; RAZMJOO, J.; ZAHEDI, M. Peroxisase, Ascorbate peroxidase e Catalase activities in drought sensitive, intermediate and resistance sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. **International Journal of Agronomy and Plant Production**. v.4, n. 11, p. 3012-3021, 2013.

KALARIYA, K.A.; SINGH, A.L.; CHAKRABORTY, K.; ZALA, P.V.; PATEL, C.B. Photosynthetic characteristics of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) under water deficit stress. **Indian Society for Plant Physiology**, v. 18, n. 2, p. 157-163, 2013.

KAMBIRANDA, D. M., VASANTHAIAH, H. K. N., KATAM, R., ANANGA, A., BASHA, S. M., NAIK, K. (2011). Impact of drought stress on peanut (*Arachis hypogaea* L.) productivity and food safety. In: Vasanthaiah, H. (Ed.). **Plants and Environment**, InTech, p. 249– 272.

KASAI, F. S.; DEUBER, R. **Manejo de plantas daninhas na cultura do amendoim**. 23p. Instituto Agrônomo - IAC Tecnologia APTA. Boletim Técnico IAC, 207. Campinas.2011. KATAM, R.; SAUREZ, J.; WILLIAMS, S.; MATTA, F.; GOTTSCHALK, V. Differential expression of transcripts to water deficit stress in Florida hybrid bunch grape. **Florida State Horticultural Society**, v. 126, p. 8-13, 2013.

KAVAMURA, V. N.; SANTOS, S. N.; SILVA, J. L. PARMA, M. M.; ÁVALIA, L. A. VISCONTI, A.; ZUCCHI, T. D.; TAKETANI, R. G.; ANDREOTE, F. D.; MELO, I. S. Screening of Brazilian cacti rhizobactéria for plant growth promotion under drought. **Microbiological Research**, v. 168, p. 183-191, 2013.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. (1995). **Water relations of plant and soils**. Academic Press, New York.

KRAPOVICKAS, A.; GREGORY, W.C. Taxonomia del genero *Arachis* (Leguminosae). *Bonplandia, Corrientes*, v.8, n.1/4, p.1-186. 1994 KULSUM, M. U.; BAQUE, M. A.; KARIM, M. A. Effects of different nitrogen levels on the leaf chlorophyll content nutrient concentration and nutrient uptake pattern of blackgram. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 10, p. 250-254, 2007.

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**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.

LARCHER, W.; MORAES, J. P. A. V.; BAUER, H. (1981). **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.

LAURIANO, J.A.; LIDON, F.C.; CARVALHO, C.A.; CAMPOS, P.S.; DO CÉU MATOS, M. Drought effects on membrane lipids and photosynthetic activity in different peanut cultivars. **Photosynthetica**, v. 38, n.1, p. 7-12, 2000.

LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**. v. 148, p. 350-382, 1987.

LIU, X.; LI, X.; LI, Y.; LI, R.; XI, Z. Plant growth promotion properties of bacterial strains isolated from the rhizosphere of the Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) adapted to salt-alkaline soils and their effect on wheat growth. **Canadian Journal of Microbiology**, p.1-29, 2013.

MAFAKHERI, A.; SIOSEMARDEH, A.; BAHRAMNEJAD, B.; STRUIK, P. C.; SOHRABI, Y. (2010). Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. **Australian Journal of Crop Science**, vol. 4, n. 8, p. 580-585.

MAGALHÃES FILHO, J. R.M.; AMARAL, L.R.R.; MACHADO, D.F.S.P.; MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira valência sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantia**. v. 67, n. 1, p. 75-82, 2008.

MELO, E. B. S. **Translocação de nutrientes, trocas gasosas e produção de vagens em genótipos de amendoim cultivado sob duas fontes de nitrogênio**. (2013) p. 42. (Dissertação de mestrado). Programa da Pós-Graduação de Ciências Agrárias. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande – PB.

MONTEIRO, J. M.; NETO, E. M.F. L.; SCOPEL, K.; TRINDADE, E. F. Does total tannin content explain the use value of spontaneous medicinal plants from the Brazilian semi-arid region **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v 24, p.116-123, 2012.

NAKAGAWA, J.; ROSOLEM, C. A. **O Amendoim: tecnologia de produção**. 1. ed. Botucatu, FEPAF, 2011. 325 p.

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

NAUTIYAL, P.C.; RACHAPUTI, N.R.; JOSHI, Y.C. Moisture-deficit-induced changes in leaf-water content, leaf carbon exchange rate and biomass production in groundnut cultivars differing in specific leaf area. **Field Crop Research**, v.74, p. 67-79, 2012.

NÉMETH, M.; JANDA, T.; HORVÁTH, E.; PÁLDI, E.; SZALAI, G. Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. **Plant Science**, v. 162, n. 4, p. 569-574, 2002.

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

NOGUEIRA, R.J.M.C.; SANTOS, R.C.; NETO, E.B.; SANTOS, V.F. Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim submetidas a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 12, p. 1963-1969, 1998.

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

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.

OLIVEIRA, C. Alves. Estimativas de fixação biológica de nitrogênio em cana-de-açúcar por δ 15N. Dissertação de mestrado, Campinas SP, **instituto agrônomo curso de pós-graduação em agricultura tropical e subtropical**, 80fls, 2009.

PADMAVATHI, T.A.V.; RAO, D.M. Differential accumulation of osmolytes in 4 cultivars of peanut (*Arachis hypogaea* L.) under drought stress. **Journal Crop Science Biotechnology**, n. 16, v. 2, p. 151-159, 2013.

PEDRAZA, D.; Schumann, P.; DAS, S. K. *Rhizobium pusense* sp. nov., isolated from the rhizosphere of chickpea (*Cicer arietinum* L.). **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v 61, p. 2632–2639, 2009.

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

- PEREIRA, J. W.L.D.E.; ALBUQUERQUE, M.B.; FILHO, P.A.M.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; LIMA, L.M.DE.; 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.
- 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.; ALBUQUERQUE, M.B.; NOGUEIRA, R.J.M.; SANTOS, R.S.; FILHO, P.A.M. Relações hídricas e ajustamento osmótico de genótipos de amendoim submetidos ao déficit hídrico. IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas. p. 929-933.2010.
- 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**, Fortaleza, v. 43, n. 4, p. 766-773, 2012.
- PIMENTEL, C. (2004). **A Relação da Planta com a Água**. Rio de Janeiro: Seropédica. 191 p.
- RAYMOND, J.; SIEFERT, J. L.; STAPLES, C. R.; BLANKENSHIP, R. E. The Natural History of Nitrogen Fixation. **Molecular Biology and Evolution**, v 21, p.541–554. 2004.
- RAO, R.C.N.; WILLIAMS, J.H.; SIVAKUMAR, M.V.K.; WADIA, K.D.R. Effect of water deficit at different growth phases of peanut. II. Response to drought during preflowering phase. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, p.431-438, 1988.
- REDDY, A. R., CHAITANYA, K. V, VIVEKANANDAN, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of Plant Physiology**, vol. 161, n. 18, p. 1189–1202.
- REIS, V. M.; TEIXEIRA K.R.S. Fixação Biológica de Nitrogênio- O Estado da arte Cap 6 In, AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. Processos biológicos no sistema solo-planta- Ferramentas para uma agricultura sustentável. **Embrapa informação tecnológica**, 2007.
- RIBEIRO, G, P.; BURATTO, JS.; SOUZA, S.N.M. de FONSECA JR., N.S. Teor de óleo e estabilidade fenotípica para rendimento de grãos em cultivares de amendoim. **Científica**, Jaboticabal, v. 43, n.4, p. 378-387, 2015.
- ROSS, L.F.; KVIEN, C.S. The effect of stress on peanut seed composition. I. Soluble carbohydrates, tartaric acid and phenolics. **Oleagineux**, Montpellier, v.44, n.6, p.295-301, 1989.
- RUCKER, K. S.; KVIEN, C. K; HOLBROOK, C. C.; HOOK, J. E. Identification of peanut genotypes with improved drought avoidance traits. **Peanut Science**, v. 21, n. 1, p. 14–18, 1995.
- SANKAR, B.; ABDUL JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; KISHOREKUMAR, A.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Effect of paclobutrazol on water stress amelioration through antioxidants and free radical scavenging enzymes in *Arachis hypogaea* L. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 60, p. 229–235, 2007.

SANKAR, B.; GOPINATHAN, P.; KARTHISHWARAN, K.; SOMASUNDARAM, R. Biochemical content variation in *Arachis hypogaea* under drought stress with or without paclobutrazol and abscisic acid. **Journal of Ecobiotechnology**, v. 6, p. 9-14, 2014.

SANTI C.; BOGUSZ, D.; FRANCHE, C. **Biological nitrogen fixation in non-legume plants**, **Annals of Botany**, Volume 111, Issue 5, May 2013, Pages 743–767.

SANTOS, R.C. Utilização de recursos genéticos e melhoramento de *Arachis hypogaea* L. no nordeste brasileiro. In: QUEIROZ, M.A; GOEDERT, C.O; RAMOS, S.R.R. (Org). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o nordeste brasileiro**. Petrolina: Embrapa. 1998. 24p.

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.

SCHMIDT, P.T.; MACHADO, E.C MEDINA, C.L.; RIBEIRO, R.V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.

SCHOSSLER, J. H.; MEERT, L.; RIZZARDI, D. A.; MICHALOVICZ, L. Componentes de rendimento e produtividade do feijoeiro comum submetido à inoculação e co-inoculação com estirpes de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 17, n. 1, p. 10-15, 2016.

SHARMA, S & SINGH, D.K. Temporal Variations in Diazotrophic Communities and nifH Transcripts Level Across the Agricultural and Fallow Land at Jaipur, Rajasthan, India. **Indian Journal of Microbiology**, v 57, p. 92–99, 2017.

SHINDE, B.M.; LIMAYE, A.S.; DEORE, G.B.; LAWARE, S.L. Physiological responses of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) varieties to drought stress. **Asian Journal of Experimental Biological Sciences**, p. 65-68, 2010.

SOUSSI, A.; FERJANI, R.; MARASCO, R.; GUESMI, A.; CHERIF, H.; ROLLI, E.; MAPELLI, F.; OUZARI, H. I.; DAFFONCHIO, D.; CHERIF, A. Plant-associated microbiomes in arid lands: diversity, ecology and biotechnological potential. **Plant Soil**, p.1-14, 2015
SOUZA, J. S.N.

SOUZA, C. C. M. **Influência do estresse hídrico e da compactação do solo na associação nematóide, rizobactérias e fungos micorrízicos arbusculares**. Recife, PE, 2013. 137 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

SOUZA, D. M.; GARCIA-CRUZ, C. H.; Produção fermentativa de polissacarídeos extracelulares por bactérias. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 25, n. 4, p. 331-340, 2004.

STRALIOTTO, R. A importância da inoculação com rizóbio na cultura do feijoeiro. Embrapa, CNPAB. Agrobiologia. Seropédica, RJ. 6 p. 2002.

SUASSUNA, J. F. **Tolerância de genótipos de citros ao estresse hídrico na fase de formação de porta-enxerto**. Campina Grande. 2011. p. 96, Dissertação de mestrado. Programa de pós-

graduação em engenharia agrícola, área de concentração irrigação e drenagem, Universidade Federal de Campina Grande.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3a ed.: Artmed Porto Alegre, 2006. p. 719.

TORRES JUNIOR, CARLOS VERGARA, 1984- Influencia dos fungos dark septate sobre absorção de nutrientes e crescimento de plantas de arroz e tomate/ Carlos vergara torres junior. xiii,76f.:il 2014.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Agricultural Research Service. National nutriente database for standard reference**. 2019.

UPADHYAY, H.D.; SHARMA, S.; SINGH, S.; SINGH, M. Inheritance of drought resistance related traits in two crosses of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). **Euphytica**, v. 177, n. 1, p. 55-66, 2011.

VACHERON, J.; DESBROSSES, G.; BOUFFAUD, M. L.; TOURAINE, B.; MOËNNE-LOCCOZ, Y.; MULLIR, D.; LEGENDRE, L.; WISNIEWSKI-DYÉ, F.; PRIGENT-COMBARET, C. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers in Plant Science/Functional Plant Ecology**, v. 4, p. 166-194, 2013.

VARDHARAJULA, S.; ALI, A. Z.; GROVER, M.; REDDY, G.; BRANDI, V. Drought-tolerant plant growth promoting *Bacillus* spp.: effect on growth, osmolytes, and antioxidant status of maize under drought stress. **Journal of Plant Interactions**, v. 6, n. 1, p. 1-14, 2011.

WASEEM, M.; ALI, A.; TAHII, M.; NADEEM, M.; AYUB, M.; TANVEER, A.; AHMAD, R.; HUSSA, M. Mechanism of drought tolerance in plant and its management through different methods. **Continental Journal Agricultural Science**, v. 5, n. 1, p. 10-25, 2011.

YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; SHINOZAKI, K. Transcriptional regulatory networks in cellular responses and tolerance to dehydration and cold stresses. **Annual Review of plant Biology**, v. 57, p. 781-803, 2006.

YAN, W.; ZHONG, Y.; SHANGGUAN, Z. A meta-analysis of leaf gas exchange and water status responses to drought. **Scientific Reports**, v. 6, 2016.

ZAPATA, N.; VARGAS, M.; GERDING, M.; CHANDÍA, M. Inoculación de maní (*Arachis hypogaea* L.) con diferentes cepas del género *Bradyrhizobium* y su efecto sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo. **Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences**. v. 30, n. 1, p. 57-64, 2014.