



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**ERIKA FERNANDES GOMES**

**INOCULANTES A BASE DE RIZOBACTÉRIAS PARA ATENUAÇÃO DO DÉFICIT  
HÍDRICO EM GERGELIM (*Sesamum indicum* L.)**

**CAMPINA GRANDE  
2022**

ERIKA FERNANDES GOMES

**INOCULANTES A BASE DE RIZOBACTÉRIAS PARA ATENUAÇÃO DO DÉFICIT  
HÍDRICO EM GERGELIM (*Sesamum indicum* L.)**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado a/ao Coordenação /Departamento do Curso Biologia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciatura em Ciências Biológicas.

**Área de concentração:** Ciências Biológicas.

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

**Coorientador:** Profa. Dra. Liziane Maria de Lima.

**CAMPINA GRANDE  
2022**

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.

G633i Gomes, Erika Fernandes.  
Inoculantes a base de rizobactérias para atenuação do déficit hídrico em gergelim (*Sesamum indicum* L.) [manuscrito] / Erika Fernandes Gomes. - 2022.  
25 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2022.

"Orientação : Prof. Dr. Alberto Soares de Melo ,  
Coordenação de Curso de Biologia - CCBS."

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

1. *Bacillus* sp. 2. Rizobactérias. 3. Déficit hídrico. I. Título

21. ed. CDD 579.3

ERIKA FERNANDES GOMES

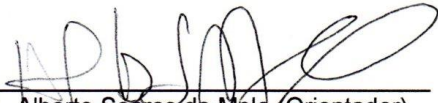
INOCULANTES A BASE DE RIZOBACTÉRIAS PARA ATENUAÇÃO DO DÉFICIT  
HÍDRICO EM GERGELIM (*Sesamum indicum* L.)


Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo)  
apresentado a/ao Coordenação  
/Departamento do Curso de Ciências  
Biológicas da Universidade Estadual da  
Paraíba, como requisito parcial à  
obtenção do título de Licenciatura em  
Ciências Biológicas.

Área de concentração: Ciências  
Biológicas

Aprovada em: 12/12/2022.

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Alberto Soares de Melo (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Sérgio de Farias Lopes  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Geisenilma Maria Gonçalves da Rocha  
UNIESP Centro Universitário (UNIESP)

A minha mãe e ao meu pai, pelo incentivo  
e apoio na minha caminhada, DEDICO.

“Lembre da minha ordem: ‘Seja forte e corajoso!’ Não fique desanimado, nem tenha medo, porque eu, o SENHOR, seu Deus, estarei com você em qualquer lugar para onde você for!”

Josué 1:9

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	<b>9</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>10</b>
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>19</b>

## INOCULANTES A BASE DE RIZOBACTÉRIAS PARA ATENUAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO EM GERGELIM (*Sesamum indicum* L.)

Erika Fernandes Gomes\*

### RESUMO

A água é um elemento essencial para o desenvolvimento e rendimento das plantas em todo o planeta e as mudanças climáticas têm contribuído para a sua escassez em vários lugares do mundo. O déficit hídrico provoca mudanças fisiológicas nas culturas que tentam sobreviver durante o período de seca desenvolvendo mecanismos como o fechamento estomático provocando reduções na fotossíntese e produção final das culturas. O gergelim é uma cultura considerada tolerante a períodos de déficit hídrico, porém a escassez de água afeta diretamente a sua cultura principalmente em períodos de floração. Uma alternativa para reduzir os efeitos da seca é a utilização de rizobactérias do gênero *Bacillus* sp. que auxiliam as culturas a passar por períodos de estresse como o de déficit hídrico. Este trabalho apresentou como objetivo avaliar a interação dos genótipos BRS Anahí e BRS Seda, quanto as suas variáveis agrônômicas e fisiológicas, quando inoculados com bacilos e submetidas ao déficit hídrico e reidratação. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação na Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, utilizando dois genótipos de gergelim (BRS Anahí e BRS Seda) cultivados em vasos de 20 L com solo franco arenoso. As sementes dos genótipos foram desinfestadas, embebidas nos inoculantes e semeadas 10 por vaso, após a sua emergência foram deixadas apenas duas plantas por vaso. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com arranjo fatorial 2 x 5 x 2 e cinco repetições com os tratamentos com nitrogênio ( $x \text{ kg ha}^{-1}$  de sulfato de amônio); sem nitrogênio (testemunha absoluta); e três inoculantes com estirpes do gênero *Bacillus* (*Bacillus subtilis*, ESA 13 e ESA 402) submetidos a dois regimes hídricos (com e sem estresse por déficit hídrico). Trinta dias após a emergência das plantas a rega foi suspensa por oito dias no grupo estresse e em seguida foram reidratadas. Durante o estresse e reidratação foram avaliadas as variáveis fisiológicas: transpiração ( $E$ ), fotossíntese ( $A$ ), condutância estomática ( $gs$ ), concentração interna de carbono ( $C_i$ ), eficiência instantânea de carboxilação ( $E_iC$ ) e eficiência do uso da água ( $EUA$ ), e ao final do experimento as variáveis agrônômicas. Os dados foram avaliados no programa Sisvar (versão 5.6) submetidos a análise de variância e teste Tukey a 5% de significância. Durante o período de déficit hídrico as plantas estressadas apresentaram reduções nas variáveis de trocas gasosas ( $E$ ,  $A$ ,  $gs$  e  $E_iC$ ), após o período de reidratação observou-se recuperação das variáveis trocas gasosas ( $A$ ,  $E$  e  $gs$ ) nos tratamentos inoculados. As variáveis agrônômicas apresentaram efeitos positivos para massa seca da raiz e parte área, e a altura nos tratamentos inoculados com as estirpes ESA 402 e *B.subtilis*. A inoculação demonstrou efeitos positivos sobre a mitigação dos efeitos de déficit hídrico sob as plantas de gergelim, destacando-se as inoculadas com o ESA 402 e *B.subtilis*.

**Palavras-chave:** *Bacillus* sp. Rizobactérias. Déficit hídrico.

---

\*Graduanda em Ciências Biológicas, Universidade Estadual da Paraíba. fgomes.erika@gmail.com



## ABSTRACT

Water is an essential element for the development and yield of plants all over the planet and climate change has contributed to its scarcity in several places around the world. Water deficit causes physiological changes in crops that try to survive during the dry period by developing mechanisms such as stomatal closure causing reductions in photosynthesis and final crop production. Sesame is a crop considered to be tolerant to periods of water deficit, but water scarcity directly affects its crop, especially during flowering periods. An alternative to reduce the effects of drought is the use of rhizobacteria of the genus *Bacillus* sp. that help crops to pass through periods of stress such as water deficit. The objective of this work was to evaluate the interaction between the genotypes BRS Anahí and BRS Seda, regarding their agronomic and physiological variables, when inoculated with bacillus and submitted to water deficit and rehydration. The work was conducted in a greenhouse at Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, using two sesame genotypes (BRS Anahí and BRS Seda) cultivated in 20 L pots with sandy loam soil. The seeds of the genotypes were disinfected, soaked in the inoculants and sowed 10 per pot; after their emergence, only two plants per pot were left. The design used was entirely randomized with a 2 x 5 x 2 factorial arrangement and five repetitions with nitrogen treatments (x kg ha<sup>-1</sup> of ammonium sulfate); without nitrogen (absolute witness); and three inoculants with *Bacillus* strains (*Bacillus subtilis*, ESA 13 and ESA 402) subjected to two water regimes (with and without water deficit stress). Thirty days after plant emergence, irrigation was suspended for eight days in the stress group and then they were rehydrated. During stress and rehydration the following physiological variables were evaluated: transpiration (E), photosynthesis (A), stomatal conductance (gs), internal carbon concentration (Ci), instantaneous carboxylation efficiency (EiC) and water use efficiency (US). The data were evaluated using the Sisvar program (version 5.6) and subjected to analysis of variance and Tukey test at 5% significance level. During the water deficit period the stressed plants showed reductions in gas exchange variables (E, A, gs and EIC). After the rehydration period there was a recovery of gas exchange variables (A, E and gs) in inoculated treatments. The agronomic variables showed positive effects for root and part area dry mass, and height in inoculated treatments with ESA 402 and *B. subtilis* strains. The inoculation showed positive effects on the mitigation of water deficit effects on sesame plants, especially those inoculated with ESA 402 and *B. subtilis*.

**Keywords:** *Bacillus* sp. Rhizobacteria. Water deficit.

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm contribuído para o aumento da escassez de água, afetando também a sua qualidade e disponibilidade para uso nas culturas agrícolas. Essa escassez é um grande problema enfrentado pelos produtores, pois a seca é uma das principais causas da baixa produtividade das culturas em todo o mundo (RISEH et al., 2021).

Quando as culturas são afetadas por períodos de secas ou déficit hídrico elas desenvolvem mecanismos fisiológicos para proteção contra a perda excessiva de água: como o fechamento estomático, mecanismo que reduz as taxas de

transpiração e de assimilação de CO<sub>2</sub>, como resultado, esse mecanismo acaba afetando a taxa de fotossíntese, ocasionando baixa produtividade e comprometendo o desenvolvimento da cultura (AGURLA et al., 2018; SOUROUR et al., 2017). A redução da produtividade quando as culturas estão sob déficit hídrico também é encontrada em cultivares conhecidas como tolerantes a esse tipo de estresse, como a cultura do gergelim (DOSSA, et al., 2019).

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma oleaginosa da família Pedaliácea nativa do continente Africano (BEDIGIANA, 2015) é uma erva anual ou perene que abrange, dependendo do cultivar, 0,5 m a 3 metros, apresenta caule ereto, simples ou ramificado, com ou sem pelos e sua raiz é pivotante. Suas folhas são heteromórficas, opostas ou ramificadas, possui flores completas e axilares, compreendendo de uma a três por axila foliar, seus frutos são cápsulas pilosas deiscentes com um tamanho que varia de 2 a 8 cm de comprimento e suas sementes pesam de 2 g a 4 g (mil sementes) com uma coloração que varia de branco a preto (ARRIEL et al., 2007; BEDIGIANA, 2015; BELTRÃO et al., 2013).

Está oleaginosa apresenta ampla adaptação a condições climáticas e de solos característicos de clima quente, possui resistência a seca como também é considerada uma cultura de fácil cultivo (ARRIEL et al., 2007). Apresenta boa adaptação a condições de estresse hídrico, conseguindo sobreviver à seca. Mesmo tolerando períodos de déficit hídrico, a água é um elemento essencial para o correto funcionamento do metabolismo das plantas, e para essa espécie são necessários cerca de 400 mm a 500 mm de água para completar o seu ciclo de vida (DE ALBUQUERQUE et al., 2012). Períodos prolongados de estresse hídrico podem afetar o seu rendimento, principalmente durante o estágio reprodutivo, resultando em redução significativa da produtividade (DOSSA et al., 2017).

Uma maneira de reduzir os efeitos do déficit hídrico sob as plantas é a utilização de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR), microrganismos considerados benéficos e responsáveis por melhorar a resiliência das plantas durante a seca (HAQUE et al., 2020). Dentre os microrganismos considerados rizobactérias promotoras de crescimento de plantas e que apresentaram efeitos positivos quando inoculados ao sorgo (SANTANA et al., 2019), trigo e milho (JOCHUM et al., 2019), feijão comum e milho (DE LIMA et al., 2019) quando expostos a déficit hídrico, pode-se observar as bactérias do gênero *Bacillus* (HASHAM; TABASSUM; ADB\_ALLAH, 2019).

Os microrganismos simbiotes do gênero *Bacillus* são abundantes na rizosfera sendo responsáveis pelo crescimento dos vegetais (OLANREWAJU et al., 2021), sendo assim, são classificados como rizobactérias promotoras de crescimento em plantas (RPCP), pois promovem um aumento no crescimento vegetal, pela liberação de fitohormônios como auxina, fixação de nitrogênio, produção de sideróforos, controlam a ocorrência de patógenos, produzem antimicrobianos como também são responsáveis por induzir a resistência sistêmica em vegetais (BLACK; CHRISTENSEN; KOVÁCS, 2020; OLANREWAJU et al., 2021). Os bacilos podem formar estruturas chamadas de esporos que protegem esses microrganismos e ajudam a sobreviver por longos períodos sobre condições ambientais adversas (HASHAM; TABASSUM; ABD\_ALLAH, 2019).

Neste contexto de utilização de inoculantes a base de RPCP este trabalho apresentou como objetivo avaliar a interação de dois genótipos de gergelim (BRS Seda e BRS Anahí), quanto as variáveis agrônômicas e fisiológicas, quando esses genótipos são inoculados a base de bacilos em condição de déficit hídrico e reidratação.

## 2 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido e instalado no dia 17 de novembro 2022 em uma casa de vegetação, localizada na Embrapa Algodão em Campina Grande- PB. Para condução do experimento foram utilizados dois genótipos de gergelim (BRS Seda e BRS Anahí), ambos cultivados em vasos de vinte litros (Figura 1), que foram preenchidos com solo do tipo franco arenoso corrigido previamente de acordo com as necessidades da cultura de gergelim. As estirpes utilizadas no trabalho foram ESA 13 e ESA 402 (Embrapa Semiárido) e o *Bacillus subtilis* (estirpe pant 001) disponibilizado pela empresa Geoclean na forma de inoculante.

**Figura 1-** Cultivares de Gergelim BRS Anahí e BRS Seda inoculados com rizobactérias do gênero *Bacillus* sp. e cultivados em casa de vegetação localiza na Embrapa Algodão em Campina Grande- PB



**Fonte:** Figura da autora (2021).

As estirpes ESA 13 e ESA 402 foram utilizadas para preparo do inoculante, cultivadas em meio LB sólido (Luria Bertani) (EMBRAPA, 1999) (triptona, extrato de levedura, ágar-ágar e água destilada) e em seguida foram para a incubadora por 24 horas a 28 °C. Para o preparo do inoculante as estirpes do meio da cultura foram cultivadas em meio LB líquido e levadas ao Shaker por 24 horas a 28°C.

Antes da inoculação, as sementes foram desinfestadas com etanol (100%), hipoclorito de sódio (1%) e água destilada (VICENT, 1970). Após a desinfestação, as sementes dos genótipos foram emergidas, em cada inoculante, separadamente, com um volume de 10 mL (Figura 2). Logo após o período de embebição, dez sementes foram distribuídas em cada vaso com uma profundidade de 2 cm (ARRIEL et al., 2009). O desbaste foi feito após a germinação, deixando apenas duas plantas por vaso.

Durante a condução do experimento foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial de 2 x 5 x 2 com cinco repetições apresentando dois genótipos de gergelim (BRS Seda e BRS Anahí), ambos cultivados em vasos com capacidade de 20 L preenchidos com solo do tipo franco arenoso; cinco tratamentos: 1) Sem Nitrogênio (testemunha absoluta); 2) Com Nitrogênio; 3) Três inoculantes contendo bacilos (*Bacillus subtilis* pant 001, ESA 402 e ESA 13) e dois regimes hídricos (com e sem déficit hídrico).

Aos 30 dias após a emergência (DAE), as plantas do grupo submetidas ao estresse tiveram suas regas suspensas durante 8 dias, e as plantas do grupo controle continuaram sendo irrigadas normalmente. Após o período de estresse hídrico as plantas estressadas foram reidratadas e monitorados seus parâmetros fisiológicos para analisar a sua recuperação. Durante o período de estresse e reidratação todas as plantas (estresse e controle) foram monitoradas quanto ao seu comportamento fisiológico utilizando um analisador portátil de fotossíntese (IRGA-Infra Red Gas Analyzer, modelo LCpro-SD), avaliando os parâmetros de condutância estomática ( $g_s$ ) ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), fotossíntese ( $A$ ) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração ( $E$ ) ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ). A partir dos dados analisados foi calculada a eficiência do uso da água (EUA) entre  $A$  e  $E$  ( $A/E$ ) (MAGALHÃES FILHO et al., 2008).

**Figura 2-** Embebição das sementes de Gergelim inoculadas a base de bactérias do gênero *Bacillus*



**Fonte:** Figura da autora (2021).

Ao final do experimento foram avaliadas as variáveis agronômicas: número de cápsulas por planta (NCP); peso de 1000 sementes (PMS); altura da planta (cm) (ALT); massa seca da parte aérea (g) (MSPA); massa seca da raiz (g) (MSR) utilizando material seco em estufa com circulação de ar forçada a  $65^\circ \text{C}$  por aproximadamente 72 horas, após a secagem o material foi pesado em balança de precisão.

Todos os dados coletados no experimento foram analisados no programa estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2014) e submetidos a análise de variância com suas médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o período de déficit hídrico, as variáveis de trocas gasosas  $A$ ,  $E$  e  $g_s$ , nos tratamentos sob déficit hídrico inoculados e não inoculados, apresentaram reduções quando avaliados com os seus respectivos valores tratamentos controle e a variável  $EUA$  no tratamento com ESA 402 estressado, apresentou um aumento significativo em relação ao seu tratamento controle.

A tabela 1 apresenta o resumo de variância das trocas gasosas durante o estresse hídrico. Para as variáveis de trocas gasosas foram significantes a  $p \leq 0,1$ , as variáveis  $E$  e  $EUA$  para a interação GEN X RH X TRAT e significância a  $p \leq 0,5$  para a variável  $C_i$  na interação GEN X RH X TRAT. As demais variáveis  $g_s$ ,  $A$ ,  $EiC$  não apresentaram significância para a interação GEN X RH X TRAT.

**Tabela 1-** Resumo da análise de variância para as variáveis de trocas gasosas durante o período de déficit hídrico em genótipos de gergelim inoculados com bacilos e submetidos ao déficit hídrico

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio					
		$C_i$	$g_s$	$E$	$A$	$EiC$	$EUA$
Genótipo	1	61,9203 <sup>ns</sup>	0,0081 <sup>*</sup>	0,2168 <sup>**</sup>	0,1420 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	0,1999 <sup>*</sup>
Regime hídrico	1	7524,0003 <sup>*</sup>	1,2685 <sup>**</sup>	36,0494 <sup>**</sup>	164,4215 <sup>**</sup>	0,0269 <sup>**</sup>	3,9659 <sup>**</sup>
Tratamentos	4	11202,6131 <sup>**</sup>	0,0105 <sup>**</sup>	0,1383 <sup>**</sup>	0,0871 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	0,2549 <sup>**</sup>
GEN X RH	1	2075,0083 <sup>ns</sup>	0,0079 <sup>ns</sup>	0,1188 <sup>**</sup>	0,8124 <sup>**</sup>	0,0002 <sup>**</sup>	0,1377 <sup>ns</sup>
GEN X TRAT	4	11440,2691 <sup>**</sup>	0,0034 <sup>ns</sup>	0,0632 <sup>**</sup>	0,3806 <sup>**</sup>	0	0,1122 <sup>*</sup>
RH X TRAT	4	9928,0627 <sup>**</sup>	0,0114 <sup>**</sup>	0,0663 <sup>**</sup>	0,5249 <sup>**</sup>	0,0000 <sup>*</sup>	0,4465 <sup>**</sup>
GEN X RH X TRAT	4	5467,1267 <sup>*</sup>	0,0040 <sup>ns</sup>	0,0948 <sup>**</sup>	0,0730 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	0,2110 <sup>**</sup>
Resíduo	96	1847,0366	0,0020	0,0128 <sup>**</sup>	0,0765	0,000031	0,0423
CV (%)		15,12	5,51	6,96	11,34	0,76	12,17

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

GL- Grau de liberdade; CV- coeficiente de variação; GEN- genótipo; RH- Regime hídrico, TRAT- tratamento; ns- não significativo; \*\*- significativo a 1%; \*- significativo a 5%;  $C_i$ - Concentração interna de  $CO_2$  ( $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$ );  $g_s$ - condutância estomática ( $mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ );  $E$ - Transpiração ( $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ),  $A$ - Fotossíntese ( $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ );  $EiC$ - eficiência instantânea de carboxilação ( $A/C$ );  $EUA$ - eficiência do uso da água ( $A/E$ ).

Na figura 1 podem ser observados os dados das variáveis fisiológicas durante o período de déficit hídrico.

A variável  $C_i$  (Figura 3A) no genótipo BRS Anahí, apresentou incremento quando avaliados os tratamentos inoculados, *B. subtilis* com um aumento de 16,08%, ESA 402 15% e ESA 13 14,82%, mesmo com esse aumento não foi observada diferença significativa. No genótipo BRS Seda ocorreu um aumento 153,23% na taxa de  $C_i$  (Figura 3A) apenas quando inoculado com *B. subtilis*.

A taxa de condutância estomática ( $g_s$ ) (figura 3B) apresentou redução em todos os tratamentos e genótipos, mas não houve diferença significativa.

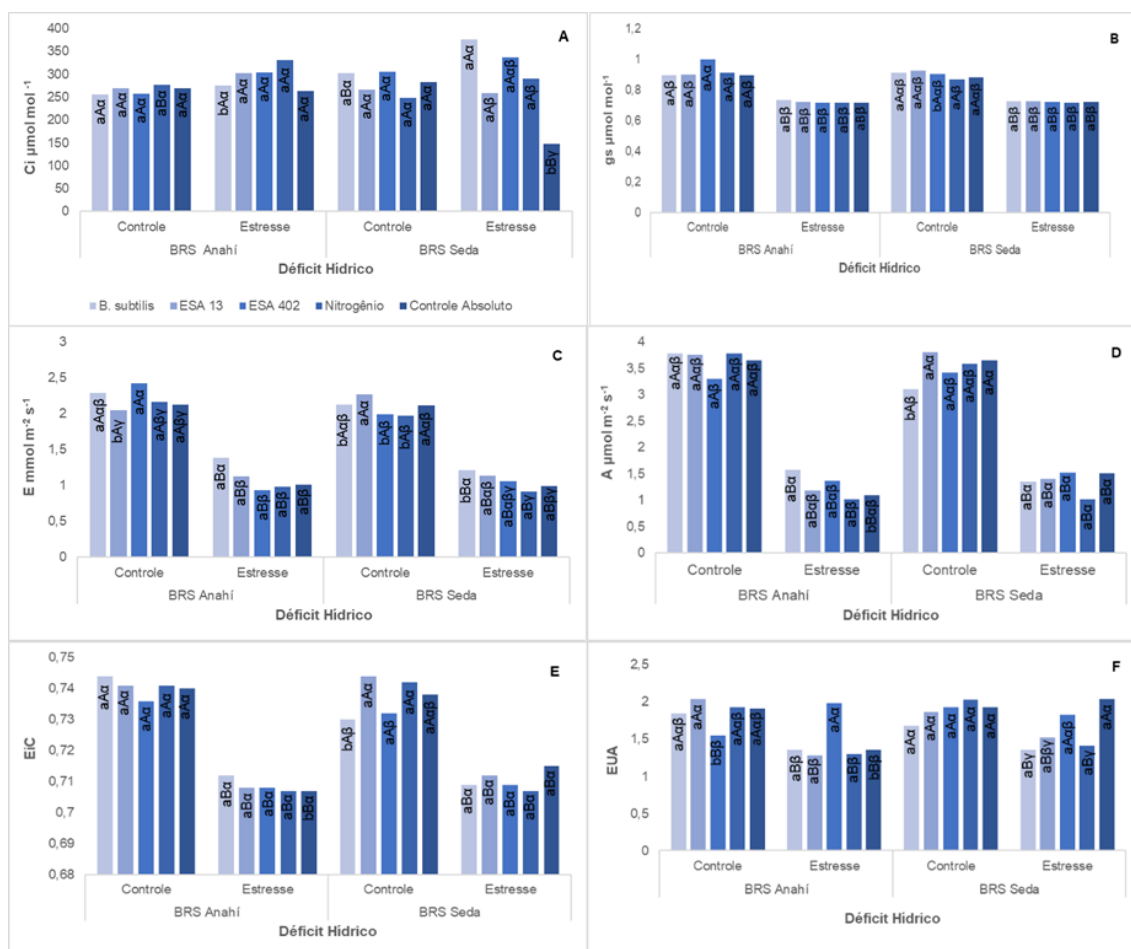
Para a taxa de transpiração ( $E$ ), (Figura 3C) houve para os dois genótipos, redução nos tratamentos estressados. Para BRS Seda e BRS Anahí, nos seus tratamentos estressados houve uma maior média significativa nos tratamentos com *B. subtilis* e ESA 13.

A taxa de fotossíntese ( $A$ ) (Figura 3D) apresentou uma redução drástica em ambos os genótipos sob estresse, mas os tratamentos inoculados apresentaram menores reduções quando comparados aos não inoculados. A  $EiC$  (Figura 3E) não apresentou diferença significativa em todos os tratamentos estressados em ambos os genótipos, porém em BRS Seda o ESA 13 apresentou um maior valor e em BRS Anahí houve um destaque para o *B. subtilis*.

Para a variável  $EUA$  (Figura 3F), foi observado uma melhor resposta fisiológica quando os genótipos BRS Anahí e BRS Seda foram inoculados com o ESA 402. Resultado semelhante ao encontrado no trabalho da soja inoculada com *B. amyloliquefaciens* e com o estudo da soja inoculada com três espécies de *Bacillus* sp., neste trabalho foi observado que as estirpes contribuíram para o aumento da eficiência do uso da água e reduziram os efeitos do estresse (MARTINS et al., 2018; DA SILVA, 2019). Esse aumento pode ser relacionado,

relacionado as plantas inoculadas com PGPR que podem ter estimulado a regulação dos estômatos para manter o potencial hídrico da água, esses microrganismos provocam alterações conjuntas na transpiração, produção de ácido abscísico (ABA) e na taxa de fotossíntese, proporcionando uma maior eficiência do uso da água nas plantas que passam por déficit hídrico (BRESSON et al., 2013; DE CASTRO, 2018).

**Figura 3-** Variáveis fisiológicas das trocas gasosas  $g_s$ ,  $E$ ,  $A$  e  $C_i$  nos genótipos de gergelim BRS Anahí e BRS Seda, inoculados a base de bactérias do gênero *Bacillus*, sob déficit hídrico



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

As maiúsculas representam o regime hídrico dentro do genótipo; as minúsculas comparam os genótipos; letras gregas comparam os tratamentos dentro do genótipo e na mesmo regime hídrico.

Os parâmetros de trocas gasosas apresentaram reduções nas taxas de transpiração, condutância estomática e fotossíntese tanto em BRS Anahí como em BRS Seda. Esse resultado é esperado, pois quando as plantas são submetidas ao déficit hídrico, ocorre o fechamento estomático que afeta a entrada de  $\text{CO}_2$  e diminui a transpiração e a fotossíntese (ARGULA, et al., 2018; RAIZ; MUNEEER, 2021). Resultado similar foi encontrado em plantas de soja submetidas a déficit hídrico e inoculadas com bactéria do gênero *Bacillus* (DA SILVA, 2019). Porém para a concentração interna de carbono todas plantas inoculadas e estressadas em Anahí, e a inoculada com *B.subtilis* em BRS Seda, apresentaram um aumento em

sua taxa, resultados parecidos aos encontrados em milho inoculado com *B.subtilis* (DE LIMA et al., 2019).

Ocorreram reduções na eficiência instantânea de carboxilação (*EiC*) em todos os tratamentos estressados quando relacionados ao seu controle irrigado, esta taxa representa a relação entre a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> e a sua concentração intracelular (*A/Ci*) (BARBOSA, 2016), analisando a quantidade de CO<sub>2</sub> que foi usada no processo de fotossíntese (KONRAD et al., 2005). Esta redução indica baixa eficiência da carboxilação nos tratamentos. Quando as plantas são submetidas ao déficit hídrico apresentam menor absorção de CO<sub>2</sub>, devido ao fechamento estomático, ocorre resistência a difusão do gás carbônico ocasionando diminuição da eficiência instantânea de carboxilação (DUTRA et al., 2015; FERRAZ et al., 2012). Esses dados corroboram com os encontrados em trabalho com amendoim inoculado com rizóbios (BARBOSA, 2016).

A Tabela 2 apresenta o resumo das trocas gasosas no oitavo dia após a retomada da irrigação nas plantas estressadas. As variáveis de trocas gasosas *E*, *A*, *EiC* e *EUA* não apresentaram significância para a interação GEN X RH X TRAT, a variável *Ci* apresentou significância a  $\leq 0,1$  e a variável *gs* apresentou significância a  $\leq 0,5$  para a interação GEN X RH X TRAT.

**Tabela 2-** Resumo da análise de variância para as variáveis de trocas gasosas no oitavo dia de reidratação em genótipos de gergelim inoculados com bacilos

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio					
		<i>Ci</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>EiC</i>	<i>EUA</i>
Genótipo	1	87,7230 <sup>ns</sup>	0,0022 <sup>ns</sup>	0,0576 <sup>ns</sup>	0,0237 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0088 <sup>ns</sup>
Regime Hídrico	1	6264,0750 <sup>*</sup>	0,1935 <sup>**</sup>	30,7749 <sup>**</sup>	9,3051 <sup>**</sup>	0,0015 <sup>**</sup>	0,0629 <sup>ns</sup>
Tratamentos	4	1632,8275 <sup>ns</sup>	0,0027 <sup>ns</sup>	0,4879 <sup>ns</sup>	1,6009 <sup>**</sup>	0,0005 <sup>**</sup>	0,3645 <sup>**</sup>
GEN X RH	1	45,3870 <sup>ns</sup>	0,0386 <sup>**</sup>	10,7700 <sup>**</sup>	5,7803 <sup>**</sup>	0,0011 <sup>**</sup>	0,2483 <sup>**</sup>
GEN X TRAT	4	1529,5966 <sup>ns</sup>	0,0034 <sup>ns</sup>	0,5110 <sup>ns</sup>	0,3319 <sup>*</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0984 <sup>*</sup>
RH X TRAT	4	840,4190 <sup>ns</sup>	0,0022 <sup>ns</sup>	0,3915 <sup>ns</sup>	0,8847 <sup>**</sup>	0,0003 <sup>**</sup>	0,3010 <sup>**</sup>
GEN X RH X TRAT	4	3019,4558 <sup>**</sup>	0,0037 <sup>*</sup>	0,4267 <sup>ns</sup>	0,0605 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0229 <sup>ns</sup>
Resíduo	96	9149,848	0,0015	0,3811	0,1408	0,0000	0,0405
CV (%)		11,86	4,82	22,93	13,54	1,05	11,19

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

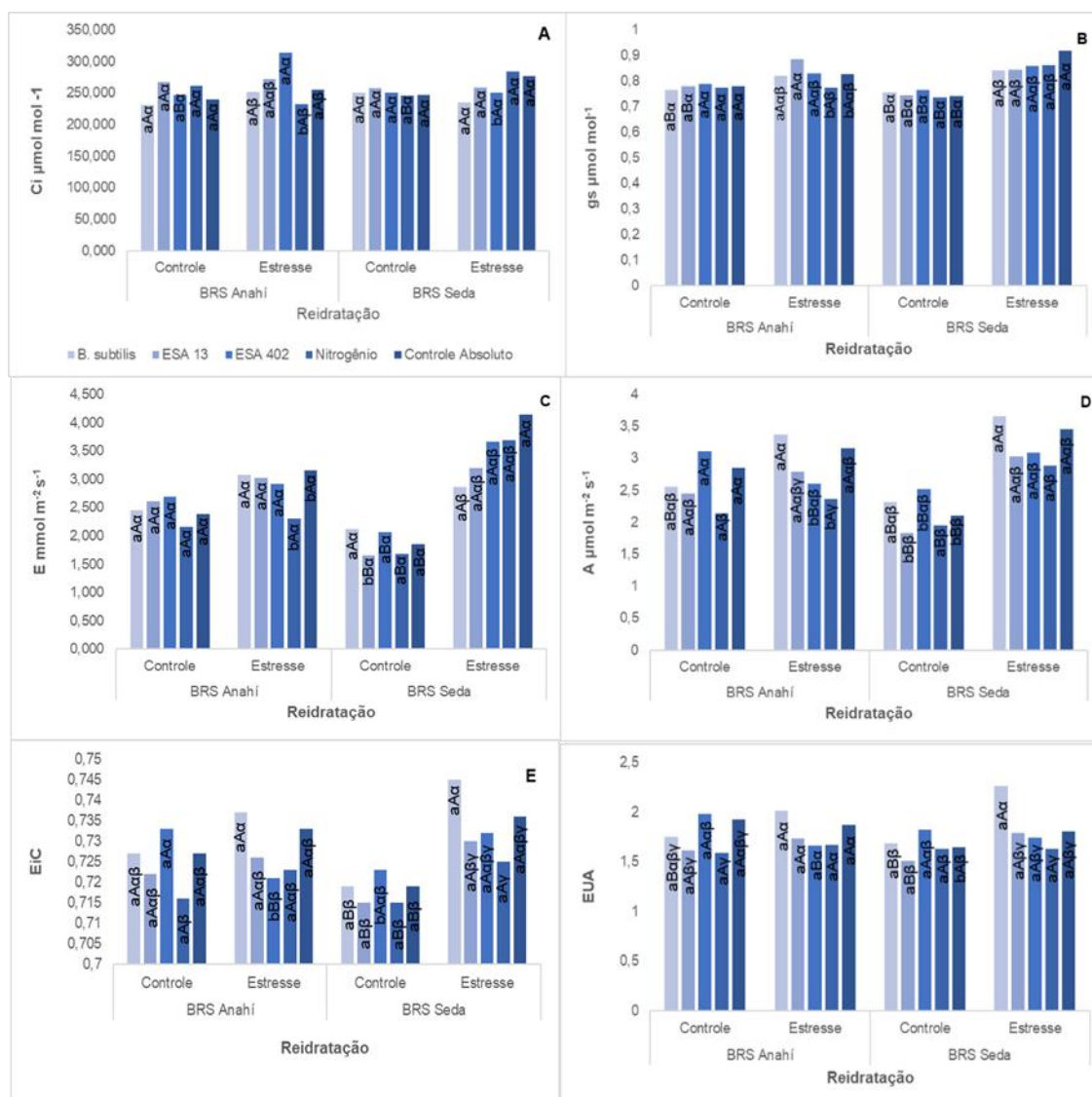
GL- Grau de liberdade; CV- coeficiente de variação; GEN- genótipo; RH- Regime hídrico, TRAT- tratamento; ns- não significativo; \*\*- significativo a 1%; \*- significativo a 5%; *Ci*- Concentração interna de CO<sub>2</sub> (mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>); *gs*- condutância estomática (mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>); *E*- Transpiração (mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), *A*- Fotossíntese (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>); *EiC*- eficiência instantânea de carboxilação (*A/Ci*); *EUA*- eficiência do uso da água (*A/E*).

No período de reidratação a variável de troca gasosa *Ci* no tratamento estressado, demonstrou um aumento significativo quando o tratamento foi inoculado com ESA 402 no genótipo BRS Anahí, em BRS Seda os tratamentos inoculados não diferiram do seu controle. A variável *gs* apresentou uma diferença significativa em todos os tratamentos estressados no genótipo BRS Seda, com um aumento dessa variável neste genótipo, e para a variável fotossíntese em ambos genótipos, houve um destaque para os tratamentos inoculados com *B.subtilis*.

Foi observado na variável *Ci* (Figura 4A), que o tratamento inoculado com ESA 402 obteve maior valor, seguido dos tratamentos com ESA 13 e *B. subtilis*, estes últimos não diferiram significativamente dos tratamentos controles. Para o

cultivar BRS Seda não foi observado diferença significativa entre os tratamentos inoculados.

**Figura 4-** Variáveis fisiológicas das trocas gasosas  $g_s$ ,  $E$ ,  $A$  e  $C_i$  nos genótipos de gergelim BRS Anahí e BRS Seda, inoculados a base de bactérias do gênero *Bacillus*, sob Reidratação



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

As maiúsculas representam o regime hídrico dentro do genótipo; as minúsculas comparam os genótipos; letras gregas comparam os tratamentos dentro do genótipo e no mesmo regime hídrico.

A variável  $g_s$  (condutância estomática) (Figura 4B) em BRS Anahí apresentou valor superior nos tratamentos estressados que foram inoculados com ESA 13 e *B. subtilis*. Na cultivar BRS Seda todos os tratamentos estressados obtiveram valores superiores quando comparados aos seus respectivos tratamentos controle. Os dados encontrados nos dois genótipos (BRS Anahí e BRS Seda) corroboram com os dados encontrados no trabalho de Santana (2016) no estudo do sorgo inoculando com *Bacillus* sp. O aumento da variável  $g_s$  pode ter sido ocasionado pelas bactérias que estimulam a produção de sinais hormonais, ocasionando na maior disponibilidade de  $\text{CO}_2$  (MARCOS et al., 2015).



A taxa de transpiração ( $E$ ) (Figura 4C), na cultivar BRS Anahí, os tratamentos controle e estresse não apresentaram diferença significativa, mas os tratamentos inoculados obtiveram maiores valores quando comparados ao nitrogenado. Em BRS Seda, os tratamentos estressados com ESA 13 e ESA 402 obtiveram valores superiores quando comparados aos tratamentos do grupo controle. Os dados obtidos nesse estudo corroboram com os do estudo de sorgo inoculado com *Bacillus* sp. (SANTANA, 2016), demonstrando que as rizobactérias possivelmente podem ter contribuído para a recuperação do gergelim com o aumento da taxa de transpiração.

Quanto a taxa de  $A$  (Figura 4D), para o genótipo BRS Anahí, o tratamento inoculado com *B. subtilis* obteve valor superior quando comparado ao seu tratamento controle. No genótipo BRS Seda todos os tratamentos estressados apresentaram valores superiores quando comparados ao controle, com destaque em *B. subtilis*. Os dados da taxa de fotossíntese presentes nesse estudo apresentaram resultados semelhantes ao trabalho com sorgo (SANTANA, 2016) exposto a déficit hídrico e reidratação inoculado com *Bacillus* sp., esses dados demonstram que a inoculação das rizobactérias ajudaram na recuperação da taxa fotossintética (SANTANA, 2016).

Na variável eficiência de carboxilação ( $EiC$ ) (Figura 4E), em BRS Anahí, houve aumento em todos os tratamentos estressados não apresentando diferença significativa, exceto quando comparado o ESA 402. Na cultivar BRS Seda foram observados os mesmos resultados, com destaque para *B. subtilis* e ESA 13.

Na variável  $EUA$  (Figura 4F) foi observado maiores taxas, em ambos os genótipos inoculados com *B. subtilis*.

A Tabela 3 apresenta o resumo de variância das variáveis agrônômicas dos genótipos de gergelim. As variáveis agrônômicas NCP, ATL e MSPA foram apresentaram significância a  $p \leq 0,1$  para a interação GEN X RH X TRAT, e a variável MSR apresentou significância de  $p \leq 0,5$  para a interação GEN X RH X TRAT.

**Tabela 3-** Resumo da análise de variância para as variáveis agrônômicas em genótipos de gergelim inoculados com bacilos submetidos a déficit hídrico e reidratação

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio			
		NCP	ATL	MSPA	MSR
Genótipo	1	580,8000 **	5,7116 **	2185,3014 **	50,8300 **
Regime Hídrico	1	53,3333 ns	0,0360 ns	16,0966 ns	3,7665 **
Tratamentos	4	1130,4533 **	0,0587 **	100,6096 **	3,5576 **
GEN X RH	1	116,0333 *	0,0300 ns	59,0101 *	0,3162 ns
GEN X TRAT	4	190,0600 **	0,0473 **	34,9321 **	2,6103 **
RH X TRAT	4	226,5533 **	0,0644 **	24,2294 *	0,3231 ns
GEN X RH X TRAT	4	211,6933 **	0,0635 **	72,7003 **	0,4114 *
Resíduo	96	288,125	0,0116	92,526	0,1658
CV (%)		14,90	6,56	9,64	15,85

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

GL- Grau de liberdade; CV- coeficiente de variação; GEN- genótipo; RH- Regime hídrico, TRAT- tratamento; ns- não significativo; \*\*- significativo a 1%; \*- significativo a 5%; NCP- número de cápsulas por planta; ATL- altura da planta (cm); MSPA- massa seca a parte aérea (g); MSR- massa seca da raiz (g).

Na análise das variáveis agrônômicas foi observado que a variável NCP apresentou um destaque e aumento de número de cápsulas quando os genótipos foram inoculados com ESA 402. A variável MSR, nos dois genótipos apresentou destaque nos tratamentos inoculados com *B.subtilis*, que apresentou um aumento da raiz quando observado o seu controle absoluto estressado. E a variável PMS (peso de mil sementes) apresentou reduções em todos os tratamentos estressados.

Quando avaliada a variável NCP (Tabela 4) na cultivar BRS Anahí, os tratamentos que apresentaram diferença significativa do seu controle foram ESA 402 e *B.subtilis*, com destaque para o ESA 402 que apresentou maior quantidade de cápsulas seguido de *B.subtilis*. O tratamento controle absoluto apresentou menor quantidade de cápsulas nas duas cultivares. Na cultivar BRS Seda os tratamentos com ESA 402 e *B. subtilis* (estressados), diferiram do seu tratamento controle, apresentando um aumento na quantidade de frutos. Esses resultados demonstram efeitos positivos dos inoculantes a base de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas.

A variável ALT (Tabela 4), quando avaliada em BRS Anahí, comparando os tratamentos controle e estresse, os tratamentos com *B. subtilis* e ESA 13 não diferiram significativamente do controle, os demais tratamentos apresentaram diferença significativa. Os resultados encontrados são semelhantes aos encontrados no estudo com o sorgo sob déficit hídrico inoculado com *Bacillus* sp. (SANTANA, 2016). Dentre todos os tratamentos estressados, o nitrogenado seguido do *B. subtilis* apresentaram um maior desenvolvimento da altura. Em BRS Seda os tratamentos estressados com ESA 13 e 402 não diferiram do seu controle e o *B.subtilis* diferiu significativamente do controle apresentando uma menor altura.

Resultados de altura semelhantes aos tratamentos irrigados podem indicar que as plantas apresentaram esse possível comportamento, pois as rizobactérias podem ter aumentaram a sua tolerância ao estresse hídrico a partir da produção de hormônios, síntese de sideróforos e disponibilidade de nutrientes (LASTOCHKINA, et al., 2017).

Na variável MSPA (Tabela 4) em Anahí os tratamentos inoculados não diferiram dos seus tratamentos controles, dentre eles o ESA 402 apresentou maior massa seguido do tratamento nitrogenado. Em BRS Seda, apenas o tratamento estressado com ESA 402 diferiu do tratamento controle com maior massa seca da parte aérea.

Valores de MSPA que não diferiram dos seus respectivos tratamentos irrigados foram encontrados para os tratamentos inoculados em BRS Anahí e BRS Seda, porém ainda em BRS Seda foi observado um tratamento com MSPA superior ao tratamento inoculado. Esses valores diferiram dos encontrados em estudos com o sorgo inoculado com *Bacillus* sp. (ESA 13 e ESA 402) sob estresse hídrico, neste estudo os tratamentos inoculados apresentaram valores menores que o respectivo tratamento irrigado (SANTANA et al., 2020).

Para a variável MSR (tabela 4) na cultivar BRS Anahí, o tratamento com *B. subtilis* estressado apresentou maior massa seca da raiz quando comparado aos demais tratamentos. No genótipo BRS Seda, os tratamentos inoculados e o controle absoluto não diferiram significativamente dos seus respectivos tratamentos controle. O tratamento com *B. subtilis* estressado apresentou um aumento de 43,33% quando comparado ao seu controle absoluto seguido dos tratamentos nitrogenado, controle absoluto e ESA 402.

O resultado encontrado na cultivar BRS Anahí para *B.subtilis*, ESA 13 e ESA 402 corroboram com os resultados dos estudos realizados com milho e sorgo inoculados com rizobactérias e expostos a déficit hídrico, na cultivar BRS Seda a inoculação com *B.subtilis* não diferiu do estudo com o milho, mas apresentou diferença quando comparado ao estudo do sorgo inoculado com ESA 13 e ESA 402, pois os tratamentos estressados não diferiram do tratamento irrigado (LIMA, et al., 2019; SANTANA et al., 2020). O aumento da massa seca da raiz pode ter sido provocado, pois as rizobactérias produzem fitohormônios como a auxina e citocinina que são conhecidos por proporcionar o desenvolvimento e o aumento das raízes, quando as plantas passam por estresse hídrico, pois esse desenvolvimento possibilita uma maior absorção de água e sais minerais presentes no solo (NUMAN et al., 2018).

**Tabela 4-** Variáveis agronômicas, altura da planta (ALT) (cm), número de cápsulas por planta (NCP), massa seca da parte aérea (MSPA) (g) e massa seca da raiz (MSR) (g) para os genótipos de genélim BRS Seda e BRS Anahí, inoculados a base de bactérias do gênero *Bacillus*

BRS Anahí				
Fatores de N	NCP**		ALT**	
	Controle	Estresse	Controle	Estresse
<i>B. subtilis</i>	48.600 aAα	33.800 bBαβ	1.496 bAα	1.516 bAα
ESA 13	24.800 bAγ	29.600 aAβγ	1.406 bAα	1.352 bAαβ
ESA 402	32.600 bBβγ	43.200 bAα	1.504 bAα	1.296 bBβ
Nitrogênio	39.800 aAαβ	33.600 aAαβ	1.376 bBα	1.522 bAα
Controle Absoluto	28.000 aAγ	23.600 aAγ	1.528 bAα	1.282 bBβ
BRS Seda				
<i>B. subtilis</i>	36.400 bBβγ	47.800 aAβ	2.014 aAα	1.760 aBγ
ESA 13	32.000 aAγ	30.000 aAγδ	1.822 aAαβ	1.732 aAγ
ESA 402	49.200 aBα	59.600 aAα	1.840 aAαβ	1.728 aAγ
Nitrogênio	42.800 aAαβ	38.600 aAβγ	1.716 aBβ	1.884 aAβγ
Controle Absoluto	34.000 aAβγ	20.800 aBδ	1.932 aBα	2.092 aAα
BRS Anahí				
Fatores de N	MSPA**		MSR*	
	Controle	Estresse	Controle	Estresse
<i>B. subtilis</i>	30.094 bAαβ	27.980 bAαβ	2.042 bAαβ	2.300 bAα
ESA 13	27.734 bAαβ	24.774 bAβγ	2.702 aAα	2.078 aBαβ
ESA 402	29.226 bAαβ	30.538 bAα	2.256 bAαβ	1.622 bBαβγ
Nitrogênio	25.896 bBαβ	30.128 bAαβ	1.994 bAαβ	1.794 bAαβ
Controle Absoluto	25.786 bAβ	21.676 bBγ	1.736 bAβ	1.410 bAβγ
BRS Seda				
<i>B. subtilis</i>	37.260 aAαβ	35.836 aAβ	4.422 aAα	4.418 aAα
ESA 13	33.124 aAβγ	34.012 aAβ	2.730 aAδ	2.546 aAγ
ESA 402	36.298 aBαβ	41.792 aAα	2.958 aAγδ	2.684 aAβγ
Nitrogênio	41.050 aAα	36.210 aBαβ	3.884 aAαβ	3.314 aBβ
Controle Absoluto	36.572 aAαβ	34.916 aAβ	3.508 aAβγ	3.080 aAβγ

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

As letras maiúsculas são referentes aos tratamentos comparando (na linha) o genótipo na condição controle e estresse; as letras gregas comparam os genótipos entre si na condição controle e na condição estresse; as letras minúsculas são referentes ao regime hídrico comparando (na coluna) os genótipos nas condições controle e estresse (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ). Controle absoluto- tratamento sem nitrogênio e sem inoculante, controle- tratamento irrigado, estresse- tratamento sob déficit hídrico, \* = 5% de significância, \*\* = 1% de significância, ns = não significativo.

A tabela 5 apresenta o resumo da variância do PMS para os genótipos de gergelim. A variável PMS não apresentou significância para a interação GEN X RH X TRAT.

**Tabela 5-** Resumo da análise de variância para a variável agrônômica: peso de mil sementes (PMS)

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Genótipo	1	25,6913 **
Regime Hídrico	1	9,6484 **
Tratamentos	4	0,6681 **
GEN X RH	1	0,4403 *
GEN X TRAT	4	0,0864 ns
RH X TRAT	4	0,2453 *
GEN X RH X TRAT	4	0,0815 ns
Resíduo	48	0,0992
CV (%)		9,27

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

GL- Grau de liberdade; CV- coeficiente de variação; GEN- genótipo; RH- Regime hídrico, TRAT- tratamento; ns- não significativo; \*\*- significativo a 1%; \*- significativo a 5%.

Para a variável PMS (tabela 6) nas cultivares BRS Anahí e BRS Seda, os tratamentos estressados apresentaram diminuição do peso das sementes quando relacionados os seus valores com os dos grupos controle e indicados na literatura. Na cultivar BRS Anahí o tratamento com ESA 13 não diferiu significativamente do seu tratamento controle, mesmo apresentando redução no seu valor. Na cultivar BRS Seda o tratamento estressado inoculado com *B. subtilis* apresentou maior peso de sementes, seguido de ESA 402 e ESA 13.

De acordo com os dados da literatura o PMS das cultivares de BRS Anahí e BRS Seda são respectivamente 4,28 g e 3,22 g (NASCIMENTO, 2019). Os dados de PMS obtidos nesse estudo, apresentaram nos tratamentos estressados, valores inferiores em ambas cultivares. Esses resultados são semelhantes aos encontrados no trabalho de Da Silva et al. (2016), este trabalho analisou a qualidade das sementes em gergelim submetidos a estresse hídrico, e quando esse déficit hídrico ocorre no período da floração, ocorre uma maior redução do peso de sementes, pois nesse período as plantas consomem uma maior quantidade de água, ficando mais sensíveis ao déficit hídrico.

**Tabela 6-** Variável agrônômica, peso de mil sementes (PMS) para os genótipos de gergelim BRS Anahí e BRS Seda, inoculados a base de bactérias do gênero *Bacillus*

(Continua)		
BRS Anahí		
Fatores de N	PMS <sup>ns</sup>	
	Controle	Estresse
<i>B.subtillis</i>	4.525 aA $\alpha$	3.571 aB $\alpha$

**Tabela 6-** Variável agrônômica, peso de mil sementes (PMS) para os genótipos de gergelim BRS Anahí e BRS Seda, inoculados a base de bactérias do gênero *Bacillus*

(Conclusão)		
BRS Anahí		
Fatores de N	PMS <sup>ns</sup>	
	Controle	Estresse
ESA 13	4.483 aAα	4.029 aAα
ESA 402	4.509 aAα	3.631 aBα
Nitrogênio	4.359 aAα	2.696 aBβ
Controle Absoluto	4.381 aAα	3.658 aBα
BRS Seda		
Fatores de N	PMS <sup>ns</sup>	
	Controle	Estresse
<i>B. subtilis</i>	3.166 bAα	2.719 bAα
ESA 13	3.091 bAα	2.516 bBαβ
ESA 402	3.429 bAα	2.710 bBα
Nitrogênio	2.795 bAα	1.922 bBβ
Controle Absoluto	2.814 bAα	2.538 bAαβ

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2022.

As letras maiúsculas são referentes aos tratamentos comparando (na linha) o genótipo na condição controle e estresse; as letras gregas comparam os genótipos entre si na condição controle e na condição estresse; as letras minúsculas são referentes ao regime hídrico comparando (na coluna) os genótipos nas condições controle e estresse (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ). Controle absoluto- tratamento sem nitrogênio e sem inoculante, controle- tratamento irrigado, estresse- tratamento sob déficit hídrico, ns= não significativo.

#### 4 CONCLUSÃO

Os inoculantes produzidos a base de rizobactérias promoveram efeitos positivos quando avaliadas as variáveis fisiológicas e agrônômicas, auxiliando na mitigação do efeito do déficit hídrico sobre as plantas. Considerando os dados obtidos neste estudo, as estirpes ESA 402 e *Bacillus subtilis* apresentaram melhores resultados nas plantas de gergelim sob déficit hídrico e reidratação.

#### REFERÊNCIAS

AGURLA, S.; GAHIR, S.; MUNEMASA, S.; MURATA, Y.; RAGHAVENDRA, A. S. Mechanism os Stomatal Closure in Plants Exposed to Drought and Cold Stress. In: IWAYA-INOUE, M.; SAKURAI, M.; UEMURA, M. (ed.) **Survival Strategies in Extreme Cold and Desiccation: Adaptation Mechanisms and Their Applications**. Singapore: Springer, 2018.p. 215-232.

ARRIEL, N. H. C. **A cultura do gergelim**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/11911/2/00080980.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2022.

ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. M.; GONDIM, T. M. S.; LIMA, R. L. S. Sistemas de Cultivo. *In*: ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. M.; FIRMINO, P. T. (ed.). **Gergelim: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação e Tecnológica, 2009. p. 84-100.

BARBOSA, D. D. **Desenvolvimento vegetativo e parâmetros fisiológicos em genótipos de amendoim sob déficit hídrico e inoculados com rizóbios**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.

BEDIGIAN, D. Systematics and evolution in *Sesamum* L. (Pedaliaceae), part 1: Evidence regarding the origin of sesame and its closest relatives. **Webbia: Journal of Plant Taxonomy and Geography**, 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00837792.2014.968457?journalCode=tweb20>. Acesso em 18 jun. 2022.

BELTRÃO, N. E.; FERREIRA, L. L.; QUEIROZ, N. L.; TAVARES, M. S.; ROCHA, M. S. ALENCAR, R. D.; PORTO, C. N. **O gergelim e seu cultivo no semiárido brasileiro**. Natal: IFRN, 2013, 225 p. Disponível em: <https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/1093/O%20gergelim%20e%20seu%20cultivo%20no%20semiárido%20brasileiro%20-%20Ebook.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 18 jun. 2022.

BLACK, C.; CHRISTENSEN, M. N.; KOVÁCS, A. T. Molecular Aspects of Plant Growth Promotion and Protection by *Bacillus subtilis*. **International Society for Molecular Plant- Microbe Interactions**, v. 34, n. 1, p. 15-25, 2020. Disponível em: [https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/MPMI-08-20-0225-CR?rfr\\_dat=cr\\_pub++0pubmed&url\\_ver=Z39.88-2003&rfr\\_id=ori%3Arid%3Acrossref.org](https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/MPMI-08-20-0225-CR?rfr_dat=cr_pub++0pubmed&url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org). Acesso em: 24 mai. 2022.

BRESSON, J.; VAROQUAUX, F.; BONTPART, T.; TOURAINE, B.; VILE, D. The PRPG strain *Phyllobacterium brassicacearum* stm196 induces a reproductive delay and physiological changes that result in improved drought tolerance in *Arabidopsis*. **New Phytologist**, v. 200, n. 2, p. 558-569, 2013. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.12383>. Acesso em: 13 nov. 2022.

DA SILVA, M. C. A. P. **Impacto da inoculação com cepas da bactéria *Bacillus amyloliquefaciens* BV03 sobre os processos fisiológicos de soja exposta à seca**. 2019. Monografia (Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2019.

DA SILVA, R. T.; DE OLIVEIRA, A. B.; LOPES, M. F. Q.; GUIMARÃES, M. A. G.; DUTRA, A. S. Physiological quality of sesame seeds produced from plants subjected to water stress. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 643-648, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/dJ78sqqvfx9T9w4gH3zr4pN/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 25 nov. 2022.

DE ALBUQUERQUE, F.A.; BELTRÃO, N. E. M.; DE LUCENA, A. M. A.; DE OLIVEIRA, M. I. P.; CARDOSO, G. D. Ecofisiologia do gergelim (*Sesamum indicum* L.) In: BELTRÃO, N. E. M.; DE OLIVEIRA, M. I. P. (ed.) **Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal**. 2. ed. E-book. Brasília: Embrapa, 2012, 348p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1079831/ecofisiologia-das-culturas-de-algodao-amendoim-gergelim-mamona-pinhao-manso-e-sisal>. Acesso em: 20 jun. 2022.

DE CASTRO, G. L. S. **Rizobactérias promovem crescimento, aliviam os efeitos de déficit hídrico e reduzem antracnose em mudas de açaizeiro**. 2018. Tese (Doutorado em agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2018.

DE LIMA, B. C.; MORO, A. L.; SANTOS, A. C. P.; BONIFACIO, A.; ARAÚJO, A. S. F.; ARAÚJO, F. F. *Bacillus subtilis* ameliorates water stress tolerance in maize and common bean. **Journal of Plant Interactions**, v. 14, n. 1, p. 432-439, 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17429145.2019.1645896#:~:text=activity%20were%20evaluated,-,B.,stomata%2C%20without%20damaging%20photosynthetic%20rates>. Acesso em: 28 out. 2022.

DUTRA, A. F.; DE MELO, A. S.; FILGUEIRAS, L. M. B.; DA SILVA, A. R. F.; DE OLIVEIRA, I. M.; BRITO, M. E. B. Parâmetros fisiológicos e componentes de produção de feijão-caupi sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 2, p. 189-197, 2015. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v10i2a3912/571>. Acesso em: 15 nov. 2022.

DOSSA, K.; LI, D.; WANG, L.; ZHENG, X.; YU, J.; WEI, X.; FONCEKA, D.; DIOUF, D.; LIAO, B.; CISCSE, N.; ZHANG, X. Dynamic transcriptome landscape of sesame (*Sesamum indicum* L.) under progressive drought and after rewatering. **Genomics Data**, v. 11, p. 122-124, 2017. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5288455/>. Acesso em: 24 out. 2022.

DOSSA, K.; LI, D.; ZHOU, R.; YU, J.; WANG, L.; ZHANG, Y.; YOU, J.; LIU, A.; MMADI, M. A.; FONCEKA, D. DIOUF, D.; CISCSE, N.; WEI, X.; ZHANG, X. The genetic basis of drought tolerance in the high oil crop *Sesamum indicum*. **Plant Biotechnology Journal**, v. 17, p. 1788-1803, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pbi.13100>. Acesso em: 29 jun. 2022.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Protocolos para preparo de meios de cultura Embrapa Agrobioenergia**, dezembro, 1999. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB-2010/27335/1/doc110.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2022.

FERRAZ, R. L. S.; DE MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; DE BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; JÚNIOR, E. S. N. Trocas gasosas e eficiência fotossintética de ecótipos de feijoeiros cultivados no semiárido. **Pesquisa Agropecuária**

**Tropical**, v. 42, n. 2, p. 181-188, 2012. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/pat/a/cq9JmbJnSPH3JqxnLrtSyrq/?format=pdf&lang=pt>.  
 Acesso em: 15 nov. 2022.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**: a guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 38, p. 109-112, 2014.  
 HAQUE, M. M.; MOSHARAF, M. K.; KHATUN, M.; HAQUE, M. A.; BISWAS, M. S.; ISLAM, M. S.; ISLAM, M. M.; SHOZIB, H. B. MIAH, M. M. U.; MOLLA, A. H.; SIDDIQUEE, M. A. Biofilm Producing Thizobacteria with Multiple Plant Growth-Promoting Traits Promote Growth to Tomato Under Water-Deficit Stress. **Microbial Symbioses**, v.11, 2020. Disponível em:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7727330/>. Acesso em: 25 out. 2022.

HASHEM, A.; TABASSUM, B.; ABD\_ALLAH, E. F. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 6, p. 1291-1297, 2019. Disponível em:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6734152/>. Acesso em: 24 mai. 2022.

JOCHUM, M. D.; MCWILLIAMS, K. L.; BORREGO, E. J.; KOLOMIETS, M. V.; NIU, G.; PIERSON, E. A.; JO, Y. Bioprospecting plant growth-promoting rhizobacteria that mitigate drought stress in grasses. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31552009/>. Acesso em: 28 out. 2022.

KONRAD, M. L. F.; DA SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de café sob estresse hídrico por alumínio. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/brag/a/myGdTBbsV3ZFvXhKbfrwNm/?lang=pt>. Acesso em: 15 nov. 2022.

LASTOCHKINA, O.; PUSENKOVA, L.; YULDASHEV, R.; BABAEV, M.; GARIPOVA, S.; BLAGOVA, D.; KHAIRULLIN, R.; ALINIAEIFARD, S. Effects of *Bacillus subtilis* on some physiological and biochemical parameters of *Triticum aestivum* L. (wheat) under salinity. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 121, p. 80-88, 2017. Disponível em:  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942817303479?casa\\_token=JTxBRig8eHP4AAAAA:45DZKAO0MbWde-l6HSTpJ-np1OGu1FGOrfPuJA00BnlrUefs4XKIB5nNLAaXG9u-9\\_FLAXFI3A](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942817303479?casa_token=JTxBRig8eHP4AAAAA:45DZKAO0MbWde-l6HSTpJ-np1OGu1FGOrfPuJA00BnlrUefs4XKIB5nNLAaXG9u-9_FLAXFI3A). Acesso em: 25 nov. 2022.

MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDIN, A. C. L.; MACHADO E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes de laranjeira 'Valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantia**, v. 67. P. 693-699, 2008.

MARCOS, F. C. C.; IÓRIO, R. D. P. D. D.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; LAGÔA, A. M. M. D. A. Endophytic bacteria affect sugarcane physiology without changing plant growth. **Bragantia**, v. 75, n. 1, 2015.



MARTINS, S. J.; ROCHA, G. A.; DE MELO, H. C.; GEORG, R. C.; ULHÔA, C. J.; DIANESE, E. C.; OSHIQUIRI, L. H.; DA CUNHA, M. G.; DA ROCHA, M. R.; DE ARAÚJO, L. G.; VAZ, K. S.; DUNLAP, C. A. **Plant-associated bacteria mitigate drought stress in soybean**, *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, p.13676-13686, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-1610-5>. Acesso em: 13 nov. 2022.

NASCIMENTO, V. C. **Avaliação da qualidade de sementes de duas cultivares de gergelim em diferentes espaçamentos**. 2019. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2019.

NUMAN, M.; BASHIR, S.; KHAN, Y.; MUMTAZ, R.; SHINWARI, Z. K.; KHAN, A. L.; KHAN, A.; AL-HARRASI, A. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: a review. **Microbiological Research**, v. 209 p. 21-32, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944501317312806?via%3Dihub>. Acesso em: 25 nov. 2022.

OLANREWAJU, O. S.; AYILARA, M. S.; AYANSINA, A. S.; BABALOLA, O. O. Genome mining of three plant growth-promoting *Bacillus* species from Maize rhizosphere, **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 193, p. 3949-3969, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12010-021-03660-3#citeas>. Acesso em: 25 jun. 2022.

RAIZ, K.; MUNEER, S. Drought stress-induced physiological mechanisms, signaling pathways and molecular response of chloroplasts in common vegetable crops. **Critical Reviews in Biotechnology**, p. 669-691, 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07388551.2021.1874280?journalCode=ibty20>. Acesso em: 12 nov. 2022.

RISEH, R. S.; EBRAHIMI-ZARANDI, M.; VAZVANI, M. G.; SKORIK, Y. A. Reducing drought stress in plants by encapsulating plant growth-promoting bacteria with polysaccharides. **International Journal of Molecular Sciences**, v.22, n. 23, 2021. Disponível em: [https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34884785/#:~:text=Plant%20growth%2Dpromoting%20bacteria%20\(PGPB,1%2Dcarboxylate%20deaminase%20and%20osmolytes](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34884785/#:~:text=Plant%20growth%2Dpromoting%20bacteria%20(PGPB,1%2Dcarboxylate%20deaminase%20and%20osmolytes). Acesso em: 07 out. 2022.

SANTANA, S. R. A. **Respostas morfofisiológicas de plantas forrageiras submetidas ao déficit hídrico com inoculação de bactérias diazotróficas**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal)- Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2016.

SANTANA, S. R. A.; VOLTONILI, T. V.; ANTUNES, G. R.; SILVA, V. M.; SIMÕES, W. L. MORGANTE, C. V.; FREITAS, A. D. S.; CHAVES, A. R. M.; AIDAR, S. T.; FERNANDES- JÚNIOR, P. I. Inoculation of plant growth-promoting bacteria attenuates the negative effects of drought on sorghum. **Archives of Microbiology**, v. 202, p. 1015-1024, 2020. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00203-020-01810-5>. Acesso em: 28 out. 2022.

SOUROUR, A.; OTHMANI, A.; MOUNIR, R.; MONGI, B. Y. A review: Morphological, biochemical and molecular plant responses to water deficit stress. **The International Journal of Engineering And Science**, v. 6, p. 01-04, 2017.

VICENT, J. M. A manual for the practical study of nodule bacteria. **Oxford: Blackwell Science Publication**, 1970.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Bom Deus por ter me conduzido e proporcionado força para conseguir chegar até aqui.

Aos meus pais que foram e são os meus maiores incentivadores e apoiadores nessa caminhada da graduação, são as pessoas que mais me auxiliam e me colocam para cima quando penso em desistir.

A minha irmã e cunhado pelo incentivo, ajuda e até empurrãozinho nos momentos que precisei durante a graduação, ao meu sobrinho que mesmo pequeno, apresenta uma curiosidade enorme sobre os seres vivos e vive perguntando a titia sobre eles kkkk.

A toda a minha família, que sempre me incentivaram a buscar o conhecimento através dos estudos.

Ao meu orientador Dr. Alberto por ter aceito me orientar na condução deste trabalho, meu muito obrigada.

A minha coorientadora Dra. Liziane Maria por ter me aceitado como estagiária e proporcionado a condução deste trabalho como também agradeço pela paciência, carinho e por todos os ensinamentos passados durante a condução do projeto, aprendi muito durante o experimento.

A Giliard Bruno, que com sua generosidade, paciência e inteligência me acolheu e ensinou a como conduzir um experimento no campo como também em laboratório (agora eu já sei usar a pipeta kkkkk). A Dra. Geisenilma que estava sempre disposta a nos ensinar e auxiliar durante a condução do experimento e na sua escrita. Ao pessoal do laboratório da Embrapa.

Ao meu grupinho da Universidade, carinhosamente chamado de clube da luta, composto por Rayanne (minha duplinha) uma das pessoas mais fortes e batalhadoras que conheço e que por onde chega anima os que estão a sua volta, Iris, a menina das ideias e dos slides chiques kkkk, Eli um menino desenrolado para fazer os trabalhos e que sempre nos ajudava a concluí-los e também a Plínio, companheiro de profissão, e de inúmeras conversas e risadas enquanto esperávamos o ônibus. Muito obrigada, clube da luta pelo companheirismo, ajuda, risadas e amizade ao longo desses anos.

Aos demais amigos que a universidade proporcionou, Isaque (o mais animado da turma), Viviane, Aline, Milena, Lucas, Juliana, Maria Angélica e João Pedro. Amizade formada desde o primeiro período e que se estende até agora, um grupo onde todos se dão bem e que ajudam uns aos outros.

A UEPB e os professores do curso de Ciências Biológicas por todo o seu compromisso pelo ensino e aprendizagem dos alunos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

Muito obrigada pessoal, se consegui chegar até aqui não foi sozinha foi com a ajuda de cada um de vocês...