



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**ANDREZA LÚCIO DA COSTA**

**DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE GERGELIM INOCULADO COM  
BACILOS E SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA**

**CAMPINA GRANDE - PB  
2023**

**ANDREZA LÚCIO DA COSTA**

**DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE GERGELIM INOCULADO COM  
BACILOS E SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA**

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

**Área de concentração:** Biotecnologia e Melhoramento Vegetal.

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. LIZIANE MARIA DE LIMA**

**CAMPINA GRANDE- PB  
2023**

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.

C838d Costa, Andreza Lúcio da.  
Desenvolvimento e produção de gergelim inoculado com bacilos e sob restrição hídrica [manuscrito] / Andreza Lúcio da Costa. - 2023.  
56 p. : il. colorido.

Digitado.  
Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2023.  
"Orientação : Profa. Dra. Liziane Maria de Lima, Coordenação de Curso de Biologia - CCBS. "

1. Sesamum indicum L. 2. Restrição hídrica. 3. Bacilos. I.  
Título

21. ed. CDD 631

ANDREZA LÚCIO DA COSTA

**DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE GERGELIM INOCULADO COM  
BACIOS E SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA**

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

**Área de concentração:** Biotecnologia e Melhoramento Vegetal.

Aprovada em: 25/04/2023.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Profa. Dra. Liziane Maria de Lima (Orientadora)  
Embrapa Algodão



---

Prof. Dr. Francisco José Correia Farias  
Embrapa Algodão



---

Prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes  
UFCG

Ao meu avô Joaquim (*in memoriam*), um exemplo de humildade e de compaixão. Seguirei os seus ensinamentos, honrarei seu nome.

DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

Agradecer, acima de qualquer valor, é reconhecer o esforço ou mesmo um gesto das pessoas que de uma forma ou de outra, ajudaram-me na realização deste sonho. Desta forma, relato o meu muito obrigada.

A Deus, por me conceder saúde e sabedoria para seguir sempre em frente. Obrigada por ser a minha força e o meu guia em todos os momentos. A ti, Senhor, toda honra e toda a glória.

Aos meus pais, Josinaldo Dantas, Maria José Wilma L. da Costa, meus irmãos, Flávio Lúcio, Gustavo Lúcio e Raionara Lúcio, meu cunhado Marcos Araújo e meu sobrinho Rayllan Ravy, pelo apoio e incentivo em todos os momentos da minha vida. Por acreditarem em mim, e não medirem esforços para a concretização dos meus sonhos. Sem vocês, nada seria possível. Amo vocês!

Aos meus avós, Joanita Medeiros, João Henriques, Olindina Martins e Joaquim Lúcio (*in memoriam*), vocês são inspiração, equilíbrio e porto seguro nos momentos de tribulação. Obrigada por ensinar à nossa família os valores mais preciosos de um ser humano: a humildade, o amor e o respeito ao próximo. Meu amor por vocês é infinito!

À minha orientadora, Liziane Maria de Lima, agradeço a orientação exemplar pautada por um elevado e rigoroso nível científico, um interesse permanente e fecundo, uma visão crítica e oportuna, um empenho inexecedível e saudavelmente exigente, os quais contribuíram para enriquecer, com grande dedicação, passo por passo, todas as etapas subjacentes ao trabalho realizado.

Ao Dr. Tarcísio Gondim por todas as contribuições na aérea do experimento no campo.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Francisco Jose Correia Farias e Dr. Pedro Dantas Fernandes por todas as contribuições prestadas neste trabalho.

À doutora Gesenilma, que me ajudou em todas as etapas desta pesquisa. Solicitei a sua ajuda inúmeras vezes e em todas fui atendida com paciência e tranquilidade. Serei eternamente grata por toda ajuda durante a realização deste trabalho, você foi fundamental!

À Tereza e Fábria, pelo companheirismo diário no laboratório. Vocês tornaram os dias de trabalho muito mais leves e divertidos. Obrigada por me ajudarem em todos os momentos que precisei. Sou muito grata a vocês.

À Rafael e Maria Clara, amigos que fiz durante a graduação e que embarcaram comigo no sonho da pós-graduação. Obrigada por todo apoio ao longo desta caminhada.

Dividimos a casa, os sonhos e as dificuldades juntos. Ter vocês por perto, foi essencial para que eu conseguisse seguir em frente. Muito obrigada por tudo!

Quero agradecer as minhas colegas do mestrado e amigas, Camila Lima, Ana Gabriela e Maria Clara, obrigada pelo companheirismo nesses dois anos de nossa trajetória, por estarem comigo em todos os momentos, por segurarem a minha mão nos períodos difíceis, por nossos cafês e conversas. As risadas que compartilhei durante todas as etapas deste trabalho, também me ajudaram a ter forças para continuar. Obrigada por tudo. Este trabalho também é de vocês!

À minha irmã Luana de Azevedo por fazer parte desse sonho, por não deixar-me desistir, obrigada por tudo, essa conquista é nossa.

À todas as minhas amigas, em especial a Rita de Cassia e Josiane Medeiros por todo o apoio e compreensão durante minha ausência, vocês são luz em minha vida.

À Douglas Filipe, que foi fundamental no período de escrita deste trabalho, seu sorriso me tranquilizava e suas palavras traziam a paz que eu tanto precisava, obrigada por existir!

Alessandra e Emily não há palavras para expressar minha gratidão, vocês me ensinaram o que é compaixão, amizade e como amar o próximo, sou eternamente grata a vocês, muito obrigada por existirem e serem servas de Deus.

Aos amigos José Márcio, Cirleno e Anderson Regis por toda a ajuda durante o período desta pesquisa. Aos colegas de pós-graduação Larissa, Izamara, Jailma, Camila, Gaby, Luana, Marcelo e demais, por dividir esse sonho comigo.

À Embrapa Algodão, pela infraestrutura para a realização de toda a pesquisa, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (PPGCA) da UEPB e a todos os professores.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigada!

“Hoje, neste tempo que é seu, o futuro está sendo plantado. As escolhas que você procura, os amigos que você cultiva, as leituras que você faz, os valores que você abraça, os amores que você ama, tudo será determinante para a colheita futura.”  
(Pe. Fábio de Melo)



## RESUMO

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma espécie originária de climas tropicais e seu cultivo é indicado para a região semiárida do Nordeste brasileiro ou como cultura de segunda safra, no bioma do cerrado do Brasil, por ser de fácil cultivo; contudo, a restrição hídrica consiste em um dos principais fatores limitantes da agricultura em regiões semiáridas. No gênero *Bacillus*, a espécie *B. subtilis* vem sendo bastante estudada devido ao seu potencial de proporcionar ganhos diretos e indiretos no crescimento das plantas, como também, a sua capacidade em mitigar os efeitos deletérios de estresses abióticos em plantas. Nesse contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar o desenvolvimento e a produção de gergelim inoculado com bacilos sob restrição hídrica. O experimento foi conduzido em condições de campo, na área experimental da Embrapa Algodão, localizada em Campina Grande, PB (07°13'S; 53°31'W) no período de fevereiro a julho de 2022. O experimento foi em blocos casualizados, em arranjo fatorial de 5 x 2: cinco manejos, sendo três inoculantes a base de bacilos, um manejo com nitrogênio químico, um tratamento sem nitrogênio e dois regimes hídricos, com 3 repetições. Foram avaliadas variáveis de crescimento (altura de planta e altura do primeiro fruto, massa seca da parte aérea e de raízes) e de produção (número de cápsulas por planta; diâmetro de cápsulas; comprimento de cápsulas; número de cápsulas abertas por planta, peso total das sementes e peso de 1000 sementes). Além disso, foram avaliados teor de nitrogênio e fósforo em folhas de gergelim, teor de prolina livre e pigmentos fotossintéticos. Os dados do experimento foram submetidos à análise de variância ( $P \leq 0,05$ ), as médias comparadas dos tratamentos pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) e as condições hídricas foram comparadas pelo teste T de Student ( $P \leq 0,05$ ). Os inoculantes pant001 e ESA 402 estabeleceram uma interação significativa para a produção total de sementes sob restrição hídrica, com incremento de 105,62% e 74% respectivamente, quando comparada ao tratamento sem nitrogênio. Para o peso de mil sementes, os tratamentos pant001 e ESA 402, sob restrição hídrica, proporcionaram incremento de 20,83%, e 14,74%, respectivamente, em comparação ao tratamento sem nitrogênio. Sob restrição hídrica, todos os tratamentos proporcionaram aumento do teor de prolina livre total. Os tratamentos inoculados com pant001, ESA 402 e o manejo nitrogenado favoreceram o aumento dos pigmentos fotossintéticos sob restrição hídrica.

**Palavras-Chave:** *Sesamum indicum* L.; restrição hídrica; bacilos.

## ABSTRACT

Sesame (*Sesamum indicum* L.) is a species native to tropical climates and its cultivation is indicated for the semi-arid region of Northeastern Brazil or as a second crop crop in the Cerrado biome of Brazil, as it is easy to cultivate; however, water restriction is one of the main limiting factors for agriculture in semi-arid regions. In the genus *Bacillus*, the species *B. subtilis* has been extensively studied due to its potential to provide direct and indirect gains in plant growth, as well as its ability to mitigate the deleterious effects of abiotic stresses on plants. In this context, the objective of this work was to evaluate the development and production of sesame inoculated with bacilli under water restriction. The experiment was conducted under field conditions, in the experimental area of Embrapa Algodão, located in Campina Grande, PB (07°13'S; 53°31'W) from February to July 2022. The experiment was in randomized blocks, in a factorial arrangement of 5 x 2: five managements, three inoculants based on bacilli, one management with chemical nitrogen, one treatment without nitrogen and two water regimes, with 3 replications. Growth variables (plant height and first fruit height, shoot and root dry mass) and production variables (number of capsules per plant; capsule diameter; capsule length; number of capsules opened per plant, weight total seeds and weight of 1000 seeds). In addition, nitrogen and phosphorus content in sesame leaves, free proline content and photosynthetic pigments were evaluated. The experiment data were submitted to analysis of variance ( $P \leq 0.05$ ), the averages of treatments were compared by Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ) and water conditions were compared by Student's t test ( $P \leq 0.05$ ). The inoculants pant001 and ESA 402 established a significant interaction for the total production of seeds under water restriction, with an increase of 105.62% and 74% respectively, when compared to the treatment without nitrogen. For the weight of a thousand seeds, the treatments pant001 and ESA 402, under water restriction, provided an increase of 20.83% and 14.74%, respectively, compared to the treatment without nitrogen. Under water restriction, all treatments increased the total free proline content. The treatments inoculated with pant001, ESA 402 and nitrogen management favored the increase of photosynthetic pigments under water restriction.

**Keywords:** *Sesamum indicum* L.; water restriction; bacilli.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** (A) Sementes da cultivar BRS Morena imersas em inoculantes. (B) Sementes inoculadas prontas para semeadura no campo..... 27
- Figura 2.** Fertilização com nitrogênio: (A) 21 dias após a emergência; (B) início da floração (32 DAE)..... 28
- Figura 3.** Variáveis agronômicas: (A) Altura de planta (ALT); (B) Altura do primeiro fruto; (C) Massa da parte aérea seca (MPAS); (D) Massa da raiz seca (MRS); (E) Comprimento da Raiz (CR)..... 35
- Figura 4.** Características agronômicas: (A) Peso total de sementes (PTS); (B) Peso de 1000 sementes (PMS); (C) Comprimento de cápsulas (CC); (D) Diâmetro de cápsulas (DC); (E) Número de cápsulas (NC); e (F) Cápsulas fechadas (CF). ..... 39
- Figura 5.** Análise de nitrogênio e fósforo em folhas de gergelim BRS Morena.....41
- Figura 6.** Concentração de prolina livre em função da restrição hídrica em plantas de gergelim inoculadas com bacilos..... 42
- Figura 7.** Análise de pigmentos fotossintéticos: clorofila a, b, total e carotenoides em plantas de gergelim inoculadas com bacilos e com restrição hídrica. .... 45

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Análise dos componentes físico-químicos do solo (Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Algodão, Campina Grande, PB, 2022). ..... 26
- Tabela 2.** Resumo das características agronômicas: altura de plantas (ALT), altura do 1º fruto, massa da parte aérea seca (MPAS) e massa da raiz seca (MRS) do gergelim BRS Morena inoculado com bacilos, sob restrição hídrica..... 32
- Tabela 3.** Resumo das características agronômicas: peso total de sementes (PTS), peso de mil sementes (PMS), número de cápsulas (NC), cápsulas fechadas (CF) do gergelim BRS Morena inoculado com bacilos, sob restrição hídrica..... 36
- Tabela 4.** Resumo do teor de nitrogênio, fósforo e prolina livre do gergelim BRS Morena inoculado com bacilos, sob restrição hídrica..... 43
- Tabela 5.** Resumo da análise de pigmentos fotossintéticos: clorofila a, b, total e carotenoides em plantas de gergelim inoculadas com bacilos e com restrição hídrica..... 43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALT	Altura de planta
CF	Cápsulas fechadas
CC	Comprimento de cápsulas
CR	Comprimento da raiz
DAE	Dias após à emergência
DC	Diâmetro de cápsulas
DO	Densidade Óptica
FBN	Fixação biológica de nitrogênio
LB	Luria Bertani
MSPA	Massa da parte aérea seca
MSR	Massa da raiz seca
N	Nitrogênio
NC	Número de cápsulas
P	Fósforo
PMS	Peso de mil sementes
PTS	Peso total de sementes

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	15
2.1 Geral .....	15
2.2 Específicos .....	15
<b>3 REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	16
3.1 Origem e morfologia do gergelim.....	16
3.2 A cultura do gergelim.....	17
3.3 Déficit hídrico em plantas.....	18
3.4 Bacilos como bactérias promotoras de crescimento .....	20
3.5 Disponibilização de nitrogênio para as plantas.....	21
3.6 Disponibilização de fósforo por microrganismos .....	22
3.7 Prolina como indicador de estresse abiótico.....	24
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	26
4.1 Implantação e condução do experimento .....	26
4.2 Cultivo das bactérias e preparo dos inoculantes .....	28
4.3 Variáveis agronômicas .....	29
4.4 Análise de nitrogênio em folhas.....	29
4.5 Análise de fósforo em folhas .....	29
4.6 Teor de prolina livre .....	30
4.7 Análise de pigmentos fotossintéticos .....	30
4.8 Análises estatísticas.....	31
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	32
5.1 Variáveis agronômicas .....	32
5.2 Análise de nitrogênio e fósforo em folhas de gergelim BRS Morena .....	40
5.3 Teor de prolina .....	41
5.4 Pigmentos fotossintetizantes.....	43
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	46
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	47

## 1 INTRODUÇÃO

O cultivo do gergelim (*Sesamum indicum* L.) apresenta características agronômicas e fisiológicas adequadas para a região semiárida do Nordeste brasileiro, por ser de fácil cultivo e muito resistente a condições de clima seco. No Brasil, o cultivo do gergelim é restrito a algumas áreas da maioria dos estados nordestinos e dos estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso (COSTA LOURENÇO et al., 2018).

Conforme Maliszewski (2020), a cultura vem ganhando espaço. Em 2020, o Brasil foi o país que mais aumentou a produção de gergelim, o que contribuiu para classificar o país como o 10º maior exportador mundial. O pólo de produção brasileiro é o município de Canarana (MT), que concentra 65 mil hectares dos 157 mil hectares plantados no estado. Também há áreas em Goiás, mas em menor proporção, apenas 3 mil hectares. De acordo com o último levantamento da safra de grãos da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2022) a safra 21/22 resultou em 110,9 mil toneladas, a área plantada cresceu de 175 mil hectares para 213,9 mil hectares.

Estudos sobre a aplicação correta de água no cultivo são imprescindíveis, uma vez que a planta é sensível a solos encharcados e, de modo geral, em condições de déficit hídrico as culturas não produzem satisfatoriamente, acarretando prejuízos aos produtores (BEZERRA, 2008). De acordo com Broetto et al. (2017), as plantas submetidas a déficit hídrico sofrem mudanças na anatomia, fisiologia e bioquímica, com diminuição de área foliar e crescimento de raiz, fechamento de estômatos, acúmulo de carboidrato em raízes, transporte de água na raiz via aquaporinas, entre outros mecanismos de defesa.

Santos et al. (2014) ressaltam que as plantas têm desenvolvido, evolutivamente, mecanismos adaptativos complexos, muitos destes somente possíveis graças às interações com microorganismos benéficos; eles podem melhorar a atividade das plantas sob condições de estresse e, conseqüentemente, aumentar a produtividade das culturas. As espécies microbianas sob efeito de inoculação em cultivos, beneficiam desde a semente, com o aumento de germinação e emergência de plântulas, até a biomassa vegetal e produção de grãos e frutos.

No gênero *Bacillus*, a espécie *B. subtilis* vem sendo bastante estudada devido ao seu potencial de proporcionar ganhos diretos e indiretos no crescimento de algumas espécies, como também, a sua capacidade em mitigar os efeitos deletérios de estresses abióticos em plantas (LIMA, 2020). O *B. subtilis*, é uma bactéria proveniente do solo, descrita como

rizobactéria, promotora de crescimento, produz antibióticos, enzimas e fitormônios que propiciam benefícios para as plantas (MAZZUCHELLI et al., 2014).

Estudos já foram realizados com inoculação de *B. subtilis* para mitigação de déficit hídrico ou para incrementar em algumas espécies: inoculação em feijão submetido a condição de estresse em período reprodutivo, obtendo bons resultados (LIMA, 2020); milho (ARAÚJO, 2008; CARVALHO et al., 2019); aveia branca (SANTOS et al., 2021); soja (COSTA et al., 2019); girassol (SANTOS et al., 2014); cana-de-açúcar (STANCATTE et al., 2015); e gergelim (LIMA et al., 2023).

Portanto, é importante investigar a utilização de bactérias promotoras de crescimento, em forma de inoculante, para atenuar os efeitos do déficit hídrico em gergelim. Tendo em vista que o déficit hídrico é um dos principais fatores limitantes em sistemas de produção agrícola no Nordeste, a identificação de cepas de bacilos que atenuem o déficit hídrico pode ser uma estratégia para aumentar a produção de gergelim nessa região, bem como, para se tornar uma das principais culturas de segunda safra no cerrado brasileiro.



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Geral

- Avaliar o desenvolvimento e a produção de gergelim BRS Morena inoculado com bacilos e em condições de restrição hídrica.

### 2.2 Específicos

- Avaliar o efeito da interação bacilo x gergelim sob condições de restrição hídrica;
- Mensurar as variáveis agronômicas (altura de planta; altura do primeiro fruto; número de cápsulas por planta; diâmetro de cápsulas; comprimento de cápsulas; massa da parte aérea seca e de raízes secas) afim de analisar se os tratamentos inoculados com bacilos foram eficazes para mitigar a restrição hídrica;
- Quantificar a produção final de gergelim (peso total das sementes e peso de mil sementes);
- Quantificar os componentes nutricionais (nitrogênio e fósforo) em resposta aos tratamentos;
- Analisar o teor do osmólito prolina em resposta aos tratamentos.

### 3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Origem e morfologia do gergelim

O gergelim (*Sesamum indicum* L.), da família Pedaliácea, é uma das plantas oleaginosas mais antigas e usadas pela humanidade. Devido a maioria das espécies silvestres do gênero *Sesamum* encontrar-se na África, considera-se o continente de origem do gergelim, ao passo que na Ásia se encontra uma riqueza de formas e variedades das espécies cultivadas (ARRIEL et al., 2007). Nas pesquisas de Silva e Dourado (2019), o gergelim cultivado tem origem no continente Sub Indiano. Cultura oleaginosa anual e de uso milenar, foi introduzida no Brasil no século XVI pelos portugueses durante as grandes navegações, sendo denominado inicialmente de Gergelly. De acordo com Andrade (2009), há registro de seu cultivo há mais de 4.300 anos antes de Cristo nos países do Oriente Médio, Egito, Irã, Índia e China, onde suas sementes eram muito apreciadas como condimento e alimento requintado e energético.

O gergelim é uma dicotiledônea, apresenta sistema radicular pivotante, com a presença de uma raiz principal, sistema axonomorfo. Dependendo da cultivar, o caule possui altura variável entre 0,5 a 3 m, podendo ser ereto, com e sem ramificações, com ou sem pelos, com certo nível de heterofilia. O caule do gergelim, geralmente a 15 cm da superfície do solo possui diferentes formatos, quadrangular e arredondado. O cálice da flor do gergelim tem cinco sépalas fundidas de cor verde formando um conjunto chamado cálice. A corola é tubular, de cor branca a violeta, com um lóbulo para cima e três para baixo fendidos. Os frutos do gergelim são cápsulas pilosas, seu tamanho varia de 2 a 8 cm de comprimento e diâmetro de 0,5 a 2 cm. O grau de deiscência é uma característica varietal e de grande importância econômica, pois está correlacionada com a colheita mecanizada (BELTRÃO et al., 2013; ARAÚJO et al., 2019).

As variedades de gergelim em relação a abertura das cápsulas, em geral, se dividem em três tipos: deiscentes, indeiscentes e semi-deiscentes (QUEIROGA e SILVA, 2008). Para o sucesso na agricultura e o estabelecimento de populações adequadas no campo é necessário o uso de sementes de alta qualidade (JESUS et al., 2020).

Conforme Beltrão et al. (2013) a altura da inserção do primeiro fruto também é uma característica varietal muito importante para a colheita mecanizada. Os frutos localizam-se nas axilas das folhas, sendo que em cada axila foliar pode haver de um a três frutos (característica varietal) e o número de frutos por planta está diretamente relacionado com o número de flores.

### 3.2 A cultura do gergelim

A cultura do gergelim é uma alternativa de grande importância nutricional, econômica e social para as condições semiáridas do Nordeste brasileiro, além de ser um cultivo fácil, apresenta tolerância à estiagem e gera renda e ocupação aos produtores da agricultura familiar (MORAES, 2018).

De acordo com Anilakumar et al. (2010), a Índia é um dos maiores produtores de diversas sementes oleaginosas, como amendoim, mostarda, colza, gergelim, etc. Tradicionalmente, os indianos consomem quantidade substancial de óleos comestíveis principalmente como condimento. Entre as oleaginosas, o gergelim tem sido cultivado há séculos, principalmente na Ásia e na África, por seu alto teor de óleo comestível e proteína. É comumente conhecido como til (hindi), hu ma (chinês), sésame (francês), goma (japonês), gergelim (português) e sésamo (espanhol).

Conforme Lemes (2018), o gergelim é cultivado em 74 países, sendo Burma (Myanmar), Índia, Sudão e China, responsáveis por 60% da produção mundial, sendo que os continentes Africano e Asiático respondem juntos por, aproximadamente, 95% da produção mundial (FAO STAT, 2019). É cultivado na Ásia tropical por causa de suas sementes, que fornecem até 50% de óleo (ou azeite) extraído a partir de sementes cruas e aquele de sementes previamente torradas, que são utilizadas como condimento em pratos orientais. Os altos teores de ácidos graxos insaturados no óleo e de proteína digestiva nos grãos fazem do gergelim um alimento de alta qualidade para a alimentação humana e de animais domésticos não-ruminantes (AMABILE et al., 2001).

O gergelim passou a ser cultivado de forma comercial no Nordeste do Brasil em meados de 1986, quando foram estruturados mecanismos de fomento nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, e desenvolvidos projetos de pesquisa com a cultura (RIBEIRO et al., 2021).

Os grãos inteiros apenas decorticados (despeliculados) e polidos são muito utilizados no pão de hambúrguer e em outros produtos da panificação. A diversificação do uso e o aumento do consumo gerou uma significativa demanda por melhores informações sobre o seu cultivo, visando ao aumento da produção e à redução das importações (BELTRÃO et al., 2010).

Para Sarkis (2014), o cultivo do gergelim apresenta grande potencial econômico, principalmente devido ao seu alto teor de óleo. A importância do cultivo dessa oleaginosa tem

crescido gradativamente à medida que são descobertas novas fontes de aproveitamento da semente e de seus subprodutos. Além de ser rico em óleo, o gergelim se destaca pelo alto teor de proteínas, fibras, vitaminas e antioxidantes, os principais antioxidantes são as ligninas, estando esses compostos presentes no óleo e na torta da semente.

Com ampla adaptabilidade às condições edafoclimáticas de clima quente, o gergelim tem bom nível de resistência à seca e é fácil de ser cultivado, características que o tornam em excelente opção de diversificação agrícola por seu grande potencial econômico nos mercados nacional e internacional (ARRIEL et al., 2007). Apesar da alta adaptabilidade a seca, exige precipitação pluvial entre 300 e 850 mm anuais bem distribuídos durante o ciclo de cultivo (QUEIROGA e SILVA, 2008).

Apesar da ampla adaptabilidade da cultura do gergelim, segundo Milani et al. (2006) a prioridade dos programas de melhoramento do gergelim, ocorre em função da problemática específica de cada região. Na região Nordeste é cultivado como cultura principal, tem sido dada ênfase a buscar cultivares tolerantes à seca e cultivo com baixo uso de insumos. Já na região dos cerrados, utilizada como safrinha, tem se dado importância à capacidade de mecanização da cultura, principalmente da colheita. Em ambas, é fundamental desenvolver materiais produtivos, resistentes às pragas e doenças, com alta porcentagem de óleo e proteínas, e ainda materiais com frutos indeiscentes que tendem a alavancar a expansão da cultura, visto que irá propiciar colheita mecanizada e melhoria na qualidade e quantidade do produto colhido.

Segundo Arriel et al. (2006) as temperaturas excelentes para o crescimento e desenvolvimento da planta situam-se entre 25 e 30°C, inclusive para germinação das sementes; temperaturas abaixo de 20°C provocam atraso na germinação e no desenvolvimento da planta e abaixo de 10°C todo o metabolismo fica paralisado, levando à morte da planta; temperaturas superiores a 40°C causam abortamento de flores e não enchimento de grãos; temperaturas médias de 27°C favorecem ao crescimento vegetativo e a maturação dos frutos.

A cultura requer de 160 a 180 mm de água nos primeiros 30 dias após a germinação e um acúmulo superior a 250 mm até o final dos primeiros 60 dias após o plantio. O máximo de rendimento é obtido com precipitações bem distribuídas durante as diversas fases do ciclo da cultura (MAPA, 2013).

### 3.3 Déficit hídrico em plantas

As plantas sofrem estresse hídrico quando o abastecimento de água pelas raízes torna-se difíceis ou quando a taxa de transpiração fica muito alta. Recursos hídricos disponíveis para produção agrícola bem-sucedida têm diminuído nos últimos anos. Além disso, em vista da mudança climática, os cientistas afirmam que em muitas regiões do mundo, perdas de colheitas devido à crescente escassez de água que agravará ainda mais seus impactos (ANJUM et al., 2011).

O Nordeste brasileiro caracteriza-se por apresentar baixas precipitações pluviais e de forma irregular no tempo e no espaço, incrementando assim a probabilidade da ocorrência de eventos como os veranicos, durante a fase crítica de necessidade d'água dos vegetais (PINTO et al., 2011).

O déficit hídrico é um fator de risco já conhecido em intensidade e distribuição, contudo, nos atuais cenários de mudanças climáticas, esse fenômeno pode se apresentar de forma irregular, acentuando a redução na produtividade das culturas (BROETTO et al., 2017). As respostas das plantas às condições de estresse hídrico variam de acordo com a espécie, cultivar, tempo de exposição, entre outros. Em algumas culturas como o algodoeiro colorido a relação raiz/parte aérea é mais sensível aos efeitos do déficit hídrico na fase de floração e formação dos capulhos (SOARES et al., 2020; SOARES et al., 2023). Além do mais causa uma progressiva redução na área foliar em culturas de soja (GONÇALVES, 2017). Teodoro de Fatima et al. (2019) observam reduções gradativas na altura de plantas de alface sujeitas ao ambiente sob estresse hídrico.

Broetto et al. (2017) ressalta a contribuição dos fatores abióticos para esse processo, como a luz incidente nas folhas, que estimula a realização de fotossíntese e reduz a concentração de CO<sub>2</sub>. O uso das estruturas estomáticas (abertura e fechamento) serve de proteção para plantas, contudo, sem suprimento mínimo de água, há antecipação da senescência, devido ao murchamento. Além disso, há outras condições que refletem nos mecanismos de abertura e fechamento estomático, como intensidade da radiação solar, vento e umidade relativa do ar, deve-se ressaltar o equilíbrio entre potencial hídrico de entrada e saída pela absorção/transpiração.

Para Mensah et al. (2006), as plantas respondem a variações no estresse ambiental através de uma série de maneiras que as permitem adaptar-se a fim de lidar com tais tensões, incluindo respostas anatômicas, morfológicas e fisiológicas. Segundo Santos e Carlesso (1998), quando a ocorrência do déficit hídrico é intensa, os mecanismos morfofisiológicos são severamente afetados e a planta necessita adaptar-se à nova situação, de forma rápida. Assim, plantas conduzidas em condições de irrigação normalmente apresentam menos resistência a

situações de déficit hídrico no solo; já em plantas submetidas ao déficit hídrico gradual ou a deficiência de água no solo no início do seu ciclo, mais facilmente ocorre a adaptação das plantas. A tolerância da planta ao déficit hídrico parece ser um importante mecanismo de resistência para a manutenção do processo produtivo em condições de baixa disponibilidade de água às plantas.

Quanto a fisiologia da produção, o estresse gerado pelo excesso ou déficit de água afetará não apenas o desenvolvimento, como também o crescimento das plantas por influenciar tanto na formação de órgãos de absorção de nutrientes, aparato fotossintético e órgãos florais, como a produção, translocação e acúmulo de assimilados, além disso promove a queda de flores (BROETTO et al., 2017). Cultivares com duas ou três cápsulas por axila foliar perdem às vezes, tais estruturas, quando a planta é submetida a estresse hídrico e a deficiência nutricional.

De acordo com Bianchi et al. (2016) os estômatos são encontrados em folhas de briófitas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas, podendo ocorrer em caules verdes, flores e frutos. São formados por um par de células guardas e por um poro, chamado de ostíolo. A mudança de forma das células-guarda (turgida ou flácida) leva a entrada de CO<sub>2</sub> para realização da fotossíntese.

Ainda de acordo com Broetto et al. (2017), o estresse hídrico gera uma série de consequências para as plantas, como a redução da área foliar e do crescimento do caule, assim como redução da produção de matéria seca de diversas plantas. A determinação da matéria fresca e matéria seca total são essenciais para determinação do estresse hídrico da planta, além de ser a metodologia mais utilizada em experimentos para esse fim.

### 3.4 Bacilos como bactérias promotoras de crescimento

Muitos bacilos possuem sua estrutura em forma de bastonete, formadoras de endosporos aeróbicas ou facultativamente anaeróbicas, são bactérias gram-positivas. Muitas espécies do gênero *Bacillus* exibem uma ampla gama de habilidades fisiológicas que lhes permitem viver em todos os ambientes naturais. Apenas um endosporo é formado por célula. Os esporos são resistentes ao calor, frio, radiação, dessecação entre outros fatores (RINEH et al., 2014)

Segundo Kundan et al. (2015) as bactérias do gênero *Bacillus* se enquadram como bactérias promotoras de crescimento, pois além de apresentarem habilidades de colonização da rizosfera, também promovem crescimento vegetativo.

O *Bacillus subtilis* é uma das bactérias mais estudadas, sendo não patogênica aos seres humanos e considerada formadora de colônias, podendo ser encontrada tanto em ambiente terrestre como aquático (RINEH et al., 2014). O entendimento das interações entre microrganismos e plantas em ambientes com déficit hídrico pode proporcionar o desenvolvimento de novas tecnologias que mitiguem os efeitos adversos desse tipo de estresse, aumentando a produtividade das culturas agrícolas (SEVERO, 2021).

Segundo Lanna Filho et al. (2010), a promoção de crescimento que ocorre sob a ação de *B. subtilis* é devido ao aumento da fixação de nitrogênio, solubilização de nutrientes, síntese de fito hormônios e as condições do solo que são melhoradas.

A inoculação com gênero *Bacillus*, em especial *B. subtilis* vem sendo estudada em diversas culturas e comprovada como promotoras de crescimento, a exemplo do feijoeiro (OLIVEIRA et al., 2016), girassol (SILVA et al., 2019), arroz (FERNANDES-JÚNIOR et al., 2015); milho (MATSUO et al., 2022) e gergelim (LIMA et al., 2023) e como atenuantes ao déficit hídrico em capim-mombaça (*Megathyrsus maximus* Jacq) (ABRIL et al., 2017), gergelim (LIMA, 2021; LIMA et al., 2023), café (VIEIRA et al., 2021), milho (FERREIRA et al., 2021) e soja (SHETEIMY et al., 2021).

### 3.5 Disponibilização de nitrogênio para as plantas

Um dos mais importantes processos conhecidos na natureza e realizados apenas por microrganismos procariotos é o da fixação biológica de nitrogênio (FBN). O nitrogênio (N) é um elemento essencial para as plantas e limitante à produtividade agrícola e o grande reservatório de N é representado pelo gás atmosférico (cerca de 80%). A FBN é um processo bioquímico em que o nitrogênio atmosférico é incorporado diretamente às plantas após a quebra da tripla ligação do N por meio de um complexo enzimático, denominado nitrogenase. Contudo, as plantas não possuem aparato enzimático para quebrar a tripla ligação da molécula e utilizá-la. Este processo ocorre no interior de estruturas específicas, denominadas de nódulos, onde os microrganismos convertem o N atmosférico em amônia, que é incorporada em diversas formas de N orgânico (CAMPOS, 2008).

Conforme Oliveira (2018), quando se fala em nutrientes, uma das grandes preocupações do produtor é o nitrogênio, um macronutriente que além de ser substancialmente importante para o desenvolvimento da planta, é um elemento pouco encontrado no solo na forma disponível para as plantas. A cultura do gergelim é

extremamente sensível à falta de nitrogênio no solo (ROCHA et al., 2013), acarretando vários danos ao processo de desenvolvimento da planta.

O N faz parte de vários processos biológicos, sua deficiência causa redução da área foliar, prejuízos na assimilação fotossintética e no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas. Essa demanda pode ser suprida de forma agroecológica e com baixo custo por meio de adoção de inoculantes a base de bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (SIZENANDO, 2015; BRACCINI et al., 2016) e de bacilos (MACHADO et al., 2020).

De acordo com Aviz et al. (2021) o uso de inoculantes a base de bactérias é uma alternativa de aquisição de nitrogênio mais barata em comparação à adubação nitrogenada, e contribui com a sustentabilidade dos sistemas produtivos reduzindo as perdas desse nutriente e incrementando a produção agrícola. Santana et al. (2020), registraram o acúmulo de N em folhas de sorgo com plantas inoculadas com bacilos e sob condição de déficit hídrico e de acordo com Aquino et al. (2019), isolados de bacilos aumentaram potencialmente o acúmulo de N em milho e sorgo. Apesar da FBN não ser conhecida como uma característica inerente dos bacilos, observa-se que esses microrganismos têm favorecido o acúmulo de N em diversas culturas. Portanto, merece que pesquisas sejam direcionadas para compreender quais mecanismos são adotados para aumentar o teor do N nas plantas.

### 3.6 Disponibilização de fósforo por microrganismos

O fósforo (P) está presente em moléculas de açúcar fosfato envolvidas na fotossíntese, moléculas de DNA e RNA, fosfolipídios e também como componentes nas membranas, ATP, ADP, fosfato inorgânico e ácidos orgânicos fosforilados (TAIZ e ZEIGER, 2013).

O macronutriente P ao ser aplicado ao solo como fertilizante para atender as necessidades das culturas, reage com a fase sólida, deixando uma porção significativa do mesmo retida, tornando-se indisponível. A disponibilidade do P aplicado ao solo dependerá da capacidade de retenção e como está a área aplicada, a exemplo de áreas degradadas ou desertificadas (MELLADO, 2012), necessitando de alternativas para disponibilização do P para às plantas. Uma possível alternativa é a utilização de bactérias capazes de disponibilizar o P adsorvido no solo. Esses microrganismos utilizam diferentes mecanismos para transformar formas pouco solúveis de fosfato em formas solúveis. O principal mecanismo responsável por essa atividade é a secreção de diversos tipos de ácidos e enzimas como fosfatases e fitases que ajudam a converter o fosfato insolúvel em forma solúvel que podem ser absorvidas pelas raízes das plantas (GIOVELLI e TABALDI, 2022).



O P, juntamente com o N, é um dos macronutrientes que mais limitam o desenvolvimento vegetal devido a sua alta adsorção nas partículas do solo, apresentando-se em baixas concentrações no solo para a absorção pelas plantas. Alguns grupos microbianos, como as bactérias, possuem a capacidade de disponibilizar esse elemento para as plantas por diferentes mecanismos (produção e secreção de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, sideróforos e enzimas extracelular) que melhoram a nutrição e o crescimento de diversas culturas (RODRIGUES, 2018).

O P presente no solo encontra-se distribuído em formas de P orgânico diéster, P orgânico (Po) monoéster e P inorgânico (Pi) em ligações com Fe, Al, Ca, argilas silicatadas e óxidos de Fe e de Al. Assim, as formas de P do solo têm diferentes capacidades de dessorção e reposição da solução do solo, segundo sua natureza química e energia de ligação (SOUZA JÚNIOR et al., 2012). O orgânico constitui mais de 20% do fósforo total no solo (RAWAT et al., 2021). O P está integrado na biomassa microbiana, resíduos vegetais e animais (RICHARDSON et al., 2011). A biomassa microbiana contém uma quantidade significativa de P em sua composição, a qual pode disponibilizar para as plantas (ABDEL-GHANY et al., 2019).

Algumas bactérias como *Burkholderia*, *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Pantoea* e *Pseudomonas* são onipresentes, mas diferem em densidade e capacidade de solubilização de fósforo (SHARMA et al., 2013). Estas bactérias já foram descritas como tendo a capacidade de se associar com plantas, estimular o seu desenvolvimento e atuar de forma eficiente na solubilização de fosfato (MARRA et al., 2012).

O estresse hídrico dificulta o crescimento e o desenvolvimento das plantas devido a mecanismos bioquímicos e fisiológicos prejudicados, as rizobactérias além de colonizarem o sistema radicular, conseguem mineralizar a matéria orgânica disponibilizando nutrientes no solo por meio da conversão de formas insolúveis, como a solubilização de fosfatos através da produção de fosfatases ou ácidos orgânicos (KAUSHAL e WANI, 2016).

Segundo Carvalho et al. (2016) a relação simbiótica dos microrganismos com as plantas auxilia na disponibilização de nutrientes para o desenvolvimento vegetal, as bactérias solubilizadoras de fosfato disponibilizam P solúvel e as plantas proporcionam um ambiente favorável, rico em nutrientes, liberando aminoácidos, carboidratos, entre outros compostos, além de proporcionar uma maior extensão da área de absorção por meio de suas raízes. Silva et al. (2022) observaram que o cultivo de leguminosas possibilitou o aumento no número de microrganismos responsáveis pela solubilização de P, com destaque para o cultivo de

crotalária. Assim, a utilização de leguminosas demonstrou ser uma técnica eficiente para incremento de bactérias solubilizadoras de fósforo.

Resultados promissores com co-inoculação de *B. subtilis* foi obtido no trabalho de Miranda et al. (2020) notando-se elevação no acúmulo de P na parte aérea em cultivares de soja avaliada.

A inoculação de bulbilhos de alho com a associação de pseudomonas (isolado CBS02) + *Bacillus* (isolado EB17), contribuiu para o aumento do tamanho da quarta folha, no teor de P na folha, na massa seca e na produção de alho. Os resultados sugeriram que os dois isolados associados foram capazes de promover desenvolvimento vegetal, mesmo na ausência de adubação fosfatada, sugerindo capacidade de solubilização de P em condições de campo (MAZZUCO, 2020).

### 3.7 Prolina como indicador de estresse abiótico

A prolina destaca-se entre todos os outros aminoácidos devido à sua estrutura única com seu grupo  $\alpha$ -amino como uma amina secundária, além de possuir uma estrutura cíclica distinta que causa excepcional rigidez conformacional à estrutura da proteína (KAVI KISHOR et al., 2015).

Além disso, o aminoácido prolina é uma importante fonte de matriz da parede celular, desempenha um papel fundamental no desenvolvimento da planta, como componente das proteínas da parede celular, mas a compreensão de suas diversas funções parece ser enigmática. As paredes celulares contêm O-glicoproteínas ricas em hidroxiprolina como macromoléculas complexas com estruturas e funções variadas e abrangem uma ampla categoria de proteínas extracelulares (KAVI KISHOR et al., 2015).

Nas plantas, a prolina é sintetizada nos tecidos foliares por duas rotas, que são via glutamato e da ornitina, sendo assim as concentrações desse aminoácido são mais pronunciadas nas folhas do que nas raízes ou frutos (HAYAT et al., 2012). O acúmulo desse aminoácido, um dos solutos osmocompatíveis mais comuns nas plantas sob estresse, é considerado uma das primeiras respostas metabólicas (CARVALHO et al., 2020).

Segundo Bianchi et al. (2016) quando a planta atinge condições severas de déficit hídrico, favorece a formação de espécies reativas de oxigênio (ROS), que promovem vários danos a planta, levando à degradação dos pigmentos fotossintéticos, sistema de membrana, proteínas e ácidos nucleicos (BIANCHI et al., 2016). A prolina é um aminoácido livre que atua na redução do potencial osmótico, tanto nas estruturas de membrana, protegendo as

células dos efeitos negativos provocados pelo déficit hídrico quanto nas funções de proteção da célula contra as ROS (BORGIO et al., 2015).

O déficit hídrico provoca modificações na composição das células das plantas, levando em muitos casos à produção e acúmulo de substâncias osmoticamente ativas. Este processo, conhecido como osmorregulação, é um componente de grande importância no processo de tolerância à seca em várias espécies (SANTOS et al., 2010).

Visto na literatura, a prolina, além de ser uma importante fonte de energia, atua como mitigadora de estresses abióticos e bióticos (SHARMA et al., 2011; SZABADOS E SAVOURE, 2010; CECCHINI et al., 2011; LIANG et al., 2013; LIMA et al., 2023).

Quiriban e Cardozo (2017), ao estudarem quatro genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) sob suspensão da irrigação por 15 dias no início do alongamento do caule, observaram que o déficit hídrico induziu o maior acúmulo de prolina nas cultivares sob restrição hídrica, concluindo que a concentração de prolina acumulada pode ser usada como um indicador bioquímico de tolerância à seca em trigo. Cacefo (2020) ao analisar plantas de tabaco selvagens e transgênicas submetidas a déficit hídrico, observou que o efeito do déficit hídrico foi menos evidente devido ao aumento do teor de prolina, além disso, a prolina atuou como mitigador das deficiências nutricionais causadas por estresse abiótico. Nascimento et al. (2019) ao analisarem mudas de seringueira em resposta à deficiência hídrica, observaram aumento nas concentrações de prolina sugerindo que o acúmulo de prolina pode mitigar os efeitos deletérios causados pela restrição hídrica.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Implantação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em condições de campo, na sede da Embrapa Algodão, localizada em Campina Grande, PB (07°13'S; 53°31'W) no período de fevereiro a julho de 2022. Foi utilizada a cultivar de gergelim BRS Morena.

O solo foi previamente analisado no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Embrapa Algodão (Tabela 1), pelo método descrito por Silva (2009) e corrigido de acordo com a necessidade da cultura. Na fundação foram aplicados cloreto de potássio (KCl) e micronutrientes para os demais tratamentos, conforme recomendações de Gomes e Coutinho (1998), com base na análise do solo.

**Tabela 1.** Análise dos componentes físico-químicos do solo (Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Algodão, Campina Grande, PB, 2022).

pH	Complexo Sortivo (mmolc/dm <sup>3</sup> )							%	mmolc/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	g/kg
	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	S	H+Al	T				
6,0	23,2	6,9	0,3	2,8	33,2	12,4	45,6	72,8	0,0	105,8	9,7

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2023

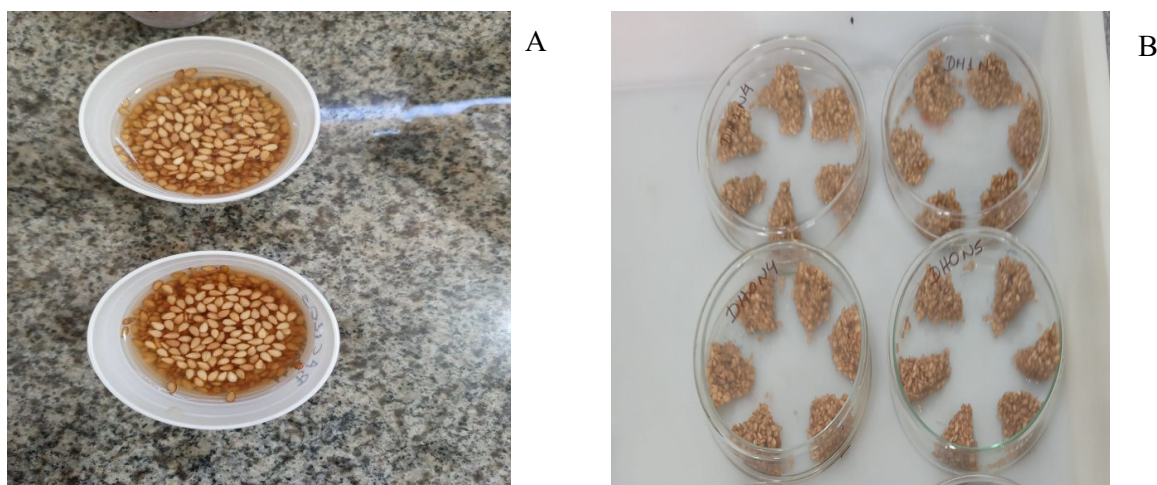
pH – Concentração de hidrogênio em solução do solo; Ca<sup>+2</sup> - Cálcio; Mg<sup>+2</sup> - Magnésio; Na<sup>+</sup> - Sódio; K<sup>+</sup> - Potássio; S - enxofre; H+Al - Acidez potencial ou total; T – Capacidade de troca catiônica (CTC) subtraída da soma de bases (SB) mais o alumínio (Al); V – Saturação por base; Al<sup>+3</sup> – Acidez trocável; P – Fósforo; M.O. – Matéria orgânica.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com um arranjo fatorial de 5 x 2: cinco manejos, sendo três inoculantes à base de bacilos (ESA 402 e M143, estirpes cedidas pela Embrapa Semiárido, Petrolina, PE e *B. subtilis* estirpe pant001, cedido pela empresa Geoclean/UFMT), um manejo com nitrogênio químico (sulfato de amônio, SAM; 21% de N), um tratamento sem nitrogênio (testemunha absoluta); e dois regimes hídricos (com irrigação diária e com suspensão temporária da irrigação suplementar); com 3 repetições.

As sementes de gergelim foram desinfestadas com etanol puro por 30 segundos, hipoclorito de sódio 1% por 3 minutos e por fim lavadas 10 vezes com água destilada estéril

para retirada de qualquer tipo de resíduo (VINCENT, 1970). Em seguida as sementes (10 g de sementes para cada tratamento) foram imersas nos inoculantes (Figura 2A). Após 10 minutos de incubação as sementes foram levadas ao campo e distribuídas de acordo com o tratamento (Figura 2B), em sulcos no solo com aproximadamente 2 cm de profundidade.

**Figura 1.** (A) Sementes da cultivar BRS Morena imersas em inoculantes. (B) Sementes inoculadas prontas para semeadura no campo.



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2023

A semeadura no campo foi realizada no dia 21 de fevereiro de 2022. Antes da semeadura, foi efetuada uma irrigação em toda a área até a capacidade de campo. No dia seguinte à semeadura, o manejo de irrigação foi realizado diariamente em dias não chuvosos, em dois turnos de rega, nas primeiras horas da manhã e ao fim da tarde, uma irrigação de 4 minutos para cada tratamento, para assegurar uma boa germinação das sementes.

Foi utilizado sistema de irrigação por gotejamento, com mangueiras de diâmetro 17 mm e vazão de  $1.6 \text{ mL s}^{-1}$  com espaçamento de 20 cm. Para suprir a necessidade da cultura, sem causar danos e não afetar o desenvolvimento das plantas, todos os tratamentos foram irrigados, por 4 minutos, diariamente, quando não havia chuvas, pois ocorreu pluviosidade na época do plantio. No período de estresse (suspensão da rega para analisar se os tratamentos inoculados com bacilos iriam atenuar a restrição hídrica) só foram irrigados os tratamentos da condição irrigada.

Após 16 dias da emergência das plântulas foi realizado o desbaste, deixando-se apenas 20 plantas por parcela. A Fertilização com nitrogênio (N) para o tratamento nitrogenado,

foram distribuídos em duas aplicações, a primeira aos 21 dias após a emergência (DAE) e a segunda no início da floração (32 DAE) (Figura 1). Aos 35 dias após a emergência, a rega foi suspensa durante 6 dias. Contudo, durante a suspensão da rega ocorreu precipitação pluviométrica de 18,60 mm. Nesse período, as plantas da condição irrigada receberam irrigação suplementar, tendo em vista que a pluviosidade foi insuficiente para manter a umidade próximo à capacidade de campo.

**Figura 2.** Fertilização com nitrogênio: (A) 21 dias após a emergência; (B) início da floração (32 DAE).



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2023

Foram realizadas duas capinas, com uso de enxada, a primeira aos 30 dias após a emergência das plântulas e, a segunda, antes do florescimento, visando a manter a cultura livre de plantas invasoras e de insetos.

#### 4.2 Cultivo das bactérias e preparo dos inoculantes

As cepas ESA 402 e M143 foram estriadas em placas de petri contendo meio sólido LB (Luria Bertani), extrato de levedura 2,5 g, triptona 5 g, NaCl 5 g e ágar 7 g e incubadas por 24 horas a 28 °C (EMBRAPA, 1999). Em seguida, foi coletada uma colônia bacteriana de cada placa e inoculada em um tubo Falcon (50 mL) esterilizado, contendo 20 mL de meio líquido LB. Os inóculos foram então incubados em Shaker a 28 °C, 180 rpm, por 72 horas. A densidade óptica (DO) foi avaliada em espectrofotômetro com comprimento de onda de 540

nm. Uma alíquota de 1 mL de cada inoculante foi utilizada para avaliar e mensurar as unidades formadoras de colônias (UFC mL<sup>-1</sup>) e padronizar em 1 x 10<sup>9</sup> células mL<sup>-1</sup>. O pH dos inoculantes foi analisado, utilizando-se de um pHmetro. O inoculante contendo a cepa pant001 foi fornecido pela empresa Geoclean e, juntamente com as bactérias subcultivadas em meio líquido, foram utilizadas diretamente na inoculação das sementes.

#### 4.3 Variáveis agronômicas

Foram avaliadas as seguintes características: altura de planta (cm), medida desde a base até o ápice da haste principal da planta e altura do primeiro fruto (utilizando-se de uma trena métrica), número de cápsulas por planta; diâmetro de cápsulas; comprimento de cápsulas; número de cápsulas abertas por planta; massa seca da parte aérea (g) e de raízes (g), determinadas pela secagem do material em estufa, com circulação forçada de ar à temperatura de 65 °C, durante, aproximadamente, 72 horas, até atingir massa constante, e pesagem em balança de precisão; peso total das sementes e peso de 1000 sementes.

#### 4.4 Análise de nitrogênio em folhas

A análise de nitrogênio total da parte aérea das plantas seguiu o método de digestão sulfúrica desenvolvido por Kjeldahl conforme Bezerra Neto e Barreto (2011). Ao final do ciclo da cultura a parte aérea foi coletada e colocada em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C por 72 horas e depois triturada em moinho de facas. Uma alíquota de material vegetal seco (1 mg), 50 mg de sulfato de sódio, 0,5 mg sulfato de cobre (5%) e 5 mL de ácido sulfúrico foram misturados para a pré-digestão a frio, em temperatura ambiente, durante 12 horas. Em seguida a solução foi aquecida em um bloco digestor a 350 °C até que toda matéria orgânica fosse dissolvida e a solução estivesse com cor clara. Uma alíquota de 1 mL do extrato digerido foi adicionada a um balão volumétrico (50 mL) contendo 40 mL de água deionizada, 1 mL de hidróxido de sódio (10%), 1 mL de silicato de sódio (10%) e 2 mL do reagente de Nessler; o volume foi completado com água deionizada para 50 mL. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 410 nm. A partir do teor de nitrogênio foi calculado o nitrogênio acumulado na parte aérea, multiplicando-se o teor de nitrogênio pela massa seca da parte aérea, de acordo com Alcantara et al. (2014).

#### 4.5 Análise de fósforo em folhas

Ao final do ciclo da cultura, a parte aérea das plantas foi coletada e colocada em estufa de circulação forçada a 65 °C por 72 horas e depois triturada em moinho de facas. Uma alíquota de material vegetal seco (2 mg) e 5,0 mL de solução analítica de fósforo foi adicionado no tubo de ensaio com 10 mL da solução diluída de molibdato, aproximadamente, 40 mg de ácido ascórbico, seguido de agitação até haver homogeneização. Após 30 minutos, efetuou-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 660 nm (NOGUEIRA e SOUZA 2005).

#### 4.6 Teor de prolina livre

Para o teor de prolina livre 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 solução 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, 0,1 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-se 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 P.A (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.

Em sequência, as amostras foram submetidas 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 tubo de ensaio hermeticamente fechado e aquecido, durante 1 hora a 100 °C, com resfriamento em gelo, logo em seguida. Para a leitura foram adicionados 2 mL de tolueno para suspender o material orgânico, e a avaliação foi 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).

#### 4.7 Análise de pigmentos fotossintéticos



Os teores de clorofila *a*, *b* e total (*a+b*) e de carotenoides foram determinados a partir do método de extração em acetona 80% (LICHTENTHALER, 1987). Todo procedimento foi realizado na presença de luz verde, evitando-se, assim, a degradação da clorofila. Nessa metodologia, 100 mg do tecido vegetal foram macerados em N<sub>2</sub> líquido e carbonato de cálcio, depois solubilizados em 10 mL de acetona 80%. Posteriormente, a solução foi filtrada em papel filtro qualitativo e os valores de absorvância (ABS) foram determinados a: 470; 646,8; 663,2; e 710 nm.

#### 4.8 Análises estatísticas

Os resultados relativos às características agronômicas, avaliações de nitrogênio e fósforo, teor de prolina e dados dos pigmentos fotossintéticos foram submetidos a análise de variância, usando o programa estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2014), submetidos à análise de variância ( $p < 0,05$ ) e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) e as condições hídricas foram comparadas pelo teste T de Student ( $p < 0,05$ ). Os gráficos foram elaborados com o auxílio do programa Graphpad prism 9.5.0.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Variáveis agronômicas

Ao terceiro dia após semeadura, observou-se o início da emergência das plântulas de gergelim que ficou completa no sexto dia. A floração se iniciou aos 32 dias após a emergência (DAE). A maturação dos frutos, por sua vez, iniciou-se aos 110 dias após a emergência, fechando o ciclo aos 145 dias. Ao longo do ciclo observaram-se diferentes formatos de folhas, sendo as primeiras folhas ovaladas, largas e lanceoladas, surgindo, posteriormente, as com formato de fenda e trifoliadas. O aparato foliar é de grande importância para o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, para a produção de qualquer cultura (GRILO e AZEVEDO, 2013).

Ao suspender a rega durante 6 dias, mesmo havendo precipitação de 18,60 mm, foi possível notar o abortamento de flores nas plantas estressadas. Algumas das características das plantas para sobreviver ao estresse hídrico é a redução do crescimento, redução da sua área de superfície por queda de folhas ou produção de folhas menores e abortamento de flores (FARROQ et al., 2009).

Ao se analisar as características agronômicas (tabela 2), observou-se significância a ( $P \leq 0,01$ ) para as características agronômicas: altura de plantas (ALT), altura do 1º fruto, massa da parte aérea seca (MPAS) e massa da raiz seca (MRS).

**Tabela 2.** Resumo das características agronômicas: altura de plantas (ALT), altura do 1º fruto, massa da parte aérea seca (MPAS) e massa da raiz seca (MRS) do gergelim BRS Morena inoculado com bacilos, sob restrição hídrica.

Fonte de variação	GL	Variáveis			
		ALT	A1ºfruto	MPAS	MRS
Regime Hídrico	1	0.175874*	142.75517	36.920832	178.7446*
Tratamentos	4	0.072168*	152.09492*	67.931598	63.5564 *
Regime Hídrico X tratamentos	4	0.027771	117.27528	30.415701*	57.7676
Blocos	2	0.033236	11.07423	2.146186	9.81247
Erro	18	0.012088	31.89383	4.387421	7.99796
CV (%)		5,64	10,88	7,77	16,63
Média Geral		1,95	51,88	26,96	17,00

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2023

\*Significativo ( $P \leq 0,01$ ).

Ao se analisar a variável altura da planta (ALT) (Figura 3A), foi possível identificar diferença estatística entre os regimes hídricos. Na condição irrigada, as plantas inoculadas com ESA 402 obtiveram a maior média (2,21 m), não diferindo estatisticamente dos tratamentos com nitrogênio, sem nitrogênio e M 143. Nos tratamentos sob restrição hídrica, apesar do tratamento sem nitrogênio apresentar a maior média (2,02 m) não diferiu estatisticamente dos tratamentos com ESA 402, com nitrogênio e pant001. Sendo assim, as plantas inoculadas com bacilos demonstraram interação satisfatória para altura das plantas mesmo sob restrição hídrica. A altura de planta influencia diretamente na produtividade dos genótipos de gergelim (VASCONCELOS et al., 2010), portanto, é uma característica a ser considerada na avaliação da produção.

Em pesquisas de autores diferentes ficou demonstrada a capacidade de rizobactérias promoverem o crescimento vegetal em arroz (FERNANDES-JÚNIOR et al., 2015), milho (MATSUO et al., 2022), feijão (PATEL et al., 2014) e sorgo (SILVA et al., 2018). Esses dados corroboram com esta pesquisa, tendo em vista que os tratamentos com bactérias tiveram aumento significativo em relação a ALT.

Tendo como base os resultados estatísticos para a variável altura do primeiro fruto (Figura 3B), observou-se diferença estatística entre os tratamentos sob restrição hídrica, ESA 402 apresentou a maior média (60,33 cm) não diferindo dos tratamentos com M 143 e com nitrogênio. Na condição irrigada não houve diferença estatística entre todos os tratamentos. Vasconcelos et al. (2010) observou que quanto maior a altura de inserção do primeiro fruto, mais tardio se tornou o ciclo do genótipo de gergelim. Corroborando com esta pesquisa ao qual foi observado que os tratamentos inoculados com bacilos e com nitrogênio sob restrição hídrica tiveram retardação do ciclo em comparação com o tratamento sem nitrogênio.

Quando avaliada a massa da parte aérea seca (MPAS) (Figura 3C), na condição sob restrição hídrica, os tratamentos, sem nitrogênio (32 g), com nitrogênio (30 g) e ESA 402 (29 g), não diferiram estatisticamente. Na condição irrigada o tratamento nitrogenado obteve a maior média (33 g) diferindo dos demais tratamentos. Conforme Dias et al. (2022) um maior acúmulo de biomassa na parte aérea, mesmo em condições de déficit hídrico, pode assegurar a manutenção na produtividade da cultura.

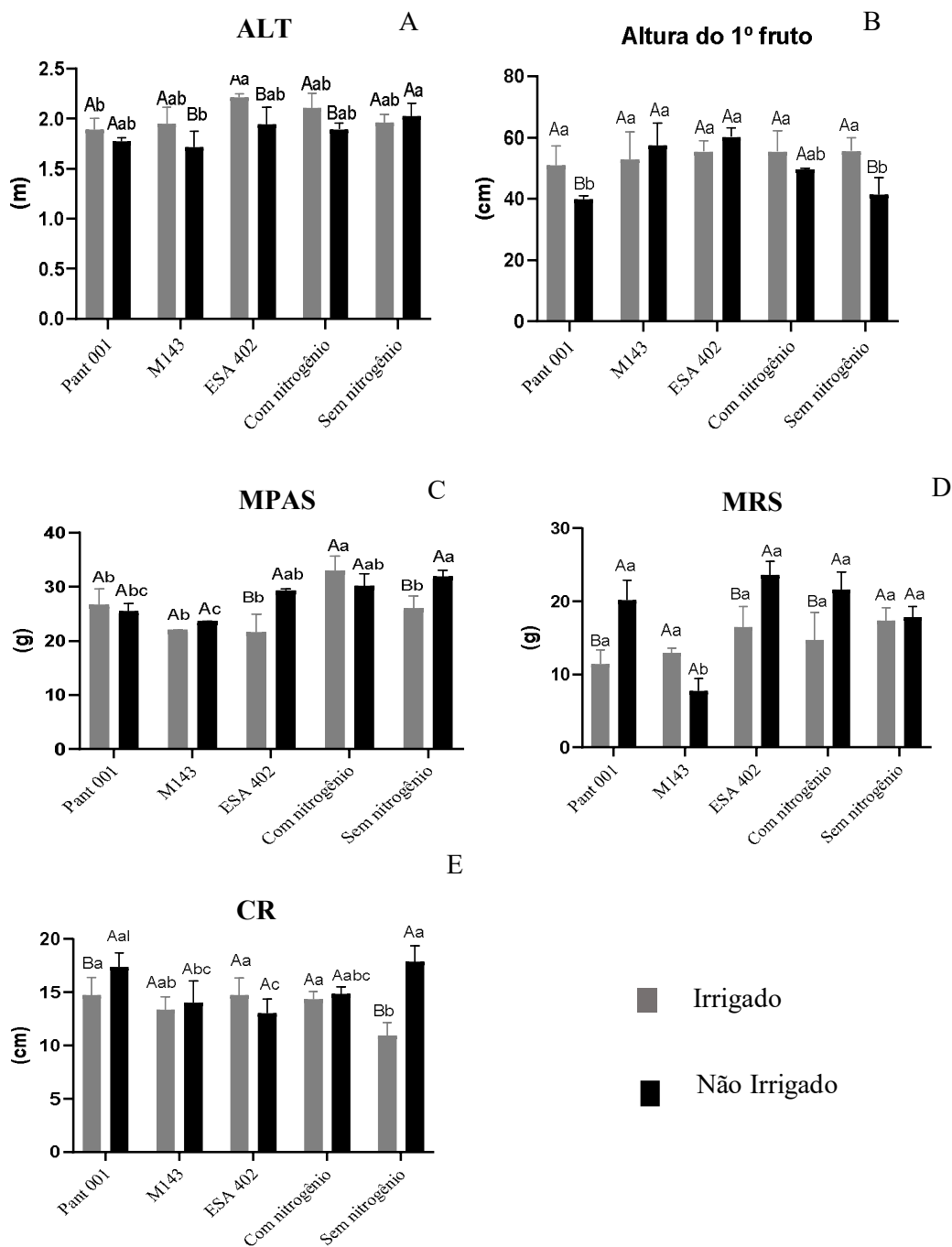
Ao isolar rizobactérias para avaliar seu potencial no crescimento vegetal e tolerância ao estresse abiótico em milho, Santos et al. (2020) obtiveram resultados positivos em relação ao aumento da massa da parte aérea seca em condições de déficit hídrico, demonstrando a eficiência de bactérias como promotoras de crescimento. Cerqueira et al. (2015) ao testarem a influência de bactérias do gênero *Bacillus* sobre o crescimento de feijão

comum (*Phaseolus vulgaris* L.) também obtiveram resultados positivos, com incremento significativo sobre a massa da parte aérea seca.

A massa da raiz seca (MRS) (Figura 3D), na condição irrigada, não apresentou diferença estatística entre os tratamentos. Na condição sob restrição hídrica os tratamentos com ESA 402 e pant001 obtiveram as maiores médias, seguidos dos tratamentos com nitrogênio e sem nitrogênio. O que provavelmente pode melhorar a exploração do solo pelo sistema radicular, promovendo maior adaptação ao déficit hídrico e incremento a produtividade. De maneira geral a maioria das plantas inoculadas com bacilos tiveram aumento da MRS. Ao avaliar o desempenho de bactérias promotoras de crescimento para atenuar o déficit hídrico em sorgo, Santana et al. (2020) observaram que mesmo as plantas sofrendo o estresse de seis dias, aquelas inoculadas com ESA 15 apresentaram as maiores médias de massa de raízes secas em relação às plantas dos demais tratamentos sob déficit hídrico.

Em relação ao comprimento da raiz (CR) (Figura 3E), na condição irrigada o tratamento com ESA 402 obteve a maior média (14,71 cm), todos os tratamentos diferiram estatisticamente do tratamento sem nitrogênio que obteve a menor média (10,95 cm). Na condição sob restrição hídrica, o tratamento sem nitrogênio obteve a maior média não diferindo dos tratamentos pant001 e com nitrogênio. Um sistema radicular bem desenvolvido, com alto nível de exploração do solo é fator determinante para a sobrevivência e a produtividade das culturas em condições de déficit hídrico (RAMAMOORTHY et al., 2016). Observa-se, portanto, que os tratamentos com ESA 402 e pant001 foram favorecidos pelos inoculantes para CR.

**Figura 3.** Variáveis agrônômicas: (A) Altura de planta (ALT); (B) Altura do primeiro fruto; (C) Massa da parte aérea seca (MPAS); (D) Massa da raiz seca (MRS); (E) Comprimento da Raiz (CR). Letras minúsculas comparam os tratamentos; letras maiúsculas comparam os regimes hídricos dentro de cada tratamento.



Fonte: Elaborada pela autora, 2023

**Tabela 3.** Resumo das características agronômicas: peso total de sementes (PTS), peso de mil sementes (PMS), número de cápsulas (NC), cápsulas fechadas (CF) do gergelim BRS Morena inoculado com bacilos, sob restrição hídrica.

Fonte de variação	GL	Variáveis			
		PTS	PMS	NC	CF
Regime Hídrico	1	22930.1453	0.017280	2813.0664	21.109241
Tratamentos	4	44300.7179*	0.120500*	4324.0325*	2461.6232*
Regime Hídrico X tratamentos	4	32245.3294*	0.059080	2606.1509*	3855.2128*
Blocos	2	1454.43649	0.046003	314.1785	192.59496
Erro	18	1824.32607	0.045903	134.9150	175.10017
CV (%)		10,57	5,86	9,49	20,07
Média Geral		404,16	3,65	122,40	65,92

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2023

\*Significativo ( $P \leq 0,01$ ).

Para o peso total de sementes (Figura 4A), na condição sob restrição hídrica o tratamento nitrogenado (540 g), pant001 (475 g) e ESA 402 (432 g) obtiveram as maiores médias, um incremento de 133,76%, 105,62% e 74,0%, respectivamente, comparado ao tratamento sem nitrogênio (231 g) (controle). Na condição irrigada o tratamento com nitrogênio (505 g) obteve a maior média não deferindo estatisticamente dos tratamentos ESA 402 (444 g), M 143 (431 g) e sem nitrogênio (417 g).

Senger et al. (2022) ao testarem *Bacillus* inoculados em milho e soja, obtiveram resultados positivos, o *Bacillus simplex* (cepa SYM00260) aumentou significativamente a produção de milho e de soja em comparação com os dois controles não inoculados. Os autores ainda afirmaram que a inoculação com *bacillus* pode ser benéfica em situações de alto estresse, pois obtiveram na produtividade do milho, mesmo em condições de déficit hídrico, um aumento significativo de 24%. Cerqueira et al. (2015) também testaram a influência de bactérias do gênero *Bacillus* sobre o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e observaram um incremento significativo na produção de sementes. Santos (2022) ao analisar tratamento com nitrogênio químico e bacilos (ESA 402; pant001 e M143) inoculados na cultivar BRS Morena, como mitigador de déficit hídrico, para o peso total de sementes, observou que todas as plantas inoculadas com bacilos produziram mais do que as plantas sem nenhum fertilizante na condição de restrição hídrica. Esses dados corroboram com está pesquisa que mesmo em condições de restrição hídrica a produção final de sementes foi eficiente nos tratamentos com bacilos, o que pode ser atribuído a eficiência da inoculação com bactérias para a produção do gergelim.

Oliveira-Paiva et al. (2021) utilizando as bactérias (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) conduziram a cultura da soja em 415 locais na safra 2020/2021, obtivendo bons resultados na produtividade, tendo em vista que em todos os plantios a produtividade de grãos foi maior nas áreas inoculadas via semente em relação a testemunha.

O peso de mil sementes (Figura 4B) na condição sob restrição hídrica, os tratamentos pant001 (3,77 g), com nitrogênio (3,70 g) e ESA 402 (3,58 g) obtiveram as maiores médias, aumento de 20,83%, 18,59% e 14,74%, respectivamente, um incremento significativo ao comparar com o tratamento sem nitrogênio (3,12 g) (controle). Na condição irrigada, M 143 (3,99 g) obteve a maior média não diferindo dos tratamentos ESA 402 (3,62 g) e com nitrogênio (3,62 g), o tratamento sem nitrogênio (3,46 g) obteve a menor média. Em ambas condições de regime hídrico as plantas inoculadas com bactérias e com nitrogênio obtiveram as maiores médias comparadas ao tratamento sem nitrogênio.

Estes dados corroboram com o trabalho de Santos (2022) que testou a mesma cultivar BRS Morena com bacilos em casa de vegetação, sob estresse hídrico e obteve resultados semelhantes. Lima et al. (2023) ao analisarem o efeito de bacilos na mitigação do estresse hídrico; as interações de BRS Anahi x ESA 13 e BRS Seda x ESA 402 promoveram os maiores aumentos no peso de mil sementes com 42% e 34%, respectivamente. Na condição irrigada, observou-se que todos os inoculantes a base de bacilos, promoveram aumento de até 34% para o peso de mil sementes em ambas as cultivares. Evidenciando mais uma vez que a inoculação com rizobactérias é uma alternativa viável para o aumento da produção de grãos, mesmo em condições de déficit hídrico.

Não houve diferença estatística em relação ao comprimento de cápsulas (Figura 4C), entre os tratamentos tanto na condição irrigada quanto na condição sob restrição hídrica, porém as maiores médias entre os tratamentos em ambos os regimes hídricos foram dos tratamentos inoculados com bactérias, pant001 na condição sob restrição hídrica e M 143 na condição irrigada. Resultado similar foi observado no diâmetro de cápsulas (Figura 4D), que mesmo não havendo diferença estatística entre os regimes, as maiores médias foram dos tratamentos inoculados com bactérias, com ESA 402 na condição não irrigado e M 143 na condição irrigada, demonstrando que a inoculação com bactérias pode influenciar no desenvolvimento das cápsulas.

O número de cápsulas por planta (Figura 4E) está relacionado a produção final, tendo em vista que quanto mais cápsulas por planta mais sementes. Ao analisar a condição sob restrição hídrica, as plantas inoculadas com as bactérias pant001 e ESA 402 obtiveram as

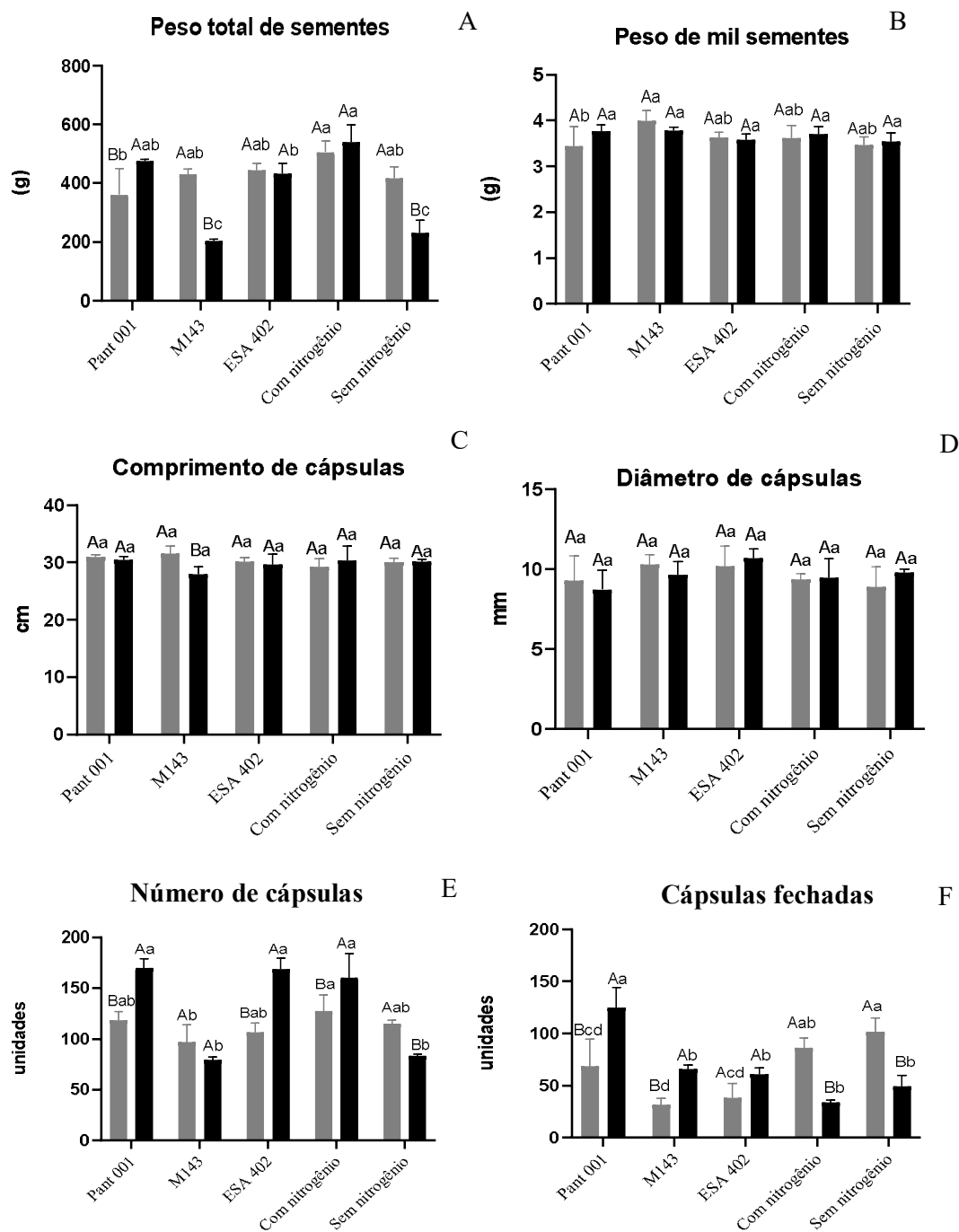
maiores médias, porém não diferiram do tratamento com nitrogênio. O que sugere que as inoculações com esses bacilos podem ter ajudado no aumento da produção de cápsulas, mesmo as plantas estando em restrição hídrica. O pant001 obteve um incremento de 44% ao comparar com a condição irrigada.

Em síntese, as plantas inoculadas com bacilos demonstraram uma interação positiva. Carvalho et al. (2023) ao testarem diferentes dosagens de *B. subtilis* pant001 no intuito de promover o crescimento de plantas de soja, obtiveram resultados positivos em relação ao número de vagens, que foi maior que o controle absoluto.

Uma das perdas na produção é a abertura das cápsulas no campo, devido a deiscência dos frutos (ARRIEL et al., 2007). Ao analisar o número de cápsulas fechadas (figura 4F) na condição irrigada o tratamento sem nitrogênio e com nitrogênio obtiveram as maiores médias de abertura de cápsulas, já os tratamentos com bacilos (pant001, ESA 402 e M 143) tiveram uma diminuição da abertura de cápsulas no campo, sugerindo que as bactérias podem influenciar na abertura dos frutos. Sob restrição hídrica, o tratamento com pant001 obteve média superior aos demais tratamentos.



**Figura 4.** Características agrônômicas: (A) Peso total de sementes (PTS); (B) Peso de 1000 sementes (PMS); (C) Comprimento de cápsulas (CC); (D) Diâmetro de cápsulas (DC); (E) Número de cápsulas (NC); e (F) Cápsulas fechadas (CF). Obs.: Letras minúsculas comparam os tratamentos; letras maiúsculas comparam os regimes hídricos dentro de cada tratamento.



■ Irrigado

■ Não Irrigado

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2023

## 5.2 Análise de nitrogênio e fósforo em folhas de gergelim BRS Morena

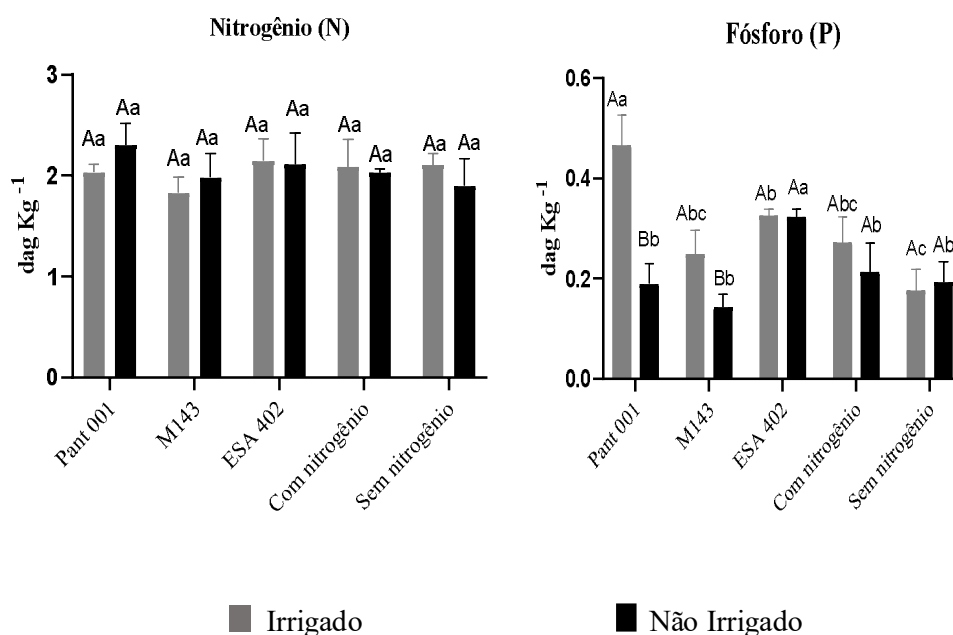
Observa-se na figura 5 o acúmulo de N e P nas folhas de gergelim. O teor de N não diferiu estatisticamente entre os tratamentos tanto na condição irrigada quanto na condição sob restrição hídrica (Figura 5A). Apesar de não diferir estatisticamente na condição sob restrição hídrica o tratamento pant001 obteve a maior média e o tratamento sem nitrogênio a menor média. Na condição irrigada o tratamento ESA 402 obteve a maior média. A deficiência de N inibe o crescimento da planta e, se persistir, induz clorose generalizada, especialmente nas folhas velhas, podendo levar à queda da folha. Já o excesso de N atrasa a maturação dos frutos (MENDES et al., 2015).

Resultados similares foram encontrados por Santana et al. (2020), esses autores registraram o acúmulo de N em folhas de sorgo com plantas inoculadas com bacilos e sob condição de déficit hídrico. De acordo com Aquino et al. (2019), isolados de bacilos aumentaram potencialmente o acúmulo de N em milho e sorgo. Os resultados do nosso trabalho juntamente com esses dados relatados na literatura sugerem que os bacilos podem ter contribuído para uma melhor assimilação do N nas plantas e levantam uma hipótese que não só os rizóbios promovem a fixação de N, contudo, é importante que estudos mais específicos sejam realizados para confirmar essa suposição.

O teor de P na condição irrigada teve a maior concentração no tratamento com pant001, diferindo dos demais tratamentos, já o tratamento sem nitrogênio obteve a menor média. Na condição sob restrição hídrica o tratamento com ESA 402 obteve a maior concentração (Figura 5B). Resultados semelhantes em relação a utilização do *B. subtilis* pant001 foram observados por Carvalho et al. (2023) em soja, o tratamento com pant001 apresentou maior eficiência de aproveitamento do P, diferindo dos demais tratamentos.

Esses achados destacam a importância do uso de inoculantes nas culturas para melhoria de vários aspectos, como tolerância aos estresses abióticos, passando pelo aspecto nutricional, o que reflete diretamente no aumento da produção. O fósforo é de extrema importância para o desenvolvimento da semente, alongamento da raiz e maturidade da planta. Apesar de conter o elemento em grandes quantidades no solo, a maioria dele não está disponível para a planta devido a limitação de solubilidade em água (AL-TAMMAR e KHALIFA, 2022).

**Figura 5.** Análise de nitrogênio e fósforo em folhas de gergelim BRS Morena. Obs.: Letras minúsculas comparam os tratamentos; letras maiúsculas comparam os regimes hídricos dentro de cada tratamento. Obs.: Letras minúsculas comparam os tratamentos; letras maiúsculas comparam os regimes hídricos dentro de cada tratamento.



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2023

### 5.3 Teor de prolina

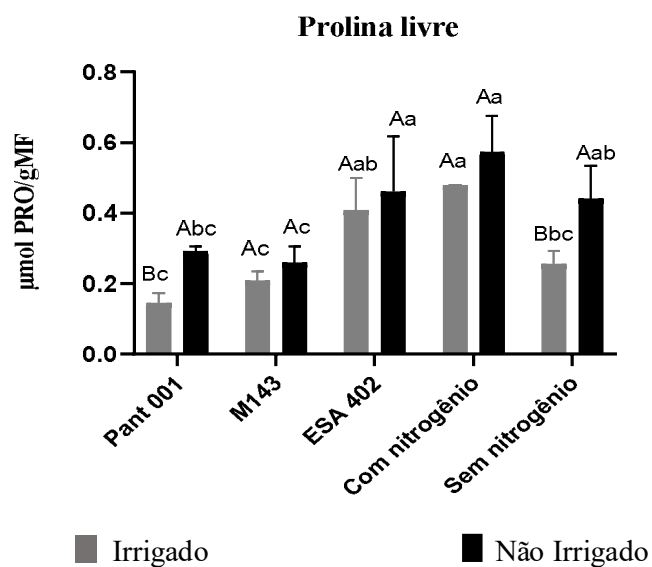
A análise do teor de prolina livre nos tecidos revelou uma concentração significativa para todos os tratamentos sob restrição hídrica, a maior média entre os tratamentos foi na condição com nitrogênio, não diferindo de ESA 402 e sem nitrogênio; contudo, quando comparado aos respectivos tratamentos irrigados houve incremento de 19,95%, 13,26% e 72,27% (Figura 6). Uma possível forma de realizar a osmoproteção das células contra diversos estresses, inclusive a seca, é através da prolina (BIANCHI et al., 2016). O ajuste osmótico possibilita diminuir a taxa de declínio do volume celular e atrasar efeitos prejudiciais sobre a capacidade de transporte de elétrons na fotossíntese (CANAVAR et al., 2014).

O acúmulo de prolina é a primeira resposta de plantas expostas ao estresse hídrico para reduzir os danos às células. O aumento do teor de prolina em células vegetais submetidas a estresse hídrico tem sido sugerida como um mecanismo de ajuste osmótico. O aumento de

osmólitos permite a absorção de água pelos tecidos vegetais, garantindo que sua fisiologia permaneça estável sob estresse (MELO et al., 2022). Arteaga et al. (2020) constataram que a prolina foi indicativo de tolerância a salinidade e ao estresse hídrico para cultura do feijão.

Visto na literatura, alguns trabalhos indicam uma alta correlação entre o acúmulo de prolina e o aumento da tolerância ao déficit hídrico (ANJUM et al., 2011; SHARMA et al., 2011; LUM et al., 2014; GUIRRA et al., 2022; LEITE et al., 2022).

**Figura 6.** Concentração de prolina livre em função da restrição hídrica em plantas de gergelim inoculadas com bacilos. Obs.: Letras minúsculas comparam os tratamentos; letras maiúsculas comparam os regimes hídrico dentro de cada tratamento.



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2023

**Tabela 4.** Resumo do teor de nitrogênio, fósforo e prolina livre do gergelim BRS Morena inoculado com bacilos, sob restrição hídrica.

Fonte de variação	GL	Variáveis		
		Teor de N	Teor de P	Prolina livre
Regime Hídrico	1	0.004813	0.055470*	0.085502
Tratamentos	4	0.064708	0.028072*	0.103543*
Regime Hídrico X tratamentos	4	0.052588	0.020562*	0.005128
Blocos	2	0.094023	0.000443	0.017226
Erro	18	0.037657	0.001891	0.004601
CV (%)		9,45	17,01	19,29
Média Geral		2,05	0,25	0,35

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2023

\*Significativo ( $P \leq 0,01$ ).

#### 5.4 Pigmentos fotossintetizantes

Ao analisar os pigmentos fotossintetizantes (Figura 7) mesmo com a restrição hídrica, os tratamentos com nitrogênio, pant001 e ESA 402 obtiveram as maiores médias, demonstrando uma interação positiva, aumentando a concentração de clorofila a, b e total. E sendo significativo a ( $P \leq 0,01$ ) nos tratamentos (tabela 5). Na condição irrigada os tratamentos com ESA 402 e pant001 obtiveram as maiores médias.

**Tabela 5.** Resumo da análise de pigmentos fotossintéticos: clorofila a, b, total e carotenoides em plantas de gergelim inoculadas com bacilos e com restrição hídrica.

Fonte de variação	GL	Variáveis			
		clorofila a	clorofila b	total	Carotenoides
Regime Hídrico	1	0.104312	0.001080	0.002940	0.005495
Tratamentos	4	0.722429*	0.054716*	0.769119*	0.027343*
Regime Hídrico X tratamentos	4	0.104690*	0.004538	0.169698	0.001336
Blocos	2	0.076291	0.002528	0.029381	0.003632
Erro	18	0.024897	0.003270	0.040646	0.001229
CV (%)		10,14	10,31	9,81	8,64
Média Geral		1,55	0,55	2,05	0,40

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2023

\*Significativo ( $P \leq 0,01$ ).

Os pigmentos fotossintéticos são de extrema importância para as plantas, principalmente para captação de luz. Tanto a clorofila a como b são propensos à danos

causados pelo déficit hídrico (Farooq et al., 2009). A perda do conteúdo de clorofila sob estresse hídrico é considerada uma das principais causas de inativação de fotossíntese (ANJUM et al., 2011). A redução dos conteúdos de pigmentos fotossintéticos se dá pela ativação da enzima clorofilase, que degrada as moléculas de clorofila (NEVES e SPAT, 2013).

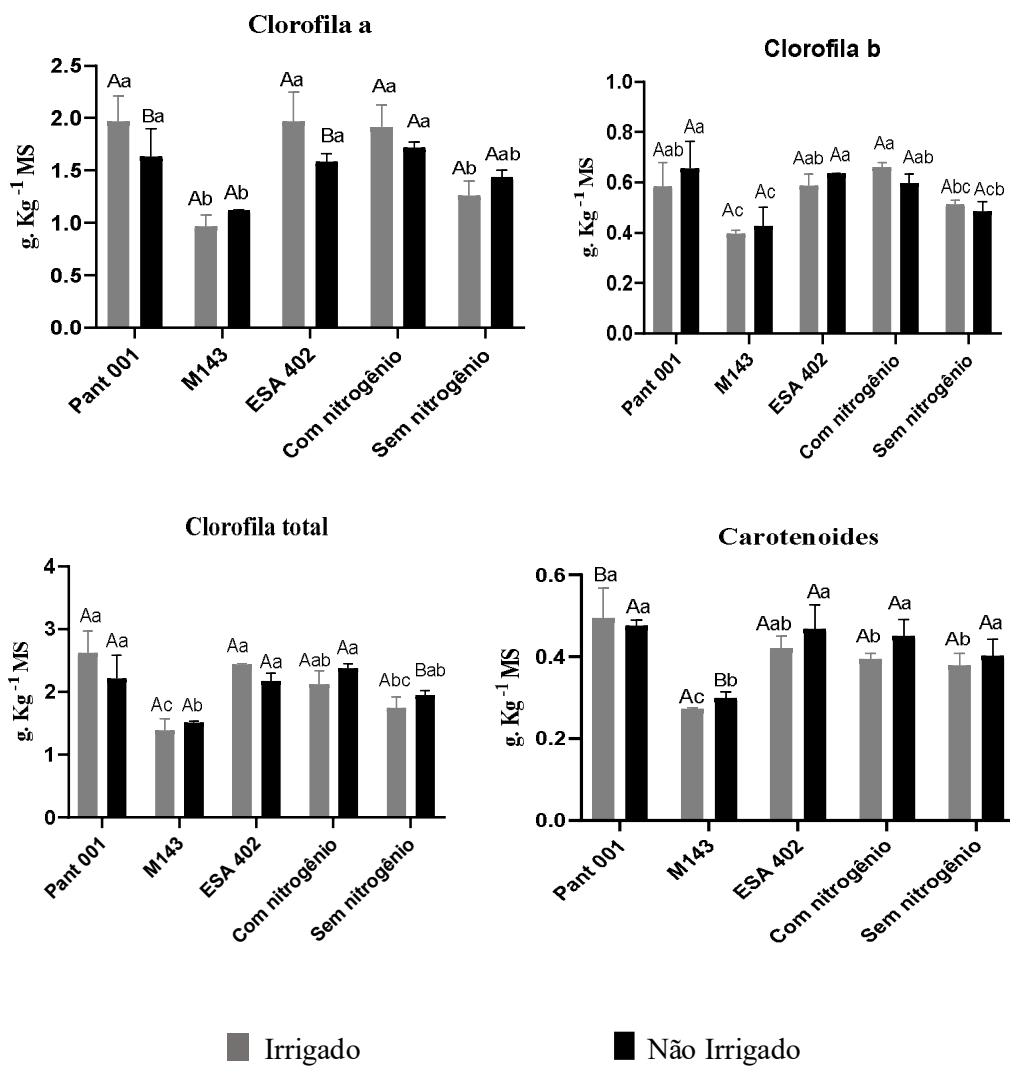
O aumento do teor da clorofila b encontrada neste trabalho é de grande importância, visto que ela possibilita captação de maior quantidade de luz incidente para o sítio de ação dos fotossistemas e, com isso, proporciona uma maior formação de ATP e NADPH que serão usados pela planta no processo de fotossíntese (SALES et al., 2018).

Ao analisar a concentração de carotenóides, observou-se que a maioria das plantas sob déficit hídrico aumentaram a produção deste pigmento, havendo diferença significativa entre os regimes hídricos. O tratamento com pant001 foi o que teve maior média, quando comparado aos demais tratamentos não irrigados. Na condição irrigada os bacilos pant001 e ESA 402 obtiveram as maiores médias.

Rojas et al. (2012) relataram que o conteúdo de carotenóides foliares aumentou, em função do avanço da deficiência hídrica em plantas de *Gmelina arborea* Roxb, na tentativa de minimizar danos ao aparato fotossintético, devido ao estresse imposto. Para os autores, esse comportamento, demonstra ser uma estratégia de dissipação do excesso de energia luminosa, utilizado pelas espécies vegetais, sobretudo, diante de condições de deficiência hídrica, na qual os carotenóides desempenham papel fotoprotetor.

A importância dos teores de carotenoides expressos nas folhas é de grande relevância tendo em vista que atuam como fotoprotetores, no caso de sobrecarga energética (TAIZ E ZEIGER, 2013).

**Figura 7.** Análise de pigmentos fotossintéticos: clorofila a, b, total e carotenoides em plantas de gergelim inoculadas com bacilos e com restrição hídrica. Obs.: Letras minúsculas comparam os tratamentos; letras maiúsculas comparam os regimes hídrico dentro de cada tratamento.



**Fonte:** Elaborada pela autora, 2023

## 6 CONCLUSÕES

Há interação positiva dos inoculantes pant001 e ESA 402, estabeleceram uma interação significativa para a produção total de sementes sob restrição hídrica, com incremento de 105,62% e 74% respectivamente, quando comparada ao tratamento sem nitrogênio. Para o peso de mil sementes, os tratamentos pant001 e ESA 402, sob restrição hídrica, proporcionaram incremento de 20,83%, e 14,74%, respectivamente, ao comparar com o tratamento sem nitrogênio.

Sob restrição hídrica, todos os tratamentos proporcionaram aumento do teor de prolina livre total.

Os tratamentos inoculados com pant001, ESA 402 e o manejo nitrogenado favoreceram o aumento dos pigmentos fotossintéticos sob restrição hídrica.



## REFERÊNCIAS

- ABDEL-GHANY, T. M.; MOHAMED, Z. H.; AL ABBOUD, M. A.; HELMY, E. A.; AL-RAJHI, A. M. H.; SHATER, A. R. M. Solubilization of inorganic phosphate by rhizospheric fungi isolated from soil cultivated with *Sorghum bicolor* L. **Bioresources**, v. 14, n. 3, p. 5521-5532, 2019.
- ABRIL, J. L.; RONCALLO, B.; BONILLA, R. Efecto de la inoculación con bacterias del género *Bacillus* sobre el crecimiento de *Megathyrsus maximus* Jacq, en condiciones de estrés hídrico. **Revista Agronômica Noroeste**, v. 37 n. 1, p.1-7, 2017.
- ALCANTARA, R. M. C. M.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G.; ROCHA, M. M.; CARVALHO, J. S. Eficiência simbiótica de progenitores de cultivares brasileiras de feijão-caupi. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 1-9, 2014.
- AMABILE, R. F.; FARIAS NETO, A. L.; SPEHAR, C. R.; ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. M. CNPA G3: Nova opção de gergelim para a região do Distrito Federal. (**Comunicado Técnico**, 43) 1. ed. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 3 p. Junho 2001.
- ANDRADE, P. B. de. **Potenciais polinizadores e requerimentos de polinização do gergelim** (*Sesamum indicum*). Fortaleza, 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado em produção animal) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia.
- ANILAKUMAR K. R.; PAL A, KHANUM F, BAWA A. S. Nutritional, medicinal and industrial uses of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds - an overview. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, v. 75, n. 4, p. 159-168,2010.
- ANJUM, S. A.; XIE, X.; WANG, L.; SALEEM, M. F.; MAN, C.; LEI, W. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, [s.l], v. 6, n. 9, p. 2026-2032, 2011.
- ARAÚJO, E. S.; ARRIEL, N. H. C.; SANTOS, R. C.; LIMA, L. M. Assessment of genetic variability in sesame accessions using SSR markers and morpho-agronomic traits. **Australian Journal Crop Science**, v. 13, n.2, p. 45-54 ,2019.
- ARAÚJO, F. de. Inoculação de sementes com *bacillus subtilis*, formulado com farinha de ostras e desenvolvimento de milho, soja e algodão. **Ciência Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 456-462, 2008.
- ARRIEL, N. H. C.; ARAÚJO, A. E.; SOARES, J. J.; BELTRÃO, N. E. M.; FIRMINO, P. T. 2006. **Cultura do Gergelim**. EMBRAPA: Sistema de produção, 6 (Versão eletrônica), Campina Grande. 2006
- ARRIEL, N. H. C.; FIRMINO, P.T.; BELTRÃO, N. E. M.; SOARES, J. J.; ARAÚJO, A. E.; SILVA, A. C.; FERREIRA, G. B. A cultura do gergelim. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, (**Cartilha Plantar**, 50) 72 p. 2007.

ARTEAGA, S.; YABOR, L.; DÍEZ, M. J.; PROHENS, J.; BOSCAIU, M.; VICENTE, O. The use of proline in screening for tolerance to drought and salinity in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **Agronomy**, [s.l.], v. 10, n. 6, p.817, 2020.

AVIZ, R. O.; SILVA, N. S. G.; SANTOS, W. M.; AMARAL, E. M.; SANTOS, J. P. A. S.; SILVA, J. O. N.; SALVADOR, K. R. S.; LEITE, R. M. C.; LEITE, M. L. M. V.; SANTOS, C. E. R. S. Eficiência de fixação de N por rizobactérias nativas do semiárido. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 10, p.81-92, 2021.

BELTRÃO, N. E. M.; FERREIRA, L. L.; QUEIROZ, N. L.; TAVARES, M. S.; ROCHA, M. S.; ALENCAR, R. D.; PORTO, V. C. N. (Orgs.). **O gergelim e seu cultivo no semiárido brasileiro** – Natal: IFRN, 225 p. 2013.

BELTRÃO, N. E. M.; DO VALE, L. S.; MARQUES, L. F.; CARDOSO, G. D.; MARACAJA, P. B. Época relativa de plantio no consórcio mamona e gergelim. **Revista Verde**, v. 5, n. 5, p. 67 – 73, 2010.

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

BEZERRA, S. A. **Crescimento e desenvolvimento do gergelim em estresse hídrico em substrato de biossólido e adubo químico Campina Grande**, Campina Grande. PB, 2008. 48 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

BIANCHI, L.; GERMINO, G.H.; SILVA, M. A. Adaptação das plantas ao déficit hídrico. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 4, p. 15-32, 2016.

BORGIO, L.; MAUR, C.J.; VIEIRA, L.G.E. Effects of high proline accumulation on chloroplast and mitochondrial ultrastructure and on osmotic adjustment in tobacco plants. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 37, n. 2, p.191-199, 2015.

BRACCINI, A. L.; MARIUCCI, G. E. G.; SUZUKAWA, A. K.; LIMA, L. H. S.; PICCININ, G. G. Co-inoculação e modos de aplicação de *Bradyrhizobium japonicum*, *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada na nodulação das plantas e rendimento da cultura da soja. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 1, p. 27-35, 2016.

BROETTO, F.; GOMES, E. R.; COSTA JOCA, T. Arruda. (Orgs.). **O estresse de plantas: Teoria & prática**- São Paulo: Cultura Acadêmica, 2017.

BULEGON, L. G. ***Azospirillum brasilense* e reguladores vegetais na mitigação dos efeitos da intoxicação por mesotriona no milho e do déficit na soja**. Marechal Cândido Rondon – Paraná. 2019. 192 f. Tese (Agronomia) Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Campus de Marechal Cândido Rondon).

CACEFO, V. **Prolina endógena e exógena em plantas de tabaco submetidos à deficiência hídrica: Respostas fisiológicas, bioquímicas, moleculares e no perfil iônico**. Presidente Prudente- SP, 2020, 129 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade do Oeste Paulista.

CAMPOS, L. L. **Caracterização de bactérias isoladas de nódulos de leguminosas para estabelecimento da coleção de culturas da Universidade Federal de Mato Grosso**. Cuiabá – MT. 2008. 125f. Tese doutorado (Agricultura tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária.

CANAVAR, O.; GOTZ, K. P.; ELLMER, F.; CHMIELEWSKI, F. M.; KAYNAK, M. A. Determination of the relationship between water use efficiency, carbon isotope discrimination and proline in sunflower genotypes under drought stress. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, n. 2, p. 232-242, 2014.

CARVALHO, C. G.; VELLOSO, C. C. V.; GODINHO, B. T. V.; PAIVA, C. A. de O.; GOMES, E. A.; MAGALHÃES, P. C.; LANA, U. G. P.; TINOCO, S. M. S. **Efeitos de bactérias promotoras de crescimento em plântulas de milho sob estresse hídrico induzido por Polietilenoglicol 6000**. Sete Lagoas- MG. Embrapa Milho e Sorgo. p. 29. 2019. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento 196).

CARVALHO, L. M. ; ARAUJO, S. B.; SANTOS, R. E. M.; CARVALHO, H. W. L.; CARVALHO, C. G. P. **Acúmulo de prolina em cultivares de girassol sob condições edafoclimáticas de Sergipe**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2020.

CARVALHO, R. M. M.; SILVA, M. R.; CARVALHO, F. C. T.; REBOUCAS, R. H.; SOUSA, O. V. Bactérias solubilizadoras de fosfato em solo rizosférico da Caatinga. **Revista Geonorte**, v. 7, n. 1 p. 48-60, 2016.

CECCHINI, N. M.; MONTEOLIVA, M. I.; ÁLVAREZ, M. E. A prolina desidrogenase contribui para a defesa do patógeno em *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, v. 155, n.3, p.1947–1959, 2011.

COSTA, L. C.; TAVANTI, R. F. R.; TAVANTI, T. R.; PERE, C. S. Desenvolvimento de cultivares de soja após inoculação de estirpes de *Bacillus subtilis*. **Nativa**, v. 7, n. 2, p. 126-132, 2019.

COSTA LOURENÇO, E. R.; AZEVEDO, P. V. de.; PEREIRA, A. R.; BEZERRA, J. R. C.; SAABOYA, L. M. F.; ZONTA, J. H. Necessidades Hídricas da Cultura do Gergelim na Região da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física** v. 11, n. 04, p. 1275-1289, 2018.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Protocolos para preparo de meios de cultura da Embrapa Agrobioenergia**, dezembro, 1999. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB-2010/27335/1/doc110.pdf>>. Acesso em: 07 de dez. 2022.

FARIA, D. R. **Rizobactérias e silício na intensificação da mitigação do arroz de terras altas ao déficit hídrico e à brusone**. Goiânia, GO, 2021. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade) Universidade Federal de Goiás. (Escola De Agronomia Programa De Pós-Graduação Em Agronomia).

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy Sustainable**, v. 29, n.3 p.185-212, 2009.

FERNANDES-JÚNIOR, P. I.; AIDAR, S. T.; MORGANTE, C. V.; GAVA, C. A. T.; ZILLI, J. E.; SOUZA, L. S. B.; MARINHO, R. C. N.; NOBREGA, R. S. A.; BRASIL, M. S.; SEIDO, S. L.; MARTINS, L. M. V. The Resurrection Plant *Tripogon spicatus* (Poaceae) Harbors a Diversity of Plant Growth Promoting Bacteria in Northeastern Brazilian Caatinga. **Revista Brasileira Ciências do solo**, v. 39, n. 4, p. 993- 1002, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 1, p. 109-112, 2014.

FREIRE, L. P.; MARRACCINI, P.; RODRIGUES, G. C.; ANDRADE, A. C. Análise da expressão do gene manose fosfato redutase em cafeeiros submetidos ao déficit hídrico. **Coffee Science**, v. 8, n. 1, p. 17-23, 2013.

GIOVELLI, J.; TABALDI, L. A. Níveis de Fósforo e Inoculação de Sementes por *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) e *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) no Crescimento e Desenvolvimento de Plantas de Soja. **Ensaios e Ciências**, v. 26, n. 4, p. 451-458, 2022.

GONÇALVES, C. G. **Modificações morfológicas, fisiológicas e seletividade da soja a diferentes herbicidas em resposta ao estresse hídrico**. Jaboticabal, 2017, f. 120. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

GRILO R, J. A. S.; AZEVEDO, P. V. Crescimento, desenvolvimento e produtividade do gergelim BRS seda na agrovila de Canudos, em Ceará Mirim (RN). **HOLOS**, v. 2, n.2, p. 19-33, 2013.

HAYAT, S.; HAYAT, Q.; ALYEMENI, M. N.; WANI, A. S.; PICHTEL, J.; AHMAD, A. Role of proline under changing environments. **Plant Signaling & behavior**, [S.l.], v. 7, n. 11, p. 1456-1466, 2012.

JESUS, L. L.; NERY, M. C.; ROCHA, A. de S.; CRUZ, S. M.; FIALHO, C. M. T.; NERY, F. C.; DIAS, D. C. F. dos S. Study on some aspects of seed vigor for sesame. **Magistra**, v. 31, n. 9, p. 577 - 586, 2020.

KAUSHAL, M.; WANI, S. P. Plant-growth-promoting Rhizobacteria: Drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands. **Annals of Microbiology**. v. 66, n.11, p. 35-42, 2016.

KAVI KISHOR, P. B.; HIMA KUMARI, P.; SUNITA, M. S. L.; SREENIVASULU, N. Papel da prolina na síntese da parede celular e desenvolvimento vegetal e suas implicações na ontogenia vegetal. **Plant Science**, v. 6, n.1, p. 544, 2015.

KUNDAN, R.; PANT, G.; JADON, N.; AGRAWAL, P. K. Plant growth promoting rhizobacteria: mechanism and current prospective. **Journal of Fertilizers and Pesticides**, v. 6, n. 2, p. 1-9, 2015.

LANNA FILHO, R.; FERRO, H. M.; PINHO, R. S. C. Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*. **Revista Trópica**. v. 4, n. 2, p. 12-20, 2010.

LEMES, M. R. **Extração do óleo de gergelim**. Uberlândia – MG 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) Universidade Federal de Uberlândia Faculdade de Engenharia Química.

LIANG, X.; ZHANG, L.; NATARAJAN, S. K.; BECKER, D. F. Mecanismos de prolina de sobrevivência ao estresse. **Antioxid Redox Signal**, v. 19, n.12, p. 998–1011, 2013.

LIMA, B. C. **Atenuação do estresse por alta temperatura durante o estágio reprodutivo do feijoeiro-comum, em função da inoculação de *Bacillus subtilis***. Presidente Prudente, SP, 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste.

LIMA, G.B.P.d.; GOMES, E.F.; ROCHA, G.M.G.d.; SILVA, F.d.A.; FERNANDES, P.D.; MACHADO, A.P.; FERNANDES-JUNIOR, P.I.; MELO, A.S.d.; ARRIEL, N.H.C.; GONDIM, T.M.d.S.; LIMA, L.M.d. Bacilli rhizobacteria as biostimulants of growth and production of sesame cultivars under water deficit. **Plants**, v. 12, n. 6, p. 1337, 2023.

MACHADO, R. W. B.; CALVI, V. O.; PACCOLA, E. A. S.; SCHMDIT FILHO, E.; GASPAROTTO, F. Inoculação foliar de plantas de milho com *Bacillus subtilis* e *Azospirillum brasilense*. **Enciclopédia biosfera**, v. 17 n. 34, p. 290, 2020.

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 laranja valência sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantia**, v. 67, n. 1, p. 75-82, 2008.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Secretaria de política agrícola. **Portaria Nº 95**, de 11 de julho, 2013.

MARTINS, E. A. C.; MACIEL FILHO, P. R. Mecanismos de expressão gênica em eucariotos. **Revista da Biologia**, v. 4, n. 1 p. 1-5, 2010.

MASCARENHAS, L. S. **Uso de inoculantes microbiológicos para otimização do crescimento e desenvolvimento de plantas de cana-de -açúcar cultivadas sob déficit hídrico**. 2021. Dissertação (Mestrado Fisiologia Vegetal.) — Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas.

MATSUO, O.; ZUCARELI, C.; HORÁCIO, E. H.; ALVES, L. A. R.; SAAB, O. J. G. A. Co-inoculation of *Anabaena cylindrica* and *Azospirillum brasilense* during initial growth and chloroplast pigments of corn. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.26, n.2, p.97-102, 2022.

MAZZUCHELLI, R. C. L.; SOSSAI, B. F.; ARAUJO, F. F. Inoculação de *Bacillus subtilis* e *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Colloquium Agrariae**, v. 10, n. 2, p. 40-47, 2014.

MAZZUCO, V. R. **Avaliação de *Pseudomonas* sp. e *Bacillus* sp. na promoção de crescimento e solubilização de superfosfato triplo no alho**. Curitiba, 2020, f.44. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina

MELO, A. S.; MELO, Y. L.; LACERDA, C. F.; VIÉGAS, P. R. A.; FERRAZ, R. L.S.; GHEYI, H. R. Water restriction in cowpea plants [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]: Metabolic changes and tolerance induction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n.2, p. 190-197, 2022.

MENDONÇA, S. M. **Rizobactérias multifuncionais na mitigação do déficit hídrico e da Brusone foliar em arroz de terras altas**. Goiânia GO, 2021. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade) Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

MENSAH, J. K.; OBADONI, B. O.; ERUOTOR, P. G.; ONOME-IRIEGUNA, F. Simulated flooding and drought effects on germination, growth, and yield parameters of sesame (*Sesamum indicum* L.). **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 4, p. 1249-1253, 2006.  
MILANI, M.; COUTINHO, D.; BALLARIS, A. L. **Avaliação de genótipos de gergelim (*Sesamum indicum* L.) em Ribeirão Preto/SP**. 20p. Embrapa Algodão. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 66. 2006.

MIRANDA, B. L.; DOMINGUES, C. O. S.; DOSSO, C.; CARVALHO, A. C. M.; MITSUO YAMASHITA, O.; RABELO, O. H. Promotores de crescimento na cultura da soja. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 7, n. 2, p. 469-479, 2020.

MORAES, J. S. **Desenvolvimento e avaliação de um protótipo para despelicular sementes de gergelim**. Campina Grande, 2018. Tese (Doutorado em Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande.

MORAIS, J. F. A. **Avaliação de consórcios bacterianos para mitigar os efeitos do estresse hídrico em culturas de soja**. Piracicaba, 2018. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) USP/ Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Programa de Pós-Graduação em engenharia Agrícola.

NASCIMENTO, N. F.; NASCIMENTO, L. B. B.; GONÇALVES, J. F.C. Respostas funcionais foliares de plantas jovens de *Hevea brasiliensis* permaneceram à deficiência hídrica e à reidratação. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 03, p. 1019-1032, 2019.

NEVES-BORGES, A. C.; GUIMARÃES-DIAS, F.; CRUZ, F.; MESQUITA, R. O.; NEPOMUCENO, A. L.; ROMANO, E.; LOUREIRO, M. E.; GROSSI-DE-SÁ, M. F.; ALVES-FERREIRA, M. Expression pattern of drought stress marker genes in soybean roots under two water deficit systems **Genetics and Molecular Biology**, v. 35, n. 1, p. 212-221, 2012.

NEVES, L. A. S.; SPAT, C. Concentração de clorofila e de prolina em genótipos de arroz submetidos à salinidade. **Revista Unimontes Científica**, v. 15, n.2, p. 1-10, 2013.

OLIVEIRA, G. R. F.; SILVA, M. S.; MARCIANO, T. Y. F.; PROENÇA, S. L.; SÁ, M. E. Seeds and inoculation with *Bacillus subtilis*. **Brazilian journal of biosystems engineering**, (Ilha Solteira), v. 10, n. 4, p. 439– 448, 2016.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; ALVES, V. M. C.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M.; SANTOS, F. C.; SOUZA, F. F.; LANDAU, E. C.; PINTO JUNIOR, A. S.; LANA, U. G. P. **Validação da recomendação para o uso do inoculante BiomaPhos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) na cultura de soja**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 18p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 279).

PINTO, C. de M.; SIZENANDO FILHO, F. A.; CYSNE, J. R. B.; PITOMBEIRA, J. B. Produtividade e índices competição da mamona consorciada com gergelim, algodão, milho e feijão caupi. **Revista Verde**, v. 6, n. 2, p. 75-85, 2011.

QUEIROGA, V. P.; SILVA, O. R. R. F. **Tecnologias utilizadas no cultivo do gergelim mecanizado**. 140 p. 2008. Embrapa Algodão-Documentos (203).

QUEIROZ, A. S. B. **Análise transcricional de genes relacionados ao déficit hídrico e teor de óleo em soja (*Glycine max*)**. Palmas- TO, 2019. F. 48 Dissertação (Mestrado em Agroenergia) Pós-Graduação em Agroenergia. Universidade Federal Do Tocantins /Campus Universitário de Palmas.

QUIRIBAN A.; CARDOZO, M. P. Acúmulo de prolina como indicador bioquímico de tolerância à seca em genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) submetido à suspensão da irrigação no início do cañazón. **Semiárida Revista da Faculdade de Agronomia**, v. 27, n. 02, p. 5157-6300, 2017.

RAWAT, P. S.; SHANKHDHAR, D.; SHANKHDHAR, S. C. Phosphate-solubilizing microorganisms: mechanism and their role in phosphate solubilization and uptake. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n.12, p. 49- 68, 2021.

RIBEIRO, V. H. A.; QUEIROZ, M. F.; ARRIEL, N. H. C.; SILVA, V. M. A.; FERNANDES, P. D. **Análise de genótipos de gergelim BRS seda e preta sob diferentes níveis de fertirrigação com solução organomineral**. Campina Grande - PB: EPTEC, 2021. ISBN: 978-65-00-20669-2.

RICHARDSON, A. E.; LYNCH, J. P.; RYAN, P. R.; DELHAIZE, E.; SMITH, F. A.; SMITH, S. E.; HARVEY, P. R.; RYAN, M. H.; VENEKLAAS, E. J.; LAMBER, H.; OBERSON, A.; CULVENOR, R. A.; SIMPSON, R. J. Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. **Plant Soil**, v. 349, n.4, p. 121-156, 2011.

RINEH, A.; KELSO, J.; MICHAEL, V.; FATMA, T.; GEORGE, H.; MICHAEL P. Clostridium difficile infection: Molecular pathogenesis and novel therapeutics. **Expert Review of Anti-infective Therapy**. v. 12, n. 1, p. 131-50, 2014.

RODRIGUES, Y. F. **Influência da diversidade microbiana presente na rizosfera do milho na disponibilização de fósforo**. Piracicaba, 2018. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) Programa de Pós-Graduação em Microbiologia agrícola, Universidade de São Paulo / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

ROJAS, A.; MORENO, L.; MELGAREJO, L. M.; RODRÍGUEZ, M. A. Physiological response of gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.) to hydric conditions of the colombian Caribbean. **Agronomía Colombiana**, v. 30, n. 1, p. 52-58, 2012.

ROJAS-SOLÍS, D.; CONTRERAS-PÉREZ M.; SANTOYO, G. Mecanismos de estimulación del crecimiento vegetal en bacterias del género *Bacillus*. **Biológicas**, v. 15, n. 2, p. 34-41, 2013.

SALES, R. A.; SALES, R. A.; SANTOS, R. A.; QUARTEZANI, W. Z.; BERILLI, S. S.; OLIVEIRA, E. C. Influência de diferentes fontes de matéria orgânica em componentes fisiológicos de folhas da espécie *Schinus terebinthifoliusraddi* (Anacardiaceae). **Revista Scientia Agraria**, v. 19, n. 1, p. 132-141, 2018.

SANTOS, A. F.; CORRÊA, B. O.; KLEIN, J.; BONO, J. A. M.; PEREIRA, L. C.; GUIMARÃES, V. F.; FERREIRA, M. B. Biometria e estado nutricional da cultura da aveia branca (*Avena sativa* L.) sob inoculação com *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p.14-21, 2021.

SANTOS, C. F.; LIMA, G. P. P.; MORGADO, L. B. Tolerância e caracterização bioquímica em feijão caupi submetido a estresse hídrico na pré floração. **Naturalia**, v. 33, n.2, p. 34-44, 2010.

SANTOS, J. F.; SACRAMENTO, B. L.; MOTA, K. N. A. B.; SOUZA, J. T.; AZEVEDO NETO, A. D. Crescimento de girassol em função da inoculação de 30 30 sementes com bactérias endofíticas. **Pesquisa Agropecuária tropical**, v. 44, n. 2, p. 142- 150, 2014.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SARKIS, J. R. **Extração de compostos biotivos de tortas de nozes e sementes e aplicação de tecnologias elétricas no gergelim**. Porto Alegre, 2014. Tese (Doutorado em Fenômenos de transporte e operações unitárias) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em química.

SEVERO, P. J. S. **Produção de milho verde sob déficit hídrico em associação a bactérias promotoras do crescimento ou Co+Mo**. Pombal – PB. 2021. F.; 54. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) – Programa de Pós-Graduação em Horticultura tropical, Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar.

SHARMA, S. B.; SAYYED, R.Z.; TRIVEDI, M.H.; GOBI, T.A. Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. **Springer Plus**, v. 2, n.1, p. 1-14, 2013.

SHARMA, S. B.; VILLAMOR, J. G.; VERSLUES, P. E. Essential role of tissue-specific proline synthesis and catabolism in growth and redox balance at low water potential. **Plant Physiology**, v. 157, n.2, p. 292–304, 2011.

SHETIWIY, M. S.; ELGAWAD, H. A.; XIONG, Y. C.; MACOVEI, A. BRESTIC, M.; SKALICKY, M. SHAGHALEH, H.; HAMOUD, Y. A.; SAWAH, A. M. E. Inoculation with *Bacillus amyloliquefaciens* and mycorrhiza confers tolerance to drought stress and improve seed yield and quality of soybean plant. **Physiologia Plantarum**, v. 6, n.3, p. 1-17, 2021.



SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, Distrito Federal: Embrapa Informação Tecnológica, p. 627, 2009.

SILVA, G. C. O.; DOURADO, L. S. L. **Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de gergelim (*Sesamum indicum* L.) das cultivares Trebol e BRS Seda**. Brasília, DF. 2019. Monografia (Graduação - Agronomia), Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Programa de Pós-graduação em Agronomia.

SILVA, H. D. M.; FERREIRA, O. E.; COSTA, G. H. G.; GUARDIANO, B. C. R. Quantificação de bactérias solubilizadoras de fósforo em solo de reforma de canavial no bioma Cerrado com plantio de leguminosas. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 2 p. 11810-11820, 2022.

SILVA, M.; E.; C.; MELO, I.; S.; NASCIMENTO, R.; S. ROSSI, P. RAMOS, M.; P. Germinação e vigor de girassol com uso de bactérias promotoras de crescimento. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13., 2019, Campinas. **Anais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2019.

SOARES, L. A. A.; MENDES, D. K. M.; MACHADO, N. H.; SOARES, L. G.; ALVES, O. K. J.; SOARES, S., S. Estratégias de manejo do déficit hídrico em fases fenológicas do algodoeiro colorido. **IRRIGA**, v. 25, n. 4, p. 656–662, 2020.

SOUZA JÚNIOR, R. F. S.; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, H. C.; FREIRE, F. J.; ARRUDA, J. A. Frações de fósforo inorgânico do solo e suas correlações com o fósforo quantificado por extratores e pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 159-169, 2012.

STANCATTE, R. S.; VIEIRA, H. B.; SOUZA, D. T.; MELO, I. S.; RAMOS, N. P. Uso de bactérias tolerantes a seca em mudas de cana-de-açúcar. **9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015**. Campinas- São Paulo. Agosto de 2015.

SZABADOS, L.; SAVOURE, A. Prolina: um aminoácido multifuncional. **Trends Plant Science**, v. 15, n.3, p. 89–97, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5ª ed. Editora Guanabara Koogan. Porto Alegre. p. 454-460. 2013.

TEODORO DE FATIMA, R.; GONÇALVES DE JESUS, E.; GUERRERRO, A. C.; ROCHA, J. L. A.; BRITO, M. E. B. Adubação silicatada como atenuante do estresse hídrico no crescimento e trocas gasosas da alfaca. **Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 2, p. 170-178, 2019.

SIZENANDO, C. I. T. **Estimativa de produção de genótipos de amendoim inoculados com isolados de *Bradyrhizobium***. Campina Grande, 2015. Dissertação (Biotecnologia e melhoramento vegetal) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias e ambientais.

VASCONCELOS, R. A.; GONDIM, T. M. S.; ARRIEL, N. H. C. Características Vegetativas e Reprodutivas de Genótipos de Gergelim no Cariri Cearense. In: IV Congresso Brasileiro de

Mamona & I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, **Anais**. Campina grande: Embrapa Algodão, p. 1599-1605, 2010.

VIEIRA, M. L.; CUNHA, A. J.; SOUZA, D. S. Organomineral associado a *Bacillus aryabhatai* como atenuador do déficit hídrico em mudas de café. **Revista Vitae - Educação, Saúde & Meio Ambiente**, v. 1, n. 9, p. 143-1148, 2021.

ZHAO, S.; FERNAL, D. R. D. Comprehensive algorithm for quantitative real-time polymerase chain reaction. **Journal of computational Biology**, v. 12, n.2, p. 1047-1064, 2005.