



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

BRUNO HARRISSON DA SILVA MENDONÇA

FREQUÊNCIA DE IRRIGAÇÃO E INOCULAÇÃO COM *BACILLUS ARYABHATAI*
NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DO SORGO GRANÍFERO

FORTALEZA

2026

BRUNO HARRISSON DA SILVA MENDONÇA

FREQUÊNCIA DE IRRIGAÇÃO E INOCULAÇÃO COM *BACILLUS ARYABHATAI* NO
DESEMPENHO AGRONÔMICO DO SORGO GRANÍFERO

Monografia apresentada à Coordenação curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo

Coorientador: Wevertonn Vasconcelos Rocha Silva

FORTALEZA

2026

BRUNO HARRISSON DA SILVA MENDONÇA

FREQUÊNCIA DE IRRIGAÇÃO E INOCULAÇÃO COM *BACILLUS ARYABHATAI* NO
DESEMPENHO AGRONÔMICO DO SORGO GRANÍFERO

Monografia apresentada à Coordenação curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: 20/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Wevertonn Vasconcelos Rocha Silva (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Juvenaldo Florentino Canja (Avaliador)
Universidade Estadual do Ceará (UFC)

Me. Adams Ramon pinheiro de Sousa (Avaliador)
Universidade Estadual do Ceará (UFC)

Me. Ruan Santana Cavalcante (Avaliador)
Universidade Estadual do Ceará (UFC)

A Deus.

A minha família, meus amigos e professores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelas graças e bênçãos durante toda a minha graduação.

A minha família, em especial minha mãe Ivone Pequena da Silva e minha tia Maria Conceição da Silva, por todo amor, incentivo ao longo da minha trajetória

Ao Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo, pela excelente orientação, e que me estimulou na pesquisa e desenvolvimento do TCC.

Ao meu coorientador, Wevertonn Vasconcelos Rocha Silva pelo apoio durante toda a realização da pesquisa.

Ao Dr Juvenaldo Florentino Canja, por todo conhecimento e experiência compartilhados

Aos integrantes participantes da banca examinadora Ruan Santana Cavalcante, Adams Ramon pinheiro de Sousa, Wevertonn Vasconcelos Rocha Silva e Juvenaldo Florentino Canja pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos meus colegas da turma de graduação 2020.1, pelas experiências e momentos compartilhados.

A empresa júnior Agronômica e meus colegas de trabalho, pela possibilidade de experiências de atuar no mercado da Agro.

À minha namorada Hallana Lara Maciel Clarindo, pelo companheirismo e carinho recebidos.

Aos meus grandes amigos de graduação, Lucas Costa Xavier, Rafael de Freitas Barros, Antônio Vinicius, Mateus Amorim pelo apoio durante toda minha graduação e momentos de descontração.

RESUMO

A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor L.*) é um cultivo ideal para regiões que sofrem com secas por apresentar resistência ao estresse hídrico. O semiárido Nordestino caracteriza-se por apresentar balanço hídrico deficitário prejudiciais a uma gama de culturas, sendo necessárias estudos que minimizem os efeitos da escassez hídrica as mesmas. O presente estudo visa avaliar as principais variáveis de crescimento (altura de plantas diâmetro de caule) e produtivos (massa da panícula e tempo de colheita) do sorgo sob diferentes frequências de irrigação (F1, F2, F3, F4, F5) associados a presença ou não da inoculação da bactéria *Bacillus aryabhattai*. O trabalho foi conduzido na Universidade Federal do Ceará– Campus do Pici, entre os meses de setembro a dezembro de 2025. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em arranjo fatorial 5x2, e quatro repetições, totalizando em 40 parcelas amostrais. Frequências maiores de irrigação promoveram aumentos significativos no crescimento das plantas, por meio da altura, diâmetro do colmo e área foliar, bem como incremento na produtividade, como maiores massas da panícula e encurtamento do tempo de colheita. A inoculação com *B.aryabhattai* apresentou efeito significativo em variáveis como altura, diâmetro e massa da panícula, dependendo da disponibilidade hídrica, o que demonstra a importância da integração de um manejo da irrigação com uso de Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCPs) na cultura do sorgo.

Palavras-chave: Sorgo; *Bacillus aryabhattai*; Frequência; Irrigação.

ABSTRACT

Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) is a ideal crop for regions affected by drought due to its tolerance to water stress. The Brazilian semi-arid region is characterized by a negative water balance, which is detrimental to several crops, making it necessary to develop studies aimed at minimizing the effects of water scarcity. This study aimed to evaluate the main growth variables (plant height and stem diameter) and yield-related parameters (panicle mass and harvest time) of sorghum under arvest irrigation frequencies (F1, F2, F3, F4, and F5), associated with the presence or absence of inoculation with the bacterium *Bacillus aryabhattai*. The work was conducted at the Federal University of Ceará – Pici Campus, between the months of September and December 2025. The experimental design was a randomized block design in a 5×2 factorial arrangement, with four replications, totaling 40 experimental plots. Higher irrigation frequencies promoted significant increases in plant growth, expressed by greater plant height, stem diameter, and leaf area, as well as higher productivity, with increased panicle mass and a shorter harvest time. Inoculation with *B. aryabhattai* showed significant effects on some variables, depending on water availability, demonstrating the importance of integrating irrigation management with the use of Plant Growth-Promoting Bacteria (PGPB) in sorghum cultivation.

Keywords: Sorghum; *Bacillus aryabhattai*; Frequency; Irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Casa de vegetação.....	25
Figura 2	– Area do experimento	25
Figura 3	– Croqui da área experimental.....	26
Figura 4	– Implementação do experimento.....	26
Figura 5	– Sorgo LAS1501.....	27
Figura 6	– Área do experimento.....	27
Figura 7	– Parâmetros a serem avaliados, (A) Medição da altura, (B) Medição do diâmetro, (C) medição da área foliar, (D) Panícula pronta para colheita(E) Irrigação.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Análise de variância para altura e diâmetro com 23 DAS, considerando apenas a inoculação	30
Tabela 2	– Análise de variância para altura e diâmetro com 46 DAS	31
Tabela 3	– Médias das alturas(cm) com e sem inoculação com 46 DAS.....	32
Tabela 4	– Médias dos diâmetros(mm) com e sem aos 46 DAS.....	33
Tabela 5	– Análise de variância para altura e diâmetro aos 69 DAS.....	34
Tabela 6	– Médias da altura das plantas aos 69 DAS.....	34
Tabela 7	– Análise de variância da área foliar aos 46 e 69 DAS.....	35
Tabela 8	– Médias da área foliar das plantas aos 46 e 69 DAS.....	36
Tabela 9	– Análise de variância para massa da panícula.....	36
Tabela 10	– Médias da massa da panícula com e sem inoculação do <i>B. aryabhattai</i>	37
Tabela 11	– Análise de variância para o tempo de colheita do sorgo.....	38
Tabela 12	– Médias do tempo de colheita do sorgo.....	38
Tabela 13	– Médias do tempo de colheita do sorgo com base na presença do <i>B. aryabhattai</i>	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	HIPÓTESE	14
3	OBJETIVO	14
4	REFERENCIAL TEORICO	14
4.1	Cultura do sorgo	15
4.2	Frequência de irrigação	17
4.3	Bioinsumos	18
4.4	Bactérias promotoras de crescimento (BPCP)	20
4.5	Gênero <i>Bacillus</i> e suas aplicações agrícolas	22
2.1	<i>Bacillus aryabhattai</i>	23
5	MATERIAL E MÉTODOS	25
5.1	Localização do experimento	25
5.2	Delineamento experimental	25
5.3	Tratamento das sementes	26
5.4	Condução do experimento	27
5.5	Análise biométrica	28
5.6	Análise estatística	30
6	RESULTADOS	30
6.1	Crescimento vegetativo do sorgo	30
6.1.1	Altura e diâmetro com 23 DAS	30
6.1.2	Altura e diâmetro com 46 DAS	31
6.1.3	Altura e diâmetro com 69 DAS	33
6.2	Área foliar	35
6.3	Indicadores de produtividade	36
6.3.1	Massa da panícula	36
6.3.2	Tempo de colheita	37
7	DISCUSSÃO	39
8	CONCLUSÃO	44
9	REFERENCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é um cereal amplamente cultivado em regiões tropicais e semiáridas, sendo utilizado tanto para alimentação humana quanto animal, além de servir como matéria-prima para a produção de biocombustíveis. Por apresentar boa adaptabilidade a condições de déficit hídrico, o sorgo destaca-se como uma cultura estratégica em áreas de clima adverso.

A cultura do sorgo apresenta características eficientes de tolerância à seca, sendo pertencente ao grupo de plantas C4, na qual suporta elevados níveis de radiação solar e produz altas taxas fotossintéticas, além de conseguir minimizar a perda de água através do mecanismo de fechamento dos estômatos. Desse modo, tais características associadas a condições ambientais favoráveis resultam em maior produtividade (LANDAU; SANS, 2010).

No Brasil, o sorgo tem se destacado como uma alternativa estratégica para a diversificação dos sistemas de produção e para a promoção da segurança alimentar, especialmente em regiões caracterizadas por condições climáticas mais secas (Menezes et al., 2021). Ademias, o país tem investido em pesquisas e inovação tecnológica para elevar a produtividade e a qualidade da cultura do sorgo

Apesar de se mostrar como uma cultura versátil, o sorgo ainda pode ser afetado por baixa disponibilidade de nutrientes no solo, competição com plantas daninhas, pragas e doenças, além de condições edafoclimáticas desfavoráveis, sendo o déficit hídrico e temperaturas elevadas, os principais fatores relacionados a diminuição da produtividade. Tal situação justifica o emprego de novas tecnologias de manejo que possam promover maior tolerância e crescimento das plantas em condições adversas de estresse abiótico e biótico.

Nesse contexto, uma das soluções mais inovadoras e promissoras para enfrentar esses desafios consiste no uso de bioestimulantes na agricultura (ANITHA, 2020), especialmente os microrganismos promotores de crescimento vegetal (PGPB).

Os bioestimulantes são definidos como um produto originados da mistura de dois ou mais microrganismos ou deste com outras substâncias (aminoácidos, nutrientes, extratos vegetais e fitohormônios) que são aplicados diretamente nas plantas ou em tratamento de sementes (KOCIRA et al., 2020a; CARADONIA et al., 2022).

Dentre esses bioinsumos, as rizobactérias do gênero *Bacillus* que são amplamente utilizadas na agricultura (Dias; Santos, 2022). Esses tipos de bactérias agem na promoção do crescimento vegetativo, colonizando junto ao sistema radicular das plantas sob estresse produzindo algumas substâncias que hidratam as raízes e melhoraram a absorção de nutrientes, resultando assim na redução do uso de fertilizante e indução a tolerância a seca.

Em especial, espécies como *Bacillus aryabhatai*, vêm demonstrando resultados positivos em diversas culturas proporcionando um pacote de benefícios de desencadeamento biológico, desde a crescimento radicular, otimização do uso da água e conseqüentemente, melhor rendimento final da produção. (FUGA, 2021).

Diante o exposto, realizou-se o presente estudo com o objetivo de analisar o crescimento vegetativo do sorgo; altura, diâmetro, área foliar, massa da panícula e o tempo de colheita em híbridos de sorgo, bem como avaliar as interações desses parâmetros com a inoculação da bactéria *Bacillus aryabhatai*.

2. HIPÓTESE

O aumento da frequência de irrigação melhora o desempenho agrônômico do sorgo, e a inoculação com *Bacillus aryabhattai* contribui para atenuar os efeitos do estresse hídrico, refletindo em maior crescimento e produtividade.

3. OBJETIVOS

Avaliar o efeito de diferentes frequências de irrigação, associadas ou não à inoculação com *Bacillus aryabhattai*, no desempenho agrônômico da cultura do sorgo.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Cultura do sorgo

O sorgo *Sorghum bicolor* (L.) é uma cultura de ciclo anual e de origem Africana, exigente em clima quente para poder expressar potencial de produção (RIBAS, 2008). Esta espécie pertence à família Poaceae, sendo uma forrageira de mecanismo fotossintético C4 o que demonstra vantagem fotossintética (Andrade Neto et al., 2010); suporta elevados níveis de radiação solar, baixos índices pluviométricos que atrelado a condições ambientais favoráveis resulta em maior produtividade (EMBRAPA, 2015).

Segundo Santos et al (2005), as características morfológicas são: colmo ereto, sistema radicular com raízes adventícias e seminais, folhas intercaladas compostas por limbo, bainha, lígula e lâmina foliar. Os estádios de crescimento (EC) do sorgo pode ser dividido em três fases. A primeira (EC1) começa no plantio e vai até o início da panícula, a segunda (EC2) vai do desenvolvimento da panícula até o florescimento e a terceira (EC3) começa no florescimento até a maturação fisiológica (MAGALHÃES et al., 2000).

No Brasil, tanto no Sul, como na região Central e em condições do semiárido do Nordeste, o sorgo tem apresentado uma boa adaptabilidade, apontando seu alto potencial produtivo em regiões distintas do país (Neumann et al., 2005; Pereira et al., 2011; Santos et al., 2020). No meio agropecuário brasileiro, além de sua alta produtividade e grande adaptação ambiental, é uma cultura versátil, usada para corte verde, silagem, pastejo, rações e até consumo humano, ideal para dietas celíacas ou sensíveis ao glúten, substituindo farinhas de trigo e milho.

A cultura vem ganhando destaque entre os cereais no mundo, sendo o quinto em termos de quantidade produzida, saindo atrás apenas do trigo, arroz, milho e cevada. de acordo com a Food Agriculture Organization of the United Nations (FAO 2020;2022), o Brasil ocupou as posições históricas de oitavo maior produção no ranking mundial.

A estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para a produção de sorgo em 2025 foi de 4,3 milhões de toneladas, um aumento de 9,0% em relação a 2024. Apesar dos aumentos observados na produtividade, experimentos demonstram que a produtividade dos híbridos mais novos pode ultrapassar 7,0 t/ha, em condições favoráveis de safrinha (Resende et al., 2009; Menezes et al., 2015).

Atualmente, os principais tipos de sorgo mais produzidos no Brasil são os tipos granífero, forrageiro, sacarino, biomassa e vassoura. O sorgo granífero e forrageiro são voltados principalmente para alimentação animal e corte/pastejo, mas o granífero possui uma maior produção e consumo vem se destacando economicamente (SILVA, 2019; LANDAU et al., 2020). o Centro Oeste é a principal região produtora de sorgo granífero (61,3% da colheita nacional), o Sul e o Sudeste se destacam no cultivo de sorgos forrageiros (CONAB, 2011).

O sorgo granífero é o que apresenta maior expressão em termo de cultivo no Brasil, podendo ser utilizado em diversos ramos da indústria alimentícia, sendo importante principalmente na produção de ração animal, podendo substituir parcialmente o milho (Ribas, 2008). No consumo humano tem-se farinha para pães, mingaus fermentados e não fermentados, bebidas alcoólicas e não alcoólicas, cuscuz, uso do grão inteiro, e alimentos de transição infantil (BORGES, 2013).

A região Nordeste se destaca na produção de sorgo em alguns estados como Piauí, plantada como segunda safra, em sucessão à soja; Bahia, com 81,4 mil hectares com a produção de 156.3 mil toneladas (CONAB; 2020) e Rio Grande do Norte, como uma das principais alternativas de alimentos volumosos para os rebanhos, sobretudo os bovinos, sendo a maior parte da produção da planta vai para ração animal na forma de forragem.

Por ser uma planta adaptada à períodos de estiagem em climas secos, desfavorável para maioria dos cereais, tem seu cultivo e desenvolvimento desfavorecidos em regiões com distribuição pluviométrica irregular, abaixo dos 600mm como por exemplo no nordeste brasileiro, por seu particular clima semiárido, que abrange cerca de 86,48% da região (NEVES et al., 2014), respondendo significativamente as práticas de manejo hídrico.

4.2. Frequência de irrigação

A frequência de irrigação ou turno de rega, é o intervalo em dias entre uma irrigação e outra, um parâmetro diretamente associado ao suprimento de água, disponibilidade de nutrientes e a produtividade das culturas em geral, onde o manejo dessa água varia de acordo com a cultura desejada, suas finalidades, e a região onde está implementada.

O manejo da irrigação está relacionado com o momento e a lâmina(quantidade) de água a ser aplicada as culturas, como proposito de maximizar a produtividade agrícola e evitar o uso excessivo de água, a fim de conservar os recursos hídricos, (Albuquerque & Andrade, 2001). Portanto, o conhecimento da quantidade e da frequência de irrigação é fundamental, principalmente em regiões semiáridas, onde a escassez hídrica.

Os custos associados à irrigação exercem influência direta sobre os custos operacionais dos sistemas de produção agrícola, podendo ser reduzidos por meio da diminuição da frequência de irrigação, impactando diretamente no tempo de funcionamento dos equipamentos e no volume total de água aplicado (Rodrigues & Pereira, 2009; Pereira et al., 2009).

Embora a cultura do sorgo seja recomendada como uma alternativa viável para a produção em regiões onde as condições edafoclimáticas restringem o cultivo e o potencial de outras gramíneas, como o milho (Neumann et al., 2005), a irrigação deficitária pode afetar negativamente seu crescimento vegetativa até a fase reprodutiva, dependendo do manejo da irrigação adotado;

O estresse hídrico afeta todas as fases na cultura do sorgo, desde a germinação, até nas fases finais do enchimento de grãos. Como consequência, a planta de sorgo ativa seus mecanismos de defesa, diminuindo o seu metabolismo. A fase onde o estresse hídrico proporciona maior perda de produtividade de grãos é na fase reprodutiva (LIMA et al., 2011; MAGALHÃES et al., 2012; TARDIN et al., 2013).

Devido a isso, variadas pesquisas científicas voltadas a estudar a morfologia da cultura do sorgo visam melhorar a produtividade, a qualidade de grãos e a rentabilidade da cultura do sorgo, através de estratégias de irrigação, uso de inoculantes e híbridos de sorgo.

4.3 Bioinsumos

Segundo o Programa Nacional de Bioinsumos, instituído pelo Decreto nº 10.375, traz em seu artigo a seguinte definição:

“O produto, o processo ou a tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, destinado ao uso na produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários, nos sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que interfiram positivamente no crescimento, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, de plantas, de microrganismos e de substâncias derivadas e que interajam com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos.” (Art. 2º, Decreto nº 10.375/2020).

Ou seja, os bioinsumos incluem, biofertilizantes, compostos orgânicos, caldas naturais, agentes de controle biológico, inoculantes, etc. No contexto agropecuário, é qualquer produto, processo ou organismo de origem biológica usado na produção agrícola com a finalidade de melhorar o crescimento vegetal, disponibilidade de nutrientes. Além de aumentar a resistência das plantas a pragas, doenças e estresses abióticos.

Trata-se de uma alternativa eficiente aos químicos convencionais, sendo crucial para um modelo agrícola sustentável e equilibrado (Borges et al., 2024; Ferreira et al., 2024). Os bioinsumos apresenta vantagens distintas: proporciona a redução da dependência de produtos químicos sintéticos, contribuindo para a diminuição da poluição ambiental. (Costa et al., 2023).

Além disso, favorece a melhoria da saúde e da fertilidade do solo, aumentando a disponibilidade de nutrientes e a capacidade de retenção de água, o que torna o sistema agrícola mais resiliente a estresses bióticos e abióticos. Outro aspecto relevante é o menor impacto ambiental desses produtos, uma vez que, por serem de origem natural, apresentam maior biodegradabilidade e menor risco de contaminação do solo e dos recursos hídricos;

Esses tipos de produtos são organizados e diferenciados no contexto agrícola. Nesse sentido, eles podem ser classificados em três grandes categorias: biofertilizantes, bioestimulantes e biodefensivos;

Biofertilizantes, são compostos por microrganismos benéficos que, aplicados ao solo ou às sementes, favorecem o crescimento vegetal e o aproveitamento de nutrientes pela planta ou pela rizosfera (ALTIER et al., 2012; SARITHA; TOLLAMADUGU, 2019).

Os bioestimulantes promovem o desenvolvimento vegetal por meio da produção de compostos bioativos ou modulação de processos fisiológicos. Contém substâncias naturais com diferentes composições que incrementam no crescimento e a produtividade da lavoura e gerenciam o estresse abiótico da safra (MARRONE, 2019).

Já os defensivos biológicos, são microrganismos ou compostos naturais usados contra pragas e doenças. Os microrganismos são estudados e incorporados a formulações: bioinseticida; biofungicida; bioherbicida; bionematicida; bioacaricida; permitindo recomendações de uso de acordo com cada cultura (DUNHAMTRIMMER, 2018; CROPLIFE,2020; BRASIL,2020).

A adoção crescente desse tipo de produto é visível globalmente e recebe suporte de políticas públicas que incentivam práticas sustentáveis. Essa mudança indica uma colaboração proativa entre produtores, consumidores e órgãos governamentais para garantir segurança alimentar e sustentabilidade ambiental (Cerveira et al., 2025). Contudo, mesmo com benefícios aparentes, a utilização de bioinsumos enfrenta desafios que incluem a necessidade de formação especializada dos produtores e o desenvolvimento de uma rede eficiente de distribuição e comercialização desses produtos (Nascimento; Holanda, 2024).

Dentre os principais bioinsumos utilizados na produção agrícola hoje estão alguns os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), extratos vegetais e a grande maioria é composta por bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCP).

4.4 Bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCP)

As rizobactérias promotoras de crescimento vegetal ou BPCP são microrganismos benéficos que colonizam a rizosfera e contribuem para o desenvolvimento das plantas por meio de mecanismos diretos, como a solubilização de nutrientes e a produção de fitormônios, ou indiretos, como a supressão de patógenos e a indução de resistência (KLOEPPER; SCHROTH, 1978; LUGTENBERG; KAMILOVA, 2009).

Diversos são os mecanismos que as rizobactérias exercem e beneficiam as plantas, tais como: a produção de sideróforos, indução de resistência sistêmica e a produção de fitohormônios (RAMAMOORTHY, 2001; TARNAWSKI, 2006) ou de forma direta pela solubilização de fosfatos e outros minerais (ASHGAR et al., 2002).

A produção de sideróforos formam compostos estáveis com outros metais potencialmente tóxicos como alumínio (Al). Esse fenômeno é vantajoso para aliviar o estresse nas plantas causado por metais potencialmente tóxicos presentes em solos e não apenas por causa do aumento da disponibilidade de nutrientes minerais para as plantas (Ahemad e Kibret, 2014).

A interação de algumas bactérias com as raízes pode conferir às plantas resistência a certos fitopatógenos (Lugtenberg e Kamilova, 2009). Isso ocorre devido à produção de moléculas com ação antibiótica ou antifúngica (Bhattacharyya & Jha, 2012; Lin et al., 2014).

Essas bactérias também podem impedir a formação de biofilmes de fitopatógenos na rizosfera (Reddy, 2014; Bhattacharyya & Jha, 2012) e induzir respostas de resistência da planta contra patógenos biotróficos e necrotróficos (Bitas et al., 2013; Farag et al., 2013; Wang et al., 2013).

Rizobactérias solubilizadoras de fosfato viabilizam a disponibilidade de fósforo para a planta, por meio da solubilização e mineralização do fósforo de fontes inorgânicas e orgânicas, respectivamente (Richardson, 2001). O principal efeito da solubilização de fosfato na promoção de crescimento de plantas está no aumento da biomassa e no teor de fósforo das plantas (Bashan et al., 2004).

A produção de fitormônios como auxinas, giberelinas e citocininas são considerados como principais processos reguladores naturais de crescimento das plantas, estando entre os principais compostos fornecidos pelas BPCP (MARCHIORO, 2005). Estudos relatam que 80% dos microrganismos isolados da rizosfera possuem a capacidade de sintetizar auxinas como metabólitos secundários, sendo o ácido indolacético (AIA), o principal (PATTEN e GLICK, 1996).

A fitormônio auxina está envolvido na divisão, extensão, divisão celular; estímulo à germinação das sementes; aumento da velocidade de desenvolvimento do xilema e das raízes; controle dos processos de crescimento vegetativo; início da formação das raízes laterais e adventícias; mediação das respostas à luz, gravidade e florescimento; influência na fotossíntese; formação de pigmentos; biossíntese de vários metabólitos, e a resistência a condições de estresse (TSAVKELOVA et al., 2007; GLICK, 2012) assim sendo um mecanismo muito importante.

Entre os principais grupos microbianos utilizados como rizobactérias promotoras de crescimento vegetal destacam-se espécies dos gêneros *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* e *Bacillus*.

Bactérias como as do gênero *Azospirillum* e *Rhizobium*, têm a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico e convertê-lo em formas acessíveis para as plantas, além da produção de fitormônios (Bertoncelli et al., 2017). A presença dessas bactérias no solo pode levar a um maior desenvolvimento das raízes, o que facilita a absorção de nutrientes, especialmente em condições de estresse, como períodos secos ou solos compactados. Elas atuam como inoculantes em culturas como milho, arroz, trigo e cana-de-açúcar, especialmente em gramíneas.

Certas BPCP como a *Pseudomonas*, estimulam respostas imunes das plantas, aumentando sua resistência a doenças e estresses, como a seca ou o excesso de sal (Rodríguez-Elizalde et al., 2024).

Apesar da importância desses microrganismos, o gênero *Bacillus* tem ganhado destaque especial na agricultura devido à sua elevada capacidade de sobrevivência em condições adversas, formação de esporos, versatilidade metabólica e eficiência na promoção do crescimento vegetal. Essas características tornam as espécies de *Bacillus* particularmente promissoras como bioinsumos, reforçando sua posição de destaque entre as BPCP mais utilizadas em sistemas agrícolas modernos.

4.5 O gênero *Bacillus* e suas aplicações agrícolas

As bactérias do gênero *Bacillus* spp, estão entre as mais abundantes na rizosfera e sua atividade como promotora de crescimento vegetal vem sendo muito estudada, tendo-se em vista que a prática da inoculação com BPCP pode estimular mecanismos desejáveis aos cultivos (SAHARAN, 2011).

As bactérias desse gênero são Gram positivas, possuem forma de bastonete, são formadoras de endósporos, se encontram de forma isolada, em pares ou filamentos de diferentes tamanhos, sendo a maioria aeróbia, podendo ter motilidade através de flagelos ou serem imóveis (LOGAN; de VOS, 20094 apud SANTOS, 2018).

Inúmeras pesquisas mostram a diversidade de *Bacillus* spp. encontrados nos solos (Polanczyk et al., 2004), isolando microrganismos de solos orizícolas, encontraram 772 colônias bacterianas, das quais 50,27% eram isolados de *Bacillus*.

Além da diversidade do gênero, o desenvolvimento de plantas mediado por *Bacillus* é realizada por meio de vários mecanismos, como a produção de fitohormônios, a mobilização do fosfato, estimuladores do crescimento, a produção de sideróforos e antibióticos, a inibição da síntese de etileno, a indução de resistência das plantas contra fitopatógenos e pela eliminação dos microrganismos deletérios e de seus metabólitos tóxicos presentes na zona radicular, além da fixação biológica de nitrogênio (LIMA et al., 2011).

Dentre as espécies mais utilizadas em ingredientes ativos de produtos biológicos comercializados no Brasil, estão: *B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis*, *B. methylotrophicus*, *B. pumilus*, *B. subtilis*, *B. thuringiensis* e *B. velezensis*; em 2022 havia um total de 104 produtos biológicos agrícolas registrados que contam com *Bacillus* em sua composição (Agrofit, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em 2022).

Kavamura et al. (2013) encontraram diversas bactérias do gênero *Bacillus* spp. em plantas cactáceas do bioma Caatinga, onde observaram em testes com plantas de milho o potencial de crescerem em condições de déficit hídrico, com a inoculação da bactéria endofítica proporcionou um aumento de 28,2% em comparação com plantas que não foram inoculadas.

Muitas culturas, como: milho (Ratz et al., 2017), soja (Araujo e Hungria, 1999), trigo (Luz, 2001), feijão (De Araújo et al., 2012), arroz (Beneduzi et al., 2008), tomate (Freitas e Pizzinatto, 1991) e alface (De Souza Moreira et al., 2010) apresentaram relatos de crescimento promovido pelo emprego de rizobactérias nas plantas. Nesses casos, o crescimento está relacionado a fatores como: maior produção de grãos, melhor germinação em estufa e no campo, melhor aproveitamento dos nutrientes, aumento do peso seco e da altura dos cultivares, entre outros.

4.6 *Bacillus aryabhatai*

No Brasil, *Bacillus aryabhatai* foi encontrado na rizosfera do mandacaru (*Cereus jamacaru*), cacto do bioma Caatinga. Na agricultura, a utilização de *B.aryabhatai* tem um amplo potencial e isso se deve aos benefícios que essa bactéria pode trazer para as plantas que vão desde o aumento da resistência aos estresses abióticos, como a seca, à disponibilização de nutrientes (Veloso, 2022).

O benefício mais promissor característico do *B.aryabhatai* está relacionado à maior resistência a seca conferida por essa rizobactéria. O *B.aryabhatai* produz compostos chamados de exopolissacarídeos que são sintetizadas pela planta e resguardados para acúmulo de energia para uso futuro, na qual auxiliam na sua sobrevivência em ambientes secos. Quando esses compostos se associam às plantas, eles formam uma espécie de biofilme nas raízes vegetais, diminuindo a desidratação em períodos de seca (Araújo, 2008).

Foram observados que a inoculação de uma cepa do *B. aryabhatai* promoveu um aumento significativo do tamanho dos brotos, folhas e nós das plantas, mesmo quando sob condições de estresse. Em outras culturas, como o arroz e o milho, o mesmo efeito da promoção de crescimento de plantas, mesmo em condições de estresse, tem sido observado com a inoculação dessa bactéria (Park et. al., 2017).

No Brasil, estudos recentes realizados pela Embrapa, mostram o desempenho do *B. aryabhatai* na agricultura. Em teste realizado com a inoculação da bactéria em mudas de cana-de-açúcar foi possível constatar que a espécie *B.aryabhatai* promove melhoria no desenvolvimento da cultura em condições de estresse hídrico (MAY, et al., 2019).

Com esse resultado da pesquisa, já estão sendo lançados e comercializados produtos no país a base de *B. aryabhataii* para utilização na produção agrícola com foco em melhorias da produção em situações de estresse hídrico, como exemplo o bioinsumo Auras, tecnologia desenvolvida pela Embrapa e produzida e distribuída, exclusivamente, pela Ciência e Tecnologia Agrícola (NOOA).

Resultados no plantio em gramíneas como o milho em estresse hídrico demonstraram que o produto a base de *B. aryabhataii* protegeu a cultura contra os efeitos do estresse, resultando na diminuição da inibição do crescimento induzido pela falta de água (Kavamura , et al.,2012).

5.MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido no segundo semestre de 2025, com início em setembro e finalização em dezembro de 2025, na casa de vegetação na área experimental Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada no Campus Pici (3°44'44"S 38°34'55" W, 24,19 m do nível do mar) em Fortaleza - Ceará, Brasil, (figura 1 e 2). De acordo com a classificação climatológica de Köppen, o clima local é 'As', o que corresponde ao clima tropical semiúmido.

Figura 1 – Casa de vegetação



Figura 2 – Área do experimento



Fonte: Autor (2025)

5.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial(5X2), contendo cinco tratamentos relativos a frequências de irrigação (F1, F2, F3, F4 e F5) e duas condições de inoculação (com ou sem *Bacillus aryabhatai*), totalizando 40 unidades amostrais. (figura 3 e 4).

Figura 3 - Croqui da área experimental

Bloco 1	F1 B+	F3 B-	F2 B+	F5 B-	F4 B+	F1 B-	F3 B+	F2 B-	F5 B+	F4 B-
Bloco 2	F2 B-	F4 B+	F1 B+	F3 B-	F5 B+	F2 B+	F4 B-	F1 B-	F3 B+	F5 B-
Bloco 3	F5 B+	F1 B-	F4 B-	F2 B+	F3 B+	F5 B-	F1 B+	F4 B+	F2 B-	F3 B-
Bloco 4	F3 B-	F5 B+	F2 B-	F4 B+	F1 B+	F3 B+	F5 B-	F2 B+	F4 B-	F1 B-

F1:irrigação diária

F2:irrigação a cada 2 dias

F3:irrigação a cada 3 dias

F4:irrigação a cada 4 dias

F5:irrigação a cada 5 dias

B+: com Bacillus

B-: sem Bacillus

Fonte: Autor (2025)

Figura 4 – Implementação do experimento



Fonte: Autor (2025)

5.3 Tratamento das sementes

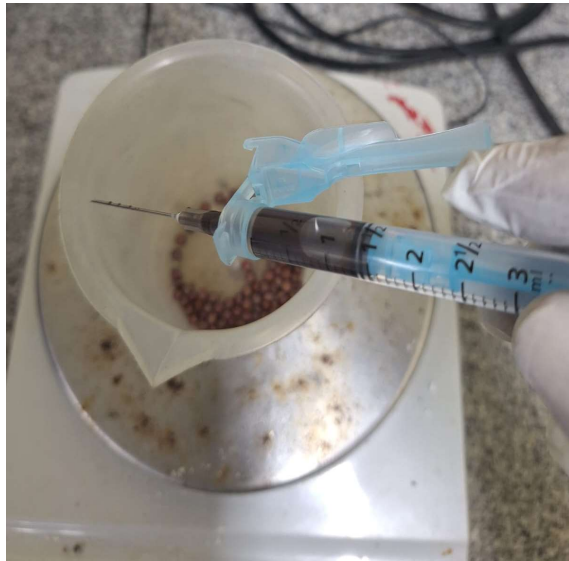
O método usado foi o tratamento de sementes (TS). A inoculação das sementes (Figura 6) foi realizada em 24/09/25, previamente à sementeira, utilizando-se o produto comercial Auras® que contém a cepa *B.aryabhattai* CMAA 1363. Foram aplicados um volume de 0,5 mL do produto para cada lote de 80 sementes sorgo granífero híbrido LAS 1501(Figura 5), a fim de uma homogeneização completa para recobrir todas as sementes. Após a inoculação, as sementes permaneceram em repouso à sombra por aproximadamente 30 minutos, visando à adequada adesão do inoculante, sendo posteriormente utilizadas na sementeira.

Figura 5 –sorgo LAS1501



Fonte: Autor (2025)

Figura 6 – Tratamentos das sementes



Fonte: Autor (2025)

5.4 Condução do experimento

O experimento foi conduzido em vasos de 18 L com capacidade para 20kg de solo. Foi realizado o preparo do substrato utilizado no experimento em 25/08/00, composto por uma mistura de 5:3:2, combinando 5 partes de solo provenientes das escavações perfil de 0 a 20cm, 3 partes de areia grossa e 2 partes de bioinsumo produzido na composteira da estação meteorológica.

Além disso, foi realizada a adubação de fundação uma semana antes da semeadura, em 18/09/25, de acordo com exigências nutricionais da cultura do sorgo. Na adubação de plantio foram aplicados 67 g vaso⁻¹ superfosfato simples(P₂O₅) e 21 g vaso⁻¹ de cloreto de potássio (KCl). O nitrogênio foi fornecido via ureia (45% de N) por fertirrigação, sendo aplicado de forma parcelada, totalizando 33,3 g vaso⁻¹ ao longo do ciclo e também foi usada ureia convencional parcelada 2 vezes (fundação e cobertura).

A semeadura do experimento aconteceu no dia 24 de setembro de 2025, foi realizada na profundidade de 5 cm, sendo semeadas 4 sementes em cada vaso, e posteriormente feito o processo de desbaste, deixa apenas duas plantas por vaso, sendo que no dia 6 de outubro foi necessário refazer o replantio em alguns vasos em que não se teve a emergência do sorgo.

O manejo da irrigação ocorreu de forma manual, com o uso de proveta graduada (Figura 7), durante toda a condução do experimento, seguindo as frequências estabelecidas para cada tratamento. Foi utilizado um volume médio de aproximadamente $2,5 \text{ L vaso}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, estimado a partir do consumo de água das plantas, mensurado por meio de lisímetro. Esse volume foi acumulado e aplicado integralmente no dia correspondente à irrigação de cada tratamento, mantendo-se o mesmo volume total de água ao longo do período, variando apenas a frequência de aplicação.

Quanto ao manejo fitossanitário, realizou-se apenas o controle manual de plantas daninhas visto que o experimento ocorreu em ambiente protegido, e também a proteção da panícula com redes de proteção.

5.5 Análises biométricas

No presente trabalho foram avaliadas cinco características: altura (ALT), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), massa da panícula (MP) e o tempo de colheita (TC). A coleta desses dados foi feita em ciclos de 23, 46 e 69 dias após o plantio (DAS). A aplicação das diferentes frequências de irrigação teve início após a avaliação aos 23 DAS, sendo os efeitos dos tratamentos analisados a partir das avaliações realizadas aos 46 e 69 DAS.

A ALT foi mensurada utilizando uma trena graduada em centímetros (Figura 7) feita da base da planta, rente ao solo, até a base da panícula ou folha bandeira. O DC foi avaliado na região do colo da planta com um paquímetro digital (Figura 7), sendo os valores expressos em milímetro; ambos parâmetros foram mesurados nos três períodos: 23, 46 e 69 DAS.

A AF foi mensurada a partir de folhas representativas presente no sorgo, usando uma trena a fim de obter comprimento e largura da folha. Utilizou-se o método estimativa por dimensões lineares (Figura 7) com fator de correção de 0,794. A medição foi realizada a 46 e 69 DAS.

Ao final do ciclo da cultura, 22/12/25, foi avaliado a produtividade da cultura, colhendo-se a panícula das plantas para ser feita a pesagem da MP em gramas. Bem como, foi registrado o TC, sendo o número de dias entre a semeadura até as panículas apresentaram maturação fisiológica (Figura 7).

Figura 7 -Parâmetros a serem avaliados, (A) Medição da altura, (B) Medição do diâmetro, (C) medição da área foliar, (D) Panícula pronta para colheita, (E) Irrigação.



Fonte: Autor (2025)

5.6 Análise estatística

Após a obtenção dos dados, os mesmos foram submetidos a análise de variância (ANOVA), para avaliar significância dos resultados. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey em 1% e 5% de probabilidade ($p < 0.01$) e ($p < 0.05$), respectivamente. As análises estatísticas foram realizadas no software Rstudio. Após isso foi possível a elaboração de tabelas que possibilitaram a observação dos resultados obtidos.

6. RESULTADOS

6.1 Crescimento vegetativo do sorgo

6.1.1 Altura e diâmetro com 23 DAS

A análise de variância realizada aos 23 dias após a semeadura (DAS), considerando apenas o fator inoculação e o efeito de blocos, indicou que não houve efeito significativo da inoculação com *Bacillus* sobre a altura, diâmetro do colmo das plantas no período inicial de desenvolvimento do sorgo (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância para altura e diâmetro com 23 DAS, considerando apenas a inoculação.

Fonte de variação	GL	ALT	DC
Bloco	3	15,28 .	6,69 ns
Inoculação	1	1,72 ns	5,11 ns
Resíduo	27	5,83	5,69
CV (%)	-	12,4	14,6

Legenda: ns = não significativo; . = significativo a 10%; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%.

6.2.2 Altura e diâmetro com 46 DAS

Os tratamentos influenciaram a altura e o diâmetro das plantas aos 46 dias; para a variável altura, observou-se efeito significativo de blocos e tratamentos ao nível de 1% de probabilidade. A inoculação apresentou efeito significativo a 5% para a variável altura, sendo observada interação significativa entre tratamento e inoculação, o que evidencia resposta dos tratamentos na altura das plantas foi dependente da presença ou ausência de inoculação.

A variável diâmetro com 46 DAS, também apresentou efeito significativo dos tratamentos ao nível de 1% de probabilidade. A inoculação não apresentou efeito significativo isoladamente, entretanto a interação entre frequência e inoculação foi significativa a 5%, indicando que a resposta dos tratamentos no diâmetro das plantas foi dependente da inoculação, resultados esses apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Análise de variância para altura e diâmetro aos 46 (DAS).

Fonte de variação	GL	ALT	DC
Bloco	3	583,3 **	25,65 ns
Tratamento	4	1238,2 **	80,99 **
Inoculação	1	490,7 *	11,24 ns
Trat. × Inoc.	4	325,7 **	45,11 **
Resíduo	27	108,4	13,97
CV (%)	-	9,1	10,2

Legenda: ns = não significativo; . = significativo a 10%; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%.

As médias de altura e diâmetro das plantas aos 46 dias após o plantio, em função da frequência de irrigação e da inoculação com *Bacillus*, estão apresentadas nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. A interação significativa entre a frequência de irrigação e a inoculação evidencia uma resposta das plantas ao manejo hídrico em associação com o *B. aryabhatai*.

Para a variável altura, na presença de *B. aryabhatai*, a irrigação diária (F1) proporcionou a maior média (74,00 cm), diferindo estatisticamente da irrigação a cada quatro dias (F4). As frequências F2, F3 e F5 apresentaram valores intermediários, não diferindo entre si. Na ausência de Bacillus, observou-se redução progressiva da altura das plantas com o aumento do intervalo entre irrigações, sendo as maiores médias registradas em F1 e F2, enquanto as menores ocorreram nas frequências F4 e F5, evidenciando maior sensibilidade das plantas ao estresse hídrico quando não inoculadas (Tabela 3).

Tabela 3. Médias das alturas(cm) com e sem inoculação com 46 DAS.

Frequência de irrigação	Com Bacillus	Sem Bacillus
F1	74,00 a	68,25 a
F2	55,25 ab	64,75 ab
F3	53,50 ab	43,50 bc
F4	44,75 b	41,75 c
F5	54,65 ab	28,87 c

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação ao diâmetro das plantas, na presença de Bacillus, a irrigação diária (F1) resultou no maior diâmetro médio (34,45 mm), diferindo da irrigação a cada dois dias (F2), enquanto as demais frequências apresentaram valores intermediários. Na ausência do inoculante, as maiores médias de diâmetro foram observadas nas frequências F1 e F2, ao passo que os menores valores ocorreram em F4 e F5, demonstrando que o aumento do intervalo entre irrigações comprometeu o crescimento radial das plantas, sobretudo quando não há inoculação (Tabela 4).

Tabela 4. Médias dos diâmetros(mm) com e sem inoculação aos 46 DAS

Frequência de irrigação	Com Bacillus	Sem Bacillus
F1	34,45 a	35,32 a
F2	27,00 b	33,35 a
F3	32,35 ab	28,98 ab
F4	28,27 ab	25,02 b
F5	30,22 ab	24,77 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

6.2.3 Altura e diâmetro com 69 DAS

Já com 69 DAS, verificou-se efeito significativo dos tratamentos sobre a altura das plantas ao nível de 1% de probabilidade ($p \leq 0,01$). A inoculação apresentou efeito significativo apenas ao nível de 10% ($0,05 < p \leq 0,10$). Não foi observada interação significativa entre tratamento e inoculação, o que evidencia que o efeito dos tratamentos ocorreu de forma independente da inoculação nessa fase do ciclo.

No diâmetro, com 69 dias após o plantio, não se obteve efeitos significativos de blocos, inoculação e da interação entre tratamento e inoculação ao nível de 5% de probabilidade. Os Tratamentos apresentaram efeito significativo apenas ao nível de 10% de probabilidade, o que mostra uma leve tendência de resposta do diâmetro às práticas avaliadas nessa fase do ciclo, como demonstra a Tabela 5.

Tabela 5. Análise de variância para altura e diâmetro aos 69 DAS.

Fonte de variação	GL	Altura	Diâmetro
Bloco	3	63,4 ns	3,51 ns
Tratamento	4	1847,2 **	45,91 .
Inoculação	1	624,1 .	17,56 ns
Trat. × Inoc.	4	251,1 ns	12,10 ns
Resíduo	27	199,2	18,83
CV (%)	-	8,7	11,8

Legenda: ns = não significativo; . = significativo a 10%; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%.

Com 69 dias após o plantio, observou-se que o tratamento F1 apresentou a maior média de altura (109,63 cm), diferindo estatisticamente dos tratamentos F3, F4 e F5. O tratamento F2 apresentou comportamento intermediário, não diferindo de F1 e F3. Os menores valores de altura foram observados no tratamento F5, conforme teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para a variável diâmetro do colmo, aos 69 dias após o plantio, não foi observado efeito significativo dos tratamentos, conforme análise de variância, não sendo realizada a comparação de médias (Tabela 6).

Tabela 6. Médias da altura(cm)das plantas aos 69 DAS.

Frequência de irrigação	ALT
F1	109,63 a
F2	96,38 ab
F3	86,63 bc
F4	76,50 bc
F5	72,13 c

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

6.2 Área foliar

Para a variável área foliar, aos 46 dias após o plantio, verificou-se efeito significativo dos tratamentos ($p < 0,001$), enquanto não foram observados efeitos significativos da inoculação e da interação tratamento \times inoculação, conforme análise de variância. Já para os 69 dias após o plantio, a análise de variância também indicou efeito significativo dos tratamentos sobre a área foliar ($p < 0,01$), mas não sendo observados efeitos da inoculação e nem da interação tratamento \times inoculação (Tabela 7).

Tabela 7. Análise de variância da área foliar aos 46 e 69 DAS.

Fonte de variação	GL	AF 46 DAS	AF 69 DAS
Bloco	3	3243 ns	1547,6 ns
Tratamento	4	33219 ***	52718 **
Inoculação	1	950 ns	3826 ns
Trat. \times Inoc.	4	7214 ns	4288 ns
Resíduo	27	4104	9452
CV (%)	-	13,55	19,50

Legenda: ns = não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a 0,1% de probabilidade.

De acordo com teste de médias, a área foliar, aos 46 dias após o plantio, observou-se efeito significativo dos tratamentos. O tratamento F1 apresentou a maior média de área foliar (563,18 cm²), diferindo estatisticamente dos tratamentos F3, F4 e F5. O tratamento F2 apresentou comportamento intermediário, não diferindo de F1 e F3, enquanto o tratamento F5 apresentou a menor média, conforme efeito significativo ($p \leq 0,05$). Com 69 DAS, o tratamento F1 manteve superioridade (590,82 cm²), não diferindo estatisticamente de F2, enquanto F5 apresentou a menor área foliar.

Tabela 8. Médias da área foliar das plantas aos 46 e 69 DAS.

Frequência de irrigação	AF 46 DAS (cm ²)	AF 69 DAS (cm ²)
F1	563,18 a	590,82 a
F2	512,54 ab	537,59 a
F3	455,47 bc	467,22 ab
F4	423,55 bc	511,49 ab
F5	408,49 c	375,29 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

6.3 Indicadores de produtividade

6.3.1 Massa da panícula

A análise de variância indicou efeito significativo da frequência de irrigação, da inoculação com *Bacillus aryabhatai* e da interação entre esses fatores para a massa da panícula do sorgo ($p \leq 0,05$).

Esses resultados evidenciam que a resposta produtiva da cultura foi influenciada tanto pelo manejo hídrico quanto pela inoculação bacteriana, sendo o efeito das frequências de irrigação dependente da presença ou ausência de *B.aryabhatai*(Tabela 9).

Tabela 9. Análise de variância para massa da panícula

Fonte de variação	GL	MP (QM)
Bloco	3	337 ns
Tratamento	4	5282 ***
Inoculação	1	3846 **
Trat. × Inoc.	4	2209 ***
Resíduo	27	297
CV (%)	-	12,4

Legenda: ns = não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a 0,1% de probabilidade.

Na presença do *B. aryabhatai*, as maiores massas de panícula foram observadas nas frequências de irrigação F1 e F3, que não diferiram estatisticamente entre si. As frequências F2 e F4 apresentaram valores intermediários, enquanto a menor massa foi registrada na frequência F5, indicando que o aumento do intervalo entre irrigações compromete a produtividade, mesmo com a inoculação.

Na ausência de *B. aryabhatai*, a irrigação diária (F1) também proporcionou a maior massa de panícula (92,61 g), diferindo das demais frequências. A irrigação a cada dois dias (F2) apresentou valor intermediário, enquanto as frequências F3, F4 e F5 resultaram nas menores massas, não diferindo entre si. Esses resultados evidenciam acentuada redução da produtividade sob maiores intervalos de irrigação quando não há inoculação (Tabela 10).

Tabela 10. Médias da massa da panícula com e sem inoculação do *Bacillus*

Frequência de Irrigação	Massa da panícula (g) – Com <i>Bacillus</i>	Massa da panícula (g) – Sem <i>Bacillus</i>
F1	86,16 a	92,61 a
F2	49,35 ab	64,16 b
F3	84,48 a	15,23 c
F4	44,85 ab	15,98 c
F5	34,88 b	13,67 c

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

6.3.2 Tempo de colheita

Observou-se que não houve efeito significativo da interação entre frequência de irrigação e inoculação ($p > 0,05$), indicando que esses fatores não atuaram de forma dependente sobre o tempo até a colheita. Entretanto, observou-se efeito significativo ($p \leq 0,001$) da frequência de irrigação sobre o tempo de colheita, o que mostra que diferentes intervalos de irrigação influenciaram diretamente a duração do ciclo da cultura.

A inoculação com *B. aryabhatai* também apresentou efeito significativo ($p \leq 0,05$), indicando que a presença do inoculante alterou o tempo necessário para que as plantas atingissem o ponto de colheita. A ausência de interação significativa entre os fatores indica que o efeito da frequência de irrigação sobre o tempo de colheita ocorreu de forma semelhante tanto

na presença quanto na ausência de *B. aryabhatai*. Logo, os efeitos dos principais fatores podem ser interpretados de maneira independente, conforme a Tabela 11.

Tabela 11. Análise de variância para o tempo de colheita do sorgo

Fonte de variação	GL	Tempo da colheita
Bloco	3	16,6 ns
Tratamento	4	399,5 ***
Inoculação	1	176,4 *
Trat. × Inoc.	4	46,5 ns
Resíduo	27	25,9
CV (%)	-	6,2

Legenda: ns = não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a 0,1% de probabilidade.

O teste de Tukey apresentou que as maiores frequências de irrigação influenciaram significativamente o tempo de colheita do sorgo. Os tratamentos F5 e F4 apresentaram maior número de dias até a colheita (87- 89 dias), diferindo estatisticamente de F1 e F2 (~73 dias), que promoveram uma colheita mais precoce. O tratamento F3 apresentou comportamento intermediário, não diferindo dos demais grupos.

Tabela 12. Médias do tempo de colheita do sorgo.

Frequência de irrigação	Tempo de colheita(dias)
F1	73,12 b
F2	74,50 b
F3	83,00 a
F4	86,62 a
F5	88,75 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O fator inoculação de forma isolada, verificou-se que plantas inoculadas com *B. aryabhatai* apresentaram redução significativa no tempo médio até a colheita em relação às plantas não inoculadas ($p \leq 0,05$), mas não sendo observada interação significativa com as frequências de irrigação (Tabela 13).

Tabela 13. Médias do tempo de colheita do sorgo com base na presença do *B. aryabhatai*.

Inoculação	Tempo de colheita(dias)
Com <i>B. aryabhatai</i>	79 b
Sem <i>B. aryabhatai</i>	83 a

7. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que as frequências de irrigação e a inoculação com *B.aryabhatai* influenciaram de maneira distinta o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade do sorgo ao longo do ciclo da cultura. As respostas observadas variaram conforme a fase fenológica avaliada, refletindo a interação entre o regime hídrico imposto pelas diferentes frequências de irrigação, sendo o principal fator ambiental avaliado no estudo, junto com os processos fisiológicos da planta e as práticas de manejo adotadas no experimento.

A ausência de diferenças significativas aos 23 DAS sugere que o curto período de avaliação correspondente à fase inicial de desenvolvimento da cultura do sorgo, no qual o sistema radicular ainda se encontra em formação, pode não ter sido suficiente para que a inoculação expressasse seus efeitos de forma mais evidente. Além disso, por se tratar de um período anterior à aplicação dos tratamentos de frequência de irrigação as condições sob a disponibilidade hídrica foram uniformes, fato esse que pode ter limitado efeitos da inoculação, na qual tende a ser mais evidente em estádios fenológicos mais avançados do sorgo (Gransee e Wittenmayer, 2000 ; Mougél et al., 2006 ; Broeckling et al., 2008 ; Houlden et al., 2008 ; Badri e Vivanco, 2009 ; Micallef et al., 2009 ; Badri et al., 2013 ; Kristin e Miranda, 2013).

Os resultados obtidos para altura e diâmetro das plantas aos 46 dias após o plantio demonstram que o crescimento vegetativo inicial do sorgo foi significativamente influenciado pela frequência de irrigação e pela inoculação com *B. aryabhatai*, bem como pela interação entre esses fatores.

Os dados apontam que a resposta das plantas ao manejo hídrico depende da associação com o inoculante biológico, reforçando o papel das bactérias promotoras de crescimento vegetal no desenvolvimento inicial da cultura.

As maiores médias de altura e diâmetro foram observadas sob condições de maior disponibilidade hídrica, especialmente na irrigação diária (F1); uma vez que o suprimento adequado de água favorece processos fisiológicos fundamentais ao crescimento vegetal, como divisão e expansão celular, alongamento dos tecidos e transporte de assimilados, resultando em maior crescimento em altura e maior espessamento do colmo (TAIZ et al., 2017).

À medida que o intervalo entre irrigações aumentou, verificou-se redução progressiva dessas variáveis, caracterizando os efeitos do estresse hídrico.

Observou-se que a inoculação do *B. aryabhatai* contribuiu para a manutenção de maiores valores de altura e diâmetro, especialmente em frequências de irrigação intermediárias. Plantas inoculadas apresentaram crescimento mais equilibrado quando submetidas a maiores intervalos entre irrigações, enquanto plantas não inoculadas sofreram reduções mais acentuadas. Tal fenômeno pode estar relacionado com a capacidade de *B. aryabhatai* estimulando o desenvolvimento do sistema radicular e aumentando a eficiência na absorção de água e nutrientes (LEE et al., 2012; SINGH et al., 2018).

É de conhecimento que o gênero *Bacillus* é reconhecido por sua habilidade em produzir fitormônios, como auxinas e giberelinas, que desempenham papel essencial no alongamento celular e no crescimento dos tecidos vegetais. A produção desses compostos pode explicar os maiores valores de altura e diâmetro observados em plantas inoculadas, mesmo sob condições de menor disponibilidade hídrica (SINGH et al., 2018).

Segundo pesquisas, plantas associadas a essa espécie de bactéria tendem a apresentar maior estabilidade metabólica sob condições de déficit hídrico, o que contribui para a manutenção do crescimento vegetativo em ambientes com restrição de água (PARK et al., 2017). Essa característica explica a menor redução de altura e diâmetro observada nas plantas inoculadas em comparação às não inoculadas sob maiores intervalos de irrigação.

Aos 69 dias, as frequências de irrigação continuaram exercendo efeito significativo sobre a altura das plantas, demonstrando que a disponibilidade hídrica influenciou o crescimento do sorgo mesmo em estádios mais avançados de desenvolvimento. O tratamento F1 apresentou a maior média de altura, diferindo estatisticamente dos tratamentos F3, F4 e F5, o que demonstra sua superioridade em promover crescimento vegetativo contínuo.

A ausência de interação significativa entre tratamento e inoculação indica que, nessa fase, o efeito dos tratamentos ocorreu de forma mais independente da ação direta dos microrganismos. Os efeitos de bactérias promotoras de crescimento vegetal tendem a ser mais evidentes nas fases iniciais e intermediárias do desenvolvimento das plantas, período em que há maior estímulo à formação do sistema radicular e à absorção de nutrientes (Hungria et al).

Para a variável diâmetro do colmo, não foram observados efeitos significativos aos 69 dias após o plantio, indicando que essa característica tende a se estabilizar ao final do ciclo vegetativo. Segundo Taiz et al., após o período de crescimento vegetativo mais intenso, o diâmetro do colmo apresenta menor plasticidade, tornando-se menos responsivo às variações de manejo hídrico.

Com 46 e 69 dias após o plantio, os tratamentos com maior frequência de irrigação, especialmente o tratamento F1 (irrigação diária), apresentaram as maiores médias de área foliar, indicando que o suprimento contínuo de água favoreceu a expansão foliar e a manutenção do crescimento vegetativo.

Aos 46 DAS, fase caracterizada por intenso crescimento vegetativo, a maior frequência do suprimento de água (F1) favoreceu a expansão celular e o desenvolvimento das folhas, posteriormente com 69 DAS, a constância de maiores valores de área foliar nos tratamentos com maior frequência de irrigação indica maior persistência da superfície fotossintética ao longo do ciclo da cultura.

Logo, tais resultados reafirmam que a expansão das folhas é altamente dependente do estado hídrico da planta, uma vez que a turgescência celular é fundamental para o alongamento e a expansão dos tecidos foliares (Farooq et al. 2009; Taiz et al. 2017).

Em relação à inoculação com *B. aryabhatai*, não foi observado efeito significativo isolado sobre a área foliar nas avaliações realizadas, indicando que a expansão foliar foram predominantemente influenciadas pela disponibilidade hídrica.

No entanto, a literatura aponta que a ação de bactérias promotoras de crescimento vegetal pode contribuir indiretamente para o desenvolvimento foliar quando associada a condições ambientais favoráveis, produzindo fitormônios que contribuem para crescimento vegetativo (Hungria et al. 2013).

Já a massa da panícula é um dos principais indicadores da produtividade do sorgo, pois reflete diretamente a eficiência da planta em converter o crescimento vegetativo e os recursos ambientais em produção reprodutiva. Os resultados neste estudo demonstraram que a massa da panícula foi significativamente influenciada pela frequência de irrigação e pela inoculação com *B. aryabhatai*, bem como pela interação entre esses fatores, o que indica uma resposta produtiva da cultura com a associação entre manejo hídrico e uso do inoculante biológico.

Assim como nos parâmetros anteriormente analisados (altura, diâmetro e área foliar), os maiores valores relativos às massas da panícula ocorreram sob condições de maior disponibilidade hídrica, maior na irrigação diária (F1), tanto na presença quanto na ausência de inoculação. Esse resultado é coerente com a importância da disponibilidade de água nos processos fisiológicos envolvidos na fase reprodutiva, como fotossíntese, transporte de fotoassimilados e enchimento dos grãos, na qual influenciam no acúmulo final de matéria seca na panícula (TAIZ et al., 2017). Como esperado, o intervalo maior entre as irrigações causou uma redução significativa da massa da panícula.

Contudo, a inoculação com *B. aryabhatai* promoveu efeito positivo sobre a massa da panícula, sobretudo em frequências de irrigação menores (F2 e F4), nas quais plantas inoculadas apresentaram maior produtividade em comparação às não inoculadas. Esse resultado indica que a inoculação foi capaz de atenuar parcialmente os efeitos negativos do déficit hídrico, contribuindo para maior estabilidade produtiva do sorgo.

Estudos relatam que *B. aryabhatai* atua como bactéria promotora de crescimento vegetal, favorecendo a absorção de água e nutrientes, além de estimular o desenvolvimento radicular, o que amplia a exploração do solo e melhora o suprimento hídrico em condições limitantes (LEE et al., 2012; PARK et al., 2017), principalmente a alocação eficiente de assimilados para os órgãos reprodutivos.

O estresse hídrico em plantas não inoculadas revela o impacto do estresse hídrico na fase reprodutiva do sorgo. A limitação de água durante esse período reduz a translocação de fotoassimilados e o enchimento das estruturas reprodutivas e conseqüentemente, menor produtividade.

Já a inoculação de bactérias promotoras de crescimento torna-se uma das estratégias para mitigar perdas produtivas em sistemas agrícolas sujeitos à escassez hídrica, visto que os resultados deste estudo demonstram uma maximização da massa da panícula não apenas como manejo adequado da irrigação, mas com a associação do *B. aryabhatai* que gerou uma maior estabilidade produtiva sob diferentes condições hídricas.

Em relação ao tempo de colheita, o sorgo foi influenciado significativamente pela frequência de irrigação e pela inoculação com *B. aryabhatai*, mas sem efeito da interação entre esses dois fatores. Os tratamentos com maiores intervalos entre irrigações (F4 e F5) resultaram em aumento do tempo até a colheita, enquanto frequências mais curtas (F1 e F2) obtiveram colheita mais precoce.

Mesmo que o sorgo seja uma cultura reconhecidamente tolerante à seca, ainda assim apresenta redução na taxa de desenvolvimento quando submetida a déficit hídrico, especialmente em fases reprodutivas. Então, o estresse hídrico pode retardar processos como floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, prolongando o ciclo da cultura (TAIZ et al., 2017; FAROOQ et al., 2009).

Embora o efeito da presença de *B. aryabhatai* tenha ocorrido de forma independente das frequências de irrigação, verificou-se redução no tempo médio de colheita em plantas inoculadas (79,1 dias) em comparação às não inoculadas (83,3 dias), evidenciando que a presença do microrganismo contribuiu para antecipar o ciclo da cultura.

A ausência de interação significativa entre frequência de irrigação e inoculação indica que, embora ambos os fatores influenciem o tempo de colheita, a resposta da cultura à irrigação não foi alterada pela inoculação com *B. aryabhatai*. Logo, nesse caso, o manejo hídrico permanece como o principal fator determinante da duração do ciclo, enquanto a inoculação atua como um componente adicional de ajuste fisiológico, contribuindo para a antecipação da colheita independentemente do regime de irrigação adotado.

De forma integrada, os resultados demonstram que a adoção de frequências de irrigação mais adequadas, associada à inoculação com *B. aryabhatai*, pode favorecer não apenas a produtividade, mas também a precocidade da cultura, aspecto de grande relevância agrônômica, especialmente em regiões semiáridas, onde a antecipação da colheita pode reduzir riscos associados à escassez hídrica e otimizar o uso dos recursos disponíveis.

8. CONCLUSÃO

As variáveis de crescimento e produtividade analisadas no sorgo granífero híbrido LAS 1501 foram influenciadas significativamente pelas frequências de irrigação aplicadas, visto que as maiores frequências proporcionaram um melhor desenvolvimento vegetativo na cultura, sendo observado em valores maiores de altura, diâmetros e área foliar da planta. Em paralelo a isso, também foi notório um aumento da massa panícula no final do ciclo, bem como a obtenção de uma colheita mais precoce. Por outro lado, frequências menores evidenciaram o estresse hídrico sofrido, refletindo nas reduções das variáveis já citadas.

O inoculante utilizado, a base *B. aryabhatai*, mostrou-se positivo nas fases de intenso crescimento vegetativo, como em 46 DAS, além de ter proporcionado melhores características produtivas. Somado a isso, a interação com o *B. aryabhatai* mitigou efeitos negativos oriundos de frequências menores da irrigação, o que demonstra a eficiência do uso de BPCPs.

Portanto, esses resultados sugerem que um adequado manejo de irrigação com o uso de bioinsumos, como o *B. aryabhatai*, podem contribuir para a redução do estresse hídrico, além de um manejo mais sustentável da cultura, sendo uma alternativa promissora para a implementação do sorgo em regiões semiáridas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Shislaine Laira Valadares. **Amenização do estresse de fósforo usando *Bacillus* na produtividade da soja**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/40907/1/Ameniza%C3%A7%C3%A3oEstresseF%C3%B3sforo.pdf>
- BACKER, R.; ROKEM, J. S.; ILANGUMARAN, G.; LAMONT, J.; PRASLICKOVA, D.; RICCI, E.; SUBRAMANIAN, S.; SMITH, D. L. **Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture**. *Frontiers in Plant Science*, v. 9, 2018. DOI: 10.3389/fpls.2018.01473.
- BALBINOT, William Gilberto. **Inoculação de *Bacillus* sp. na cultura do milho (*Zea mays* L.) como promotor de crescimento**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, 2018. Disponível em: https://lmpcp.paginas.ufsc.br/files/2021/08/TCC_final_balbinot_-_Associa%C3%A7%C3%A3o-de-Rizobact%C3%A9rias-Promotoras-do-Crescimento-vegetal-com-a-aduba%C3%A7%C3%A3o-nitrogenada-na-cultura-do-milho.pdf
- BLUM, A. **Plant breeding for water-limited environments**. New York: Springer, 2011.
- BUBANZ, Hislley Campos Soares. **Potencial de rizobactérias para a promoção de crescimento vegetal**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Cerro Largo, 2018. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/2367/1/BUBANZ.pdf>
- CORDEIRO, Caroline Campos. **Análise de pangenoma de bactérias do gênero *Bacillus* spp. relacionadas com bioinsumos agrícolas brasileiros**. 2023. Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Biologia Molecular – Habilitação Bioinformática – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos, 2023. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/32895/1/pangenomagenerobacillus.pdf>

DUARTE, Naiara Lopes. **Cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench): uma revisão sobre sua versatilidade tecnológica, processamento e pós-colheita**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/4704/1/NaiaraLopesDuarte.pdf>

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. **Plant drought stress: effects, mechanisms and management**. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 29, n. 1, p. 185–212, 2009. DOI: 10.1051/agro:2008021.

FURTADO, João Igor Fraga; OLIVEIRA, Isabela Cristina Martins; ANDRADE, Camilo de Leles Teixeira de; SIMEÃO, Rosângela Maria. **Análise técnica da irrigação subótima na cultura do sorgo em consórcio com espécies forrageiras**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, n. 211, 39 p. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126365/1/Bol-211.pdf>

GARCIA JUNIOR, Claudinei Ferreira; SIMONETTI, Ana Paula Morais Mourão; VALLE, Kelly Jackeline Silva do. **Tratamento de sementes com a utilização de *Bacillus aryabhatai* em diferentes doses na cultura da soja**. In: Ciências agrárias: práticas e inovações. Ponta Grossa: Atena Editora, 2024. p. 91-102. Disponível em:

<https://atenaeditora.com.br/catalogo/download-post/87730>

GOMIDES, Larissa Lorrayne Rodrigues. **Isolamento de rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCP) em cana-de-açúcar**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Ceres, Ceres-GO, 2022. Disponível em:

<https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/2568/1/TC%20-%20Larissa%20okkk.pdf>

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. **Inoculação de bactérias promotoras de crescimento em plantas**. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

LOPES, Maria de Fátima de Queiroz. **Qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino em função da densidade de plantio**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2016.

Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/36735/1/2016_tcc_mfqlopes.pdf

MARIN, Lucas Antonio. **Bactérias promotoras de crescimento na cultura do trigo**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, 2025. Disponível em:

<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/36350/1/bacteriaspromotorascrescimentoculturatrigo.pdf>

MENEZES, Cícero Beserra de; FERNANDES, Evandro de Abreu; PARRELLA, Rafael Augusto da Costa; SCHAFFERT, Robert Eugene; RODRIGUES, José Avelino Santos.

Importância do sorgo para o abastecimento de grãos, forragem e bioenergia no Brasil.

In: MENEZES, C. B. de (ed.). *Melhoramento genético de sorgo*. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 13-58. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1138284>

NASCIMENTO, Maílson Ferreira. **Avaliação dos caracteres agronômicos de cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) na região de Humaitá, AM**. Relatório Final de Iniciação Científica (PIBIC) – Universidade Federal do Amazonas, Campus Vale do Rio Madeira – CVRM, 2013. Disponível em:

https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/3000/1/Relat%C3%B3rio_final_-_PIBIC.pdf

NDOUNG, Ornelle Christiane Ndoung. **Potencial de *Bacillus aryabhatai* para o controle de *Meloidogyne incognita* na cultura do milho**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/28016>

NÓBREGA, Renan Ferreira da. **Efeito da salinidade e lâminas de irrigação sobre o crescimento e produtividade do sorgo**. 2020. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2020. Disponível em:

<https://ppgmsa.ufersa.edu.br/wpcontent/uploads/sites/59/2021/02/Disserta%C3%A7%C3%A3o-RENAN-FERREIRA-DA-NOBREGA.pdf>

OKAMURA, Bruno Massami. **Uso de *Bacillus aryabhatai* na cultura do milho (*Zea mays*)**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Universidade de Sorocaba, Sorocaba-SP, 2023. Disponível em:

<https://repositorio.uniso.br/server/api/core/bitstreams/cef521d8-3f5e-49ce-83c3-6545d4d433e4/content>

PEREIRA DOS PASSOS, Paula. **Bactérias promotoras de crescimento no desempenho do milho cultivado sob estresse hídrico.** 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônoma) – Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Campus III – Juazeiro-BA, 2025. Disponível em:<https://saberaberto.uneb.br/server/api/core/bitstreams/ac1c7382-a802-46b6-be8c-f04557580952/content>

RAMOS, Ruan Diego Vieira. **Desempenho agrônomo de sorgo granífero em Rio Verde – GO.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, 2023. Disponível em:https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/3862/1/TCC_RUAN%20RAMOS.pdf

RUARO, Jean Roberto. **Efeito de *Bacillus aryabhattai* sobre o comportamento fisiológico de sementes e plantas de soja em condições de estresse hídrico.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos, 2023. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/33603>

SANTOS, Brendon de Alcântara. **Manejo de bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas no crescimento e produtividade da cultura da soja.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Campus de Dracena, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/e2e3abb2-d9b2-40d1-987e-0147b217a578/content>

SANTOS, Roberta Mendes. **Isolamento, caracterização e identificação de rizobactérias com habilidades para promover o crescimento de plantas.** 2020. Tese (Doutorado em Microbiologia Agropecuária) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Jaboticabal, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/508a8539-c93e-4ad0-8d83-95867da1f148/content>

SILVA, Mariana Aguiar et al. **Rizobactérias multifuncionais: utilização na agricultura.** *Research, Society and Development*, v. 11, n. 4, e3111426971, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i4.26971>. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1144518/1/rsd-2022.pdf>

SILVA, Yane Gama da. **Desenvolvimento do sorgo (*Sorghum bicolor* L.) irrigado com diferentes fontes de água na presença e ausência de adubação orgânica.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Agrárias) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Campus Senhor do Bonfim, 2021. Disponível em: <https://www.ifbaiano.edu.br/unidades/bonfim/files/2023/06/Antonio-TCC-Yane-Gama-da-Silva.pdf>

SOUZA, Isabella Silva Roque de; AGUIAR, Lorena de Alcântara; REZENDE, Cláudia Fabiana Alves. **Inoculation of *Bacillus aryabhatai* and its effects on corn productivity.** *Research, Society and Development*, v. 14, n. 2, p. e10414248266, 2025. DOI: 10.33448/rsd-v14i2.48266. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/48266>

SANTOS, Valdere Martins dos; MELO, Aurélio Vaz de; CARDOSO, Dione Pereira; GONÇALVES, André Henrique; VARANDA, Marco Antônio Ferreira; TAUBINGER, Markus. **Uso de bioestimulantes no crescimento de plantas de *Zea mays* L.** *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 12, n. 3, p. 307-318, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104573/1/Uso-bioestimulante.pdf>

SILVA, Francianne Costa. **Influência do *Bacillus aryabhatai* no crescimento inicial de milho sob estresse hídrico.** 2025. Monografia (Especialização em Bioinsumos) – Instituto Federal Goiano, Campus Campos Belos, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/5804>

SILVA, Gabryelle Aparecida Alves. **Influência do tratamento de sementes de feijão com diferentes espécies de bactérias do gênero *Bacillus* no crescimento e desenvolvimento da cultura.** 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Campus Cristalina, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/5157>

SILVA, Rayane Branco. **Influência de *Bacillus aryabhatai* na produtividade do milho.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Unidade Universitária em Sananduva, 2023. Disponível em: https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/3579/30689_tcc_ii_rayane_branco__%281%29.pdf?sequence=-1&isAllowed=y

SINGH, J. S.; PANDEY, V. C.; SINGH, D. P. **Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development.** *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 140, n. 3–4, p. 339–353, 2018.

SOUSA, Paulo Gleisson Rodrigues de. **Produtividade e rentabilidade da forragem de sorgo sob lâminas de irrigação e níveis de cobertura morta em condições semiáridas.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2017. Disponível em:

https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/32005/3/2017_dis_pgrsousa.pdf

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

VALDERRAMA, Rafael Silveira. **Efeito de *Bacillus* sp. no crescimento e produtividade de milho (*Zea mays* L.) cultivado no planalto catarinense (SC).** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, 2023. Disponível em:

https://lmpcp.paginas.ufsc.br/files/2021/08/TCC_Rafael_Valderrama.pdf

VAZ DE MEDEIROS, Mizael Nabor. **Avaliação do potencial de *Bacillus aryabhatai* no crescimento e produtividade de sorgo em condições de déficit hídrico.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal-PB, 2024. Disponível em:

<https://dspace.sti.ufcg.edu.br/bitstream/riufcg/43540/1/MIZAE%20NABOR%20VAZ%20DE%20MEDEIROS%20-%20TCC%20AGRONOMIA%202024.pdf>

OMIDES, Larissa Lorryne Rodrigues. **Isolamento de rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCP) em cana-de-açúcar.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/2568>