



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

WEVERTONN VASCONCELOS ROCHA E SILVA

**PRODUTIVIDADE E DESENVOLVIMENTO DO SORGO GRANÍFERO SOB
DIFERENTES MANEJOS HÍDRICOS, ADUBAÇÃO NITROGENADA E
INOCULAÇÃO COM *Bacillus aryabhattai***

FORTALEZA

2026

WEVERTONN VASCONCELOS ROCHA E SILVA

PRODUTIVIDADE E DESENVOLVIMENTO DO SORGO GRANÍFERO SOB
DIFERENTES MANEJOS HÍDRICOS, ADUBAÇÃO NITROGENADA E INOCULAÇÃO
COM *Bacillus aryabhattai*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: irrigação e drenagem

Orientador: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo

FORTALEZA

2026

WEVERTONN VASCONCELOS ROCHA E SILVA

PRODUTIVIDADE E DESENVOLVIMENTO DO SORGO GRANÍFERO SOB
DIFERENTES MANEJOS HÍDRICOS, ADUBAÇÃO NITROGENADA E INOCULAÇÃO
COM *Bacillus aryabhatai*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e drenagem

Aprovada em 17/03/2026

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Luís Gonzaga Medeiros de Figueredo Júnior
Universidade Estadual do Piauí (UESPI)

Prof. Dr. José Bruno Rego de Mesquita
UNIFANOR WYDEN

Dr. Márcio José Alves Peixoto
Secretaria do Desenvolvimento Agrário - SDA

Ao Todo Poderoso,
Criador do universo e dono da vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecer ao meu bom DEUS, que me manteve vivo e com saúde e por trilhar meu caminho até o curso de mestrado de uma forma que eu nunca faria.

Aos minha mãe, Francisca Lúcia por todo o cuidado e dedicação desde um princípio da minha vida, ao meu pai, Pedro Auricélio pelo suporte me dado desde minha concepção.

Ao meu querido orientador e Amigo, Professor Dr. Benito Moreira de Azevedo, por toda ajuda à minha pessoa no momento em que iria desistir, pelas palavras de ânimo e pela pronta ajuda na execução do experimento.

Ao professor Dr, Geocleber, por toda cooperação e parceria ao longo do experimento.

Aos professores da banca examinadora, Prof. Dr. Luís Gonzaga, Prof. Dr José Bruno, Dr. Márcio Peixoto, por toda consideração desde a qualificação.

A minha esposa, Haizza Danielle, pelas palavras de estímulo e compreensão, e pelo suporte aos nossos filhos na minha ausência.

Aos meus dois filhos amados, Pedro Enzo e Abraão Otto, por existirem na minha vida, sendo minha fonte de amor e estímulo.

A minha sogra, Francisca Maria, por todo o zelo e carinho aos netos, ao meu sogro Antônio Dias e à sua esposa, Gloria Bittencourt, por todo o cuidado e consideração com toda a nossa família.

Aos meus irmãos, Felipe Vasconcelos e Samuel Vasconcelos, pelo cuidado com nossos pais na minha ausência.

Aos meus primos, Kaleb Vasconcelos e Gabriel Brito, por toda ajuda na coleta dos dados e montagem do experimento.

A minha querida professora da UESPI, Aurinete do Val, que, mesmo com sua agenda corrida, arrumou um tempinho para fiscalizar minha prova na cidade de Parnaíba.

Ao meu amigo de trabalho, Nelson Sombra, por todas as palavras de incentivo e companheirismo; às minhas amigas Débora, Camila e Iana, pela parceria diária, ao amigo Júlio Simeão pelo companheirismo no terceiro turno de trabalho.

As minhas queridas coordenadoras da COAGUA, Odaleia Severo e Francisca Lúcia, por toda compreensão da minha situação de estudante de mestrado e funcionário da SDA.

Ao meu querido amigo Luiz Carlos da Gransafra, pelo pronto atendimento nas demandas.

Ao amigo Thiago, gerente da empresa Latina Seeds, pelo fornecimento das sementes de sorgo, ao amigo da terra fértil de Limoeiro do Norte senhor Wilson, por toda parceria e troca de experiências.

Ao Direto do Instituto Agropolos Natizael Gonçalves e sua esposa Natalia, por toda ajuda na logística para o recebimento das sementes do experimento.

Aos meus professores do mestrado, em especial ao professor Raimundo Nonato, a quem tenho extrema admiração, ao nobre coordenador do curso, Professor Fernando Lopes, por sua conduta ética e humana à frente do PPGEA, ao secretário do PPGEA, Tiago por toda parceria, educação e ajuda nos trames burocráticos.

Aos meus colegas do Mestrado em especial aos colegas, Lucas, Reginaldo, Vinícius, Bruno, Arnaldo, Luigi, Adams, Juvenaldo, Mateus, Samuel, Pablo, Liana e Gleyciane.

Aos servidores da estação meteorológica da UFC, Weverton, Yslone, Fernando, Carlão, Lourenço e Vicente por toda as conversas e parceria ao longo de todo o curso.

RESUMO

O sorgo granífero apresenta elevada adaptação a condições de estresse hídrico, sendo uma cultura viável para regiões semiáridas. Objetivou-se em dois estudos, avaliar o desenvolvimento e a produtividade do sorgo granífero cultivar LAS 3004 G sob diferentes manejos hídricos, associados à adubação nitrogenada e à inoculação com *Bacillus aryabhattai*. Foram analisadas variáveis de crescimento e produção, como diâmetro do colmo altura da planta, massa de panícula, comprimento de panícula. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação na Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. Realizaram-se dois experimentos em blocos casualizados: o Experimento I em esquema fatorial 5x2 (cinco lâminas: 40, 60, 80, 100 e 120% da evapotranspiração da cultura (ETc); e duas formas de aplicação de nitrogênio, convencional e fertirrigado, totalizando 40 unidades experimentais); e o Experimento II em fatorial 5x2 (cinco frequências de irrigação: 1, 2, 3, 4 e 5 dias baseadas na ETc diária; com e sem inoculação no total de 40 unidades experimentais). No Experimento I, os resultados indicaram que a lâmina de 80% da ETc se mostrou mais eficiente, promovendo crescimento similar às lâminas superiores com menor consumo hídrico em geral, as maiores lâminas promoveram redução no ciclo da cultura, antecipando a floração e colheita. Não houve diferença significativa entre as formas de aplicação de nitrogênio para as variáveis de produção. No Experimento II, a inoculação com *B. aryabhattai* reduziu o ciclo da cultura e mitigou os efeitos do déficit hídrico, aumentando a massa da panícula em 60,76% na maior restrição hídrica (irrigação a cada 5 dias) em comparação ao tratamento não inoculado. As maiores frequências de irrigação, F1 e F2 influenciaram significativamente o desenvolvimento e a produtividade da cultura do sorgo. O ciclo da cultura foi aumentado em condições de menor oferta de água. A inoculação com *Bacillus aryabhattai* promoveu incrementos em variáveis produtivas, especialmente sob condições de maior estresse hídrico, indicando efeito mitigador.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*; Bioinsumo; Irrigação sustentável.

ABSTRACT

Grain sorghum exhibits high adaptation to water stress conditions, making it a viable crop for semi-arid regions. The objective of two studies was to evaluate the development and yield of grain sorghum (cv. LAS 3004 G) under different water management strategies associated with nitrogen fertilization and inoculation with *Bacillus aryabhatai*. Growth and yield variables, such as stem diameter, plant height, panicle mass, and panicle length, were analyzed. The experiments were conducted in a greenhouse at the Federal University of Ceará, Fortaleza, Brazil. Two experiments were carried out in a randomized block design: Experiment I followed a 5x2 factorial scheme (five irrigation depths: 40, 60, 80, 100, and 120% of crop evapotranspiration (ET_c); and two nitrogen application methods: conventional and fertigation, totaling 40 experimental units); and Experiment II followed a 5x2 factorial scheme (five irrigation frequencies: 1, 2, 3, 4, and 5 days based on daily ET_c; with and without inoculation, totaling 40 experimental units). In Experiment I, results indicated that the 80% ET_c irrigation depth was the most efficient, promoting growth similar to higher depths with lower overall water consumption. In general, higher irrigation depths reduced the crop cycle, anticipating flowering and harvest. There was no significant difference between nitrogen application methods for yield variables. In Experiment II, inoculation with *B. aryabhatai* shortened the crop cycle and mitigated the effects of water deficit, increasing panicle mass by 60.76% under the highest water restriction (5-day irrigation frequency) compared to the non-inoculated treatment. Higher irrigation frequencies (F1 and F2) significantly influenced the development and yield of the sorghum crop. The crop cycle was extended under conditions of lower water supply. Inoculation with *Bacillus aryabhatai* promoted increases in yield variables, especially under higher water stress conditions, indicating a mitigating effect.

Keywords: *Sorghum bicolor*; Bioinput; Sustainable irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área dos experimentos, em Fortaleza- CE.....	23
Figura 2- Disposição em campo do experimento I, blocos e tratamentos.	25
Figura 3 - Disposição em campo do experimento II, blocos e tratamentos.	265
Figura 4 - Vasos utilizados no experimento.....	276
Figura 5 - Bioinsumo oriundo da composteira.....	276
Figura 6 - Colchão de brita no fundo do vaso.....	28
Figura 7– Sementes de sorgo selecionadas.	28
Figura 8 – Inoculação das sementes.....	31
Figura 9 – Desbaste aos 23 dias.	31
Figura 10 – Volume coletado na drenagem.	332
Figura 11– Avaliação da altura.	343
Figura 12 – Avaliação do diâmetro do colmo.....	343
Figura 13 – Surgimento da panícula.	354
Figura 14 - Tecido telado para proteção da panícula.	365
Figura 15- Panícula no ponto ideal de colheita.....	365
Figura 16 – Avaliação da massa das Panículas.....	376
Figura 17 - Avaliação do comprimento das panículas.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Composição bromatológica média do grão de sorgo e do milho em porcentagem da matéria seca (% MS)	17
Tabela 2	– Coeficientes de cultura (Kc) recomendados para o manejo de irrigação do sorgo em diferentes estádios fenológicos	19
Tabela 3	– Síntese mensal dos dados climáticos (Campus do Pici, Fortaleza-CE)	23
Tabela 4	– Resumo da análise de variância da altura da planta (cm) e do diâmetro do colmo (mm) aos 23 dias pós-semeadura, em função das formas de aplicação de N (experimento I – lâminas x formas de aplicação de N)	38
Tabela 5	– Resumo da análise de variância para altura (cm) e diâmetro (mm) aos 23 dias pós-semeadura, em função da inoculação com Ba (experimento II – frequência e inoculação com Ba ou não)	39
Tabela 6	– Análise de variância para altura (cm) e diâmetro (mm) aos 69 dias pós-semeadura (experimento I lâminas x formas de aplicação de N)	40
Tabela 7	– Teste de Tukey para a altura das plantas (cm) e o diâmetro do colmo (mm) aos 69 dias após a semeadura (69 das), em função das lâminas de irrigação	41
Tabela 8	– Resumo da análise de variância para dias para surgimento da panícula (DSP), dias para a colheita (DPC), massa da panícula (MP) e comprimento da panícula (CP) em função das lâminas de irrigação e da aplicação de N (69 das) (experimento I lâminas x formas de aplicação de N)	43
Tabela 9	– Teste de Tukey para os dias de surgimento da panícula e de colheita (69 DAS), em função das lâminas de irrigação	44
Tabela 10	– Teste de Tukey para massa e comprimento da panícula (69 das), em função das lâminas de irrigação	45
Tabela 11	– Resumo da análise de variância para dias para surgimento da panícula (DSP), dias para a colheita (DPC), massa da panícula (MP) e comprimento da panícula (CP) (69 das) em função das frequências de irrigação e da	46

	inoculação com <i>bacillus aryabhatai</i> (experimento II – frequência x inoculação ou não com Ba)	
Tabela 12	– Teste de Tukey (5%) para DSP, DPC, massa e comprimento da panícula e altura de plantas (69 das), em função das frequências de irrigação	47
Tabela 13	– Teste de Tukey (5%) para DSP, DPC, massa e comprimento da panícula (69 das), em função da inoculação com <i>bacillus aryabhatai</i>	49
Tabela 14	– Teste de Tukey (5%) para massa e comprimento da panícula (69 das), considerando a interação frequência × inoculação	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivo Específico	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	A cultura do sorgo	15
3.1.1	<i>Descrição botânica do sorgo</i>	15
3.1.2	<i>Importância econômica e social</i>	16
3.1.3	<i>Composição nutricional</i>	16
3.1.4	<i>Necessidades hídricas e fase de maior demanda de água</i>	18
3.1.5	<i>Necessidade de adubação e manejo do nitrogênio</i>	19
3.2	Determinação da evapotranspiração (ETc) em campo	20
3.3	A bactéria <i>Bacillus aryabhatai</i> (BA) e sua ação mitigadora	21
3.3	A bactéria <i>Bacillus aryabhatai</i> (BA) e sua ação mitigadora	20
4	MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1	Local de realização do experimento	21
4.2	Delineamento dos experimentos	23
4.3	Substrato utilizado nos experimentos	25
4.4	Material vegetal	27
4.5	Adubação mineral	28
4.6	Inoculação das sementes	29
4.7	Manejo da irrigação	30
4.8	Variáveis analisadas	33
4.9	Análise estatística	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	Análise do desenvolvimento do sorgo aos 23 dias após a semeadura, experimentos I e II	38
5.2	Experimento I: Lâmina de irrigação x forma de aplicação de N	40
5.2.1	<i>Análise e desenvolvimento do sorgo aos 69 dias após a semeadura</i>	40
5.2.2	<i>Análise do desenvolvimento produtivo e rendimento do sorgo</i>	43

5.3	Experimento II: Frequência de irrigação x inoculação com <i>Bacillus</i>	
	<i>aryabhattai</i>	46
5.3.1	<i>Análise e desenvolvimento do sorgo aos 69 dias após a semeadura</i>	46
6	CONCLUSÕES	52
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

O Semiárido Brasileiro abrange em maior parte, a área do nordeste do país, com características marcantes, típica dessa região, como a elevada variabilidade pluviométrica, baixos índices de precipitação acumulados no ano e ocorrência de períodos de estiagem dentro da quadra chuvosa, comumente conhecidos como veranicos. A região semiárida brasileira contempla 1477 municípios, sendo nove estados do nordeste e dois da região sudeste, abrangendo uma população de 31 milhões de pessoas (INSA, 2024).

No que diz respeito ao estado do Ceará, o semiárido abrange a maioria do território estadual, totalizando 175 municípios onde vivem 5,7 milhões de habitantes, em uma área de 146.000 km² (SUDENE, 2021; INSA, 2024). Esses dados apontam a quase totalidade de condições climáticas semiáridas no estado.

A escassez hídrica no semiárido Cearense é uma problemática recorrente, tanto pelos baixos índices pluviométricos quanto pela notória irregularidade na distribuição das chuvas, o que prejudica consideravelmente o desenvolvimento da agricultura de base familiar, adequada do plantio em “sequeiro”, ou seja, a produção limita-se apenas a água provinda das precipitações da quadra chuvosa para o completo ciclo produtivo das plantas, sendo a irrigação a única forma de se produzir nessas regiões em escala comercial no segundo semestre do ano.

Nessa perspectiva, produzir grãos, frutas e forragem dependendo apenas da quadra chuvosa torna-se uma tarefa altamente imprevisível, o que favorece a redução de áreas plantadas, produção, produtividade, e o aumento do êxodo rural, cominando assim em baixos índices de sucessão familiar na agricultura camponesa.

A produção de alimentos no semiárido, possui grandes desafios que necessitam ser melhor compreendidos, um deles podemos destacar a disponibilidade de água para irrigação, principalmente no segundo semestre do ano, os mananciais superficiais possuem prioridades no seu fornecimento de água, que é o abastecimento humano, já os poços profundos, devido a geologia predominante na região, possuem em sua maioria teores elevados de sais, o que limita a sua utilização em culturas com tolerância reduzida a salinidade, além de vazões muitas vezes, insuficientes o que inviabiliza a implantação de sistemas de irrigação que demandam um elevado volume de água, dessa for deve-se aproveitar ao máximo os mananciais disponíveis nas comunidades rurais que tenha viabilidade de captação e implantação de pequenas área irrigadas.

O sorgo (*Sorghum bicolor L.*) é uma das culturas de maior importância não só na agricultura brasileira, mas também em todo o mundo. O seu cultivo em regiões semiáridas do

Brasil se justifica tendo em vista sua considerada resistência ao estresse hídrico e seus múltiplos usos, ou seja, aptidão para grãos, forragem e até mesmo bioenergia, sendo uma cultura versátil para regiões de reduzida oferta de água, podendo ser utilizado tanto para alimentação de seres humanos quanto de animais.

O Governo do Estado do Ceará por meio da sua Secretaria de Desenvolvimento Agrário, executa diversas ações de apoio ao agricultor de base familiar, dentre essas, podemos destacar o Projeto Hora de Plantar, que já está na sua 39ª edição, onde a mais de três décadas, são distribuídas sementes de milho, sorgo, feijão, mudas de cajueiro, manivas de mandiocas, raquetes de palma forrageiras, dentre outras culturas de importância cultural, econômica e social. Em 2021, o projeto tornou-se uma política pública por meio da Lei ordinária nº 17.537, consolidando, assim, a distribuição de sementes de alto potencial genético aos agricultores cearenses.

Culturalmente, o milho (*Zea mays L.*) é preferido pelos agricultores familiares do Nordeste, em razão de sua maior aceitabilidade na alimentação humana, embora seja mais exigente em água e nutrientes. A cultura do milho é bem mais difundida nas propriedades de base familiar que, por sua vez, limita-se a áreas menores de plantio, tendo em vista a maior demanda por água requerida pela cultura.

Por outro lado, o sorgo é comumente conhecido por sua maior resistência às condições de estresse hídrico, sendo uma cultura apropriada as regiões com chuvas distribuídas irregularmente ao longo do ano, altas taxas de evaporação e propriedades rurais que dispõem de baixa oferta de água, seja em mananciais subterrâneo ou superficiais.

Aliando o conhecimento sobre a necessidade hídrica das culturas aos efeitos do uso de bioinsumos, como o *Bacillus aryabhattai*, e ao manejo adequado de fertilizantes, diferentes pesquisas têm potencial para subsidiar decisões governamentais na formulação e na execução de programas voltados ao fortalecimento da segurança alimentar e nutricional em regiões semiáridas.

Nesse contexto, apresentar resultados de desempenho de culturas submetidas a situações de estresse hídrico, concomitantemente com medidas mitigadoras, pode contribuir para o aumento de áreas plantadas com cereais mais adaptadas às condições do semiárido, reduzindo as perdas de produção, especialmente em cenários de limitação hídrica, ou seja, poços com baixa vazão e reservatórios com volumes reduzidos.

Nesse sentido, partindo do pressuposto em que se deve conviver com o semiárido e suas características intrínsecas, como secas, veranicos, distribuição irregular das chuvas e baixas disponibilidade de hídrica dos mananciais, comumente observado no segundo semestre

do ano, a pesquisa teve o intuito de avaliar o desempenho da cultura do sorgo submetidos a diferentes cenários de regime hídrico, simulando condições de elevada e baixa disponibilidade de água para irrigação, como também avaliar duas formas de adubação nitrogenada e por fim, verificar a efetividade do uso de bactérias mitigadoras do déficit hídrico.

Dessa forma, a hipótese que sorgo pode produzir satisfatoriamente mesmo com irrigação deficitária; o nitrogênio aplicado parcelado via água de irrigação (fertirrigação) favorecer o desenvolvimento do sorgo granífero; a inoculação de sementes de sorgo granífero com a bactéria *Bacillus aryabhatai* mitiga os efeitos do estresse hídrico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho agrônomico do sorgo granífero sob diferentes manejos de irrigação, associados às formas de aplicação de nitrogênio e à inoculação com bactérias promotoras de tolerância ao estresse hídrico.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar os efeitos de diferentes lâminas de irrigação sobre o desenvolvimento e o rendimento de plantas de sorgo granífero;
- Avaliar os efeitos de diferentes frequências de irrigação sobre o desenvolvimento e o rendimento de plantas de sorgo granífero;
- Verificar o efeito da inoculação com *Bacillus aryabhatai* na mitigação dos efeitos do estresse hídrico no sorgo granífero;
- Verificar a influência do manejo da adubação nitrogenada no desenvolvimento e produtividade do sorgo granífero;
- Obter dados de desempenho agrônomico da cultura do sorgo sob manejo hídrico deficitário que possam favorecer o incremento de área plantadas por parte dos agricultores de base familiar em regiões do semiárido.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A cultura do sorgo

Com centro de origem, no continente Africano, o sorgo (*Sorghum bicolor* L.) possui diversas utilizações a depender da sua variedade, sendo utilizado como grão (sorgo granífero), produção de forragem (sorgo forrageiro), produção de biocombustível (sorgo biomassa) e produção de vassouras (sorgo vassoura), essa versatilidade de subprodutos, torna uma cultura do sorgo de grande importância econômica e social para o nordeste brasileiro.

Por outro viés, características agronomicamente favoráveis têm tornado a sorgo uma cultura estratégica em regiões caracterizadas por irregularidade pluviométrica, temperaturas elevadas e limitação de água para irrigação. A espécie se destaca pela eficiência fotossintética (metabolismo C4) e pela capacidade de manter desempenho considerável em condições de estresse, características que a tornam uma opção relevante para o fortalecimento da segurança alimentar e para o incentivo à utilização de culturas mais bem adaptadas às condições climáticas (KHALIFA; ELTAHIR, 2023).

O sorgo é um cereal que combina rusticidade e versatilidade de uso, especialmente em regiões sujeitas a veranicos e instabilidade climática. Com tudo, essa tolerância do sorgo a menores regimes hídricos não deve ser tratada como um atributo irrefutável; situações extremas de déficit hídrico, especialmente em fases de florescimento, ou seja, no surgimento da panícula, bem como no enchimento dos grãos, podem prejudicar a produtividade (ROCHA et al., 2024).

3.1.1 Descrição Botânica do sorgo

O sorgo pertence à família Poaceae e apresenta grande diversidade de porte, dimensões foliares e formatos de panícula. Do ponto de vista da morfologia, destaca-se o sistema radicular fasciculado, geralmente profundo e eficiente na absorção de água no solo; já o colmo possui entrenós bem definidos e folhas alongadas, com bainha e lígula. A panícula, ou inflorescência, pode variar de aberta (comumente no sorgo vassoura) a compacta (típica do sorgo granífero), o que está associado à finalidade de uso (LI et al., 2020; OGTR, 2024). Em termos fisiológicos, por ser uma planta de metabolismo C4, o sorgo costuma apresentar maior eficiência no uso da radiação e melhor desempenho em temperaturas elevadas em comparação ao milho (*Zea mays* L.).

3.1.2 Importância econômica e social

No que diz respeito ao cenário mundial, o sorgo se apresenta como um dos cereais mais importantes para a segurança alimentar em ambientes de clima tropical e semiárido. Na safra 2022/2023, a área mundial ficou em torno de 40,16 milhões de hectares, com uma produção aproximada de 58,18 milhões de toneladas, destacando-se, no patamar de países com maior produção e produtividade, os Estados Unidos, a Nigéria, a Índia e o México (COELHO, 2025a).

No Brasil, em destaque, na região centro-oeste, o aumento e a expansão da área plantada estão fortemente associados à segunda safra, comumente conhecida como safrinha, em sucessão à soja, como alternativa para reduzir as perdas de produção em períodos de escassez hídrica, bem como devido à menor janela de plantio e colheita. No Nordeste brasileiro, o sorgo é cultivado como safra principal em áreas com maiores restrições hídricas, reforçando seu papel estratégico nas regiões semiáridas (COELHO, 2025b).

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) mostram uma crescente área plantada de sorgo granífero de 902.368 ha no ano de 2021 para 1.049.514 ha no ano seguinte, 2022, com produção de 2,69 a 2,91 milhões de toneladas, respectivamente (IBGE, 2024), ou seja, a cultura vem em uma crescente, consolidando-se como um substituto do milho.

No Ceará, o cultivo do sorgo granífero apresenta pouca expressividade em comparação ao sorgo forrageiro, amplamente cultivado no estado. Em 2023, registrou-se o plantio de 45.033 ha e a produção de 862.996 t. Já em 2024, a área plantada passou para 58.110 ha e a produção se elevou para 1.395.720 t, integrando-se, assim, ao grupo das culturas com maior expressão econômica no estado (CEARÁ, 2025).

3.1.3 Composição nutricional

O sorgo tem ganhado destaque não apenas pelo bom desempenho agrônômico, mas também pela sua versatilidade nutricional e por múltiplos usos, podendo ser destinado tanto à alimentação humana quanto à formulação de rações para animais. O grão apresenta elevada composição de carboidratos e teores relevantes de proteínas, assemelhando-se ao milho. Nutricionalmente, o grão de sorgo é composto predominantemente por amido (70 a 75%), proteínas (8 a 13%) e lipídios (2 a 3%) (XIONG et al., 2019).

Como características em que diferencia o sorgo dos demais cereais é o seu complexo de bioativos. Dentre diferentes cultivares, observam-se teores diferenciados dos

chamados polifenóis, como, por exemplo, ácidos fenólicos e flavonoides. Segundo Xu et al. (2021), a concentração de taninos em algumas plantas de sorgo muitas vezes é responsável pela baixa aceitação animal, devido à reduzida palatabilidade, porém confere à planta proteção considerável contra os ataques tanto de pássaros quanto de fungos.

As concentrações de tanino são mais perceptíveis, a depender do material genético, no início do desenvolvimento da planta, o que confere ao sorgo proteção contra o pastejo de ruminantes durante o desenvolvimento da cultura e, no enchimento dos grãos, proteção contra os pássaros.

De acordo com Ortiz et al. (2021), o valor energético do sorgo granífero a depender da cultivar e do manejo, pode se assemelhar ao do milho. No entanto, o sorgo frequentemente apresenta níveis de proteína bruta ligeiramente superiores.

Na Tabela 1, é possível avaliar os principais componentes nutricionais dos dois cereais, considerando o percentual de matéria seca dos grãos, valores mínimos em máximo, esses dados foram compilados da plataforma (FEEDIPEDIA, 2012) e unificados em uma única tabela.

Tabela 1 - Composição bromatológica média do grão de sorgo e do milho em porcentagem da matéria seca (% MS).

Componente	Sorgo granífero (%)	Milho (%)
Matéria seca	83,0 – 93,6	83,4 – 88,4
Proteína bruta	8,1 – 14,3	9,3 – 12,1
Extrato etéreo (lipídios)	2,4 – 4,4	3,8 – 5,2
amido	69,8 – 78,7	68,9 – 75,6
Fibra em detergente neutro	7,8 – 14,7	9,1 – 15,6
Matéria mineral (cinzas)	1,3 – 6,6	1,2 – 1,7

Fonte: Adaptado de FEEDIPEDIA (2012)

De uma forma geral, os dados evidenciam que o sorgo é uma alternativa nutricional comparável ao milho, especialmente em regiões de restrição hídrica, sendo uma cultura estratégica para regiões semiáridas, onde sua maior tolerância ao estresse hídrico possibilita uma estabilidade produtiva, sem perdas consideráveis na qualidade nutricional do grão.

3.1.4 Necessidades hídricas e fases de maior demanda de água

Em condições de restrição hídrica, o sorgo tende a apresentar maior estabilidade, porém o ajuste da lâmina e frequência da irrigação, continua sendo um fator decisivo. Estudos em condições de irrigação deficitária mostram que reduções moderadas da lâmina, quando aplicadas de forma planejada, podem manter a produtividade e melhorar a eficiência do uso da água, sobretudo se as fases reprodutivas forem priorizadas (PANG et al., 2018; NEGASH et al., 2023).

Em um contexto mais amplo, pesquisas também relatam redução do crescimento e do desenvolvimento das plantas sob déficit hídrico, reforçando a necessidade de que esse fator seja melhor gerenciado por meio do monitoramento da umidade do solo e da planta (SILVA et al., 2023).

Segundo Magalhães et al. (2011), a demanda hídrica total para o sorgo ao longo do seu completo ciclo biológico, pode variar entre 450 e 650 mm, a depender das condições climáticas e duração do ciclo da cultura. Plantas de ciclos curtos, podem ter uma maior economia de água, necessitando de lâminas menores para seu completo desenvolvimento.

Para o manejo eficiente em regiões de alta demanda evaporativa, como as zonas rurais do Estado do Ceará, o ajuste da lâmina a ser aplicada e da frequência de irrigação é primordial para uma agricultura irrigada sustentável.

Conhecer a fenologia da planta, considerando seus estádios de maior demanda hídrica, é a forma correta de manejar a irrigação no semiárido. O fornecimento hídrico baseado na evapotranspiração da cultura (ET_c) permite maximizar a produtividade e otimizar o uso de recursos, especialmente quando associado a manejos que favoreçam a exploração radicular profunda (SILVA et al., 2014).

A necessidade hídrica do sorgo varia significativamente ao longo do seu desenvolvimento, sendo tecnicamente monitorada pelo coeficiente de cultura (K_c). De acordo com Allen et al. (1998), o ciclo pode ser dividido em quatro fases principais, nas quais a planta demanda quantidades distintas de água em cada período de crescimento e desenvolvimento. Na Tabela 2, é possível observar o valor do k_c para cada estágio de desenvolvimento do sorgo, variando de 0,3 na menor demanda por água, a 1,10 período em que há maior sensibilidade ao estresse hídrico, demandando, conseqüentemente, mais água.

Tabela 2 – Coeficientes de cultura (Kc) recomendados para o manejo de irrigação do sorgo em diferentes estádios fenológicos.

Estádio de Desenvolvimento	Duração Aproximada (Dias)	Coeficiente de Cultura (Kc)
Inicial (Fase I)	15 - 20	0,30 - 0,40
Desenvolvimento (Fase II)	30 - 35	0,70 - 0,80
Intermediário/Floração (Fase III)	25 - 30	1,00 - 1,10
Final/Maturação (Fase IV)	20 - 25	0,55 - 0,65

Fonte: Adaptado de Allen et al. (1998) e Embrapa Milho e Sorgo.

A importância do manejo hídrico é de suma importância principalmente nos períodos de maior demanda pela cultura, sendo o estresse hídrico mais danoso no período de floração, comprometendo a produtividade.

3.1.5 Necessidades de adubação e manejo do nitrogênio

A adubação mineral de plantas, em específico, com o macronutriente nitrogênio (N), é um dos manejos agrícolas que influenciam o aumento do rendimento e a qualidade do material colhido. Entretanto, em regiões onde há uma baixa disponibilidade de água, o manejo de N exige conhecimento técnico aprimorado, o excesso desse fertilizante pode elevar perdas e não necessariamente se traduz em ganhos de produtividade.

Estudos realizados com essa temática demonstram que doses elevadas reduziram o efeito positivo esperado sobre o rendimento e alteraram características do solo, sugerindo que a resposta do sorgo tem um limite e deve ser ajustada a cada tipo de ambiente, cultivar e produção esperada (WANG et al., 2025).

Por outro lado, quando o fornecimento é realizado na quantidade e nos períodos adequados, ou seja, nos períodos em que a planta demanda maior quantidade desse macronutriente, parcelando a recomendação ao longo do ciclo, o aproveitamento tende a ser eficaz, com reflexos tanto no crescimento quanto na produtividade (COELHO, 2025a).

3.2 Determinação da evapotranspiração (ET_c) em campo

Em um projeto de irrigação há diversos fatores que devem ser identificados, para maior eficiência no uso da água, sendo um deles compreendido como o real consumo de água pela planta, ou seja, a evapotranspiração da cultura (ET_c) que representa a perda de água para a atmosfera pela combinação de dois processos distintos, a evaporação da superfície do solo, e a transpiração das plantas (GHIAT; MACKEY; AL-ANSARI, 2021; BARIŞ; TOMBUL, 2024).

De forma mais abrangente, pode-se entender que a ET_c é um dos componentes mais sensíveis do balanço hídrico, indispensável ao planejamento da irrigação. Conhecer a ET_c é identificar a demanda atmosférica observada pela cultura, influenciada pelo clima, pelo desenvolvimento do dossel e pela disponibilidade de água no solo, de modo a evitar irrigação excessiva ou deficitária (LIMA et al., 2021).

A (ET_c) é estimada a partir da evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente de cultivo (K_c) para cada estágio de desenvolvimento da planta, de forma, que valores replicados de K_c tendem, a não representam a realidade local, sobretudo em regiões com alta variabilidade edafoclimáticas, com isso a lisimetria segue sendo uma estratégia importante para medir a ET_c de forma direta e, a partir disso, calibrar K_c representativos para cada região (VENANCIO et al., 2019).

O lisímetro de drenagem nada mais é do que um objeto que armazene um volume de solo estabelecido e permita quantificar a água que entra, podendo ser de chuva, de irrigação ou de ambas, e a água que, após um período, percole por drenagem. Diferentemente do equipamento pela metodologia de pesagem em que se pode quantificar a água consumida pela planta pela variação de massa, no lisímetro de drenagem essa quantificação é obtida pelo balanço hídrico, o que torna o método mais acessível, embora a exigência por um maior rigor na medição dos volumes de água aplicados e drenados (ALVES et al., 2017; VENÂNCIO et al., 2019)

Em estudo sobre a cultura do rabanete em Arapiraca, mesmo com ciclo extremamente reduzido, os autores apontam que, embora os lisímetros de pesagem sejam mais precisos, os de drenagem, quando bem manejados, fornecem resultados confiáveis de ET_c, o que viabiliza a determinação pontual de K_c (ALVES et al., 2017).

A metodologia mais utilizada para estimar ET_c em lisímetros de drenagem é o balanço hídrico em um intervalo de tempo pré-determinado, em experimentos em vasos é preferível que a quantificação do volume drenado no período de 24h, de forma que a Etc é

quantificada somando a precipitação diária com o volume irrigado e subtraindo a drenagem coletada. (ALVES et al., 2017; MARTINS et al., 2020).

3.3 A bactéria *Bacillus aryabhatai* (BA) e sua ação mitigadora

A espécie *Bacillus aryabhatai*, comumente conhecida como rizobactéria, nomeada em homenagem ao astrônomo indiano Aryabhata, foi isolada em estudos utilizando criotubos, nos quais foram evidenciadas amostras de ar a altitudes entre 27 e 41 km, com isolados dessa bactéria (SHIVAJI et al., 2009).

Em outro momento e região totalmente distinta, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), durante pesquisas realizadas nas regiões do semiárido brasileiro, isolou uma cepa denominada CMAA 1363, encontrada nas raízes do mandacaru (*Cereus jamacaru*), cactácea amplamente difundida no bioma caatinga, e posteriormente identificada como BA, sendo essa cepa componente do bioinsumo redutor de estresse hídrico, de nome comercial Auras, produzido e comercializado em parceria com a empresa NOOA Ciência e Tecnologia Agrícola.

Em trabalho publicado por May et al. (2019), em que avaliaram o desenvolvimento inicial de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar inoculadas com BA em diferentes frequências de irrigação, os resultados demonstraram melhora no desenvolvimento da parte aérea e das raízes, notoriamente sob estresse hídrico.

Considerando as formas de aplicação do BA, Souza et al. (2025) observaram menor produtividade do milho no tratamento apenas com inoculação via semente, quando comparado ao tratamento via semente mais aplicação no estágio de desenvolvimento da cultura, o que sugere outras possibilidades de aplicação que podem potencializar o uso do BA.

Considerado um redutor de estresse hídrico, o BA pode auxiliar os produtores diante das adversidades climáticas enfrentadas na produção de alimentos nas regiões do semiárido brasileiro, potencializando a rusticidade de culturas agrícolas de importância econômica, como o sorgo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

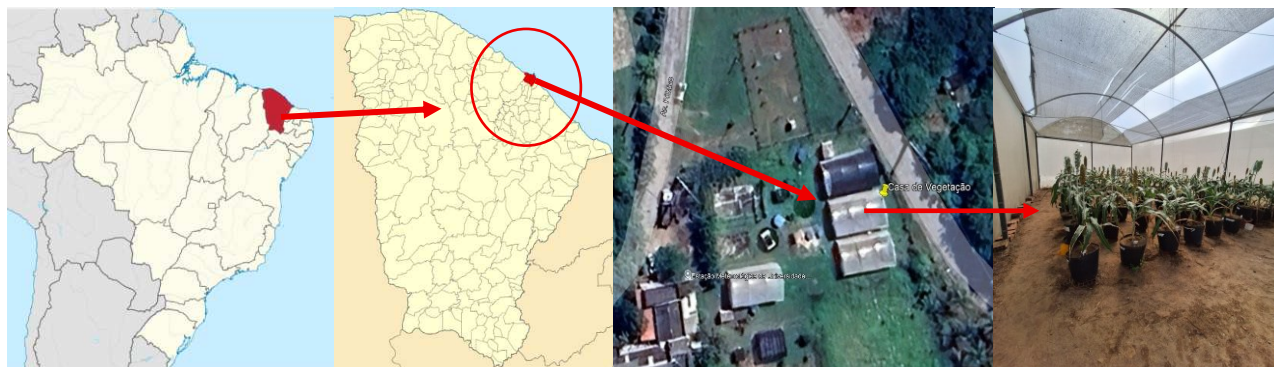
4.1 Local de realização do experimento

Para um maior controle local, ou seja, evitar interferências de possíveis precipitações como também o advento de pragas e doença que pudessem interferir no

desenvolvimento da cultura como também na produtividade, os dois experimento realizados, tanto o primeiro com o fator lâminas de irrigação associadas as duas formas de aplicação de nitrogênio, como o segundo, estudo com frequências de irrigação com a inoculação ou não das sementes com a bactéria *bacillus aryabhatai*, foram conduzido em cultivo protegido em casa de vegetação com dimensões de 6x12m, totalizando 72m², localizada na Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará (UFC), no Campus Pici, Fortaleza-Ceará, coordenadas geográficas: 3°44'44.19"S, 38°34'55.07"O e a 19,5m acima do nível do mar. O período do estudo foi do dia 19 de setembro a 21 de dezembro de 2025.

A Figura 1, permite identificar geograficamente o local onde foram realizados os experimentos e a estrutura onde foi alocado os 80 vasos referentes aos dois estudos.

Figura 1 - Localização da área dos experimentos, em Fortaleza- CE.



Fonte: Autor (2025).

Conforme a classificação climatológica de Köppen, o clima local é do tipo Aw, com o período mais seco no inverno e a maior concentração de chuvas no outono, caracterizando a época chuvosa no primeiro semestre do ano (AGUIAR et al., 2003).

Os dados da Tabela 3 foram sintetizados a partir dos registros diários da Estação Meteorológica do Campus do Pici (Fortaleza–CE) não considerando apenas o período do experimento, que foi 19/09/2025 a 21/12/2025 (n = 94 dias) e sim, do dia primeiro de cada mês até o último. Foram sintetizados as médias mensais de temperatura máxima e mínima, bem como os totais mensais de precipitação, evaporação à sombra e de evaporação por meio do tanque classe A.

Tabela 3 – Síntese mensal dos dados climáticos (Campus do Pici, Fortaleza–CE).

Mês	Tmx(°C)	Tmi(°C)	Precipitação total(mm)	Evaporação a sombra(mm)	ECA (mm)
Setembro	32,6	23,9	5,8	134,7	264,5
Outubro	32,7	24,5	0,0	113,14	266,0
Novembro	32,9	24,8	7,4	118,7	240,2
Dezembro	33,0	24,7	16,2	127,2	207,4
Total/médias	32,3	24,7	29,4	494,0	978,1

Fonte: Autor, adaptado dos dados da Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará.

As temperaturas médias mensais mantiveram-se estáveis ao longo do período, com Tmax variando entre 32,6 e 33,0 °C e Tmin entre 23,9 e 24,8 °C, indicando reduzida amplitude térmica e elevada. A precipitação total foi baixa (29,4 mm no período), com destaque para o mês de outubro, no qual não houve ocorrência de chuvas, em contrapartida, os valores de evaporação foram elevados, tanto para evaporação à sombra (494,0 mm no acumulado) quanto para evaporação no tanque classe A (ECA), que atingiu 978,1 mm no período avaliado. Esses resultados demonstram um balanço hídrico negativo, no qual a demanda evaporativa supera amplamente a reposição hídrica via precipitação.

É notório que as condições climáticas observadas reforçam a necessidade do uso da irrigação como prática essencial para o cultivo do sorgo, onde o manejo hídrico baseado na evapotranspiração da cultura, com irrigação em excesso ou deficitária podem ser melhor evidenciado ao longo do experimento. Além disso, o elevado valor de ECA justifica a adoção de metodologias baseadas na evapotranspiração de referência (ET_o) para o manejo da irrigação, permitindo maior precisão na definição das lâminas aplicadas.

4.2 Delineamento dos experimentos

Foram realizados dois experimentos concomitantemente, montados em delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 5 × 2, com tratamentos distribuídos aleatoriamente em cada bloco com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais em cada experimento.

No experimento I, o fator (L) correspondeu a cinco lâminas de irrigação, com base no percentual da ETc (120%, 100%, 80%, 60% e 40%), enquanto o fator N correspondeu a duas estratégias de manejo da adubação nitrogenada: aplicação de nitrogênio (N) de forma convencional (NC) ou via fertirrigação (NF).

Para o experimento II, o fator (F) correspondeu a cinco frequências de irrigação, sendo (F1) a frequência diária, ou seja reposição de 100% da ETc, e (F2, F3, F4 e F5) com irrigação no segundo, terceiro, quarto e quinto dia, respectivamente, sendo o volume a ser aplicado, baseado na reposição de 100% da ETc. O fator B, correspondeu a dois níveis: Semente que foram inoculadas na sementeira, ou seja, com inoculação (CB) e sementes não inoculadas, sem inoculação (SB) com a bactéria *Bacillus aryabhattai*.

Nas figuras 2 e 3, é possível observar como ficou a disposição dos tratamentos em cada um dos quatro blocos, considerando os tratamentos, os fatores de interação.

Figura 2- Disposição em campo do experimento I, blocos e tratamentos.

Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4
L120+NF	L80+NF	L60+NC	L100+NF
L100+NF	L60+NF	L100+NF	L60+NF
L60+NC	L100+NC	L120+NC	L80+NC
L120+NC	L80+NC	L40+NF	L120+NC
L80+NF	L40+NF	L100+NC	L60+NC
L60+NF	L120+NF	L80+NF	L100+NC
L40+NC	L40+NC	L60+NF	L80+NF
L100+NC	L100+NF	L40+NC	L40+NF
L80+NC	L120+NC	L80+NC	L120+NF
L40+NF	L60+NC	L120+NF	L40+NC

Fonte: Autor (2025).

A posição dos tratamentos dentro dos quatros blocos, foi realizada de forma aleatória por meio de sorteio, sendo sorteado a posição em que cada tratamento iria ser instalado.

Devido ao posicionamento e a proximidade entre as diversas casas de vegetação montadas na estação agrometeorológica do campus do Pici, se fez necessário avaliar critérios para a disposição dos blocos dos dois experimentos dentro da área protegida,

sendo levado em consideração a incidência de radiação solar incidente ao longo do dia, com o objetivo de reduzir os possíveis efeitos da diferença de incidência nos tratamentos e posteriormente nas variáveis de desenvolvimento, precocidade e de produção.

Os 40 vasos do experimento I, foram alocados com espaçamento de 35 cm entre plantas e 70 cm entre linha, de forma a reduzir ao máximo a proximidade com as laterais.

Figura 3 - Disposição em campo do experimento II, blocos e tratamentos.

Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4
F3CB	F2SB	F1SB	F3CB
F1CB	F5CB	F3CB	F5CB
F5CB	F5SB	F4SB	F2CB
F4CB	F3SB	F5SB	F3SB
F1SB	F1SB	F3SB	F5SB
F5SB	F3CB	F1CB	F4CB
F2CB	F4CB	F2SB	F1CB
F2SB	F2CB	F4CB	F2SB
F4SB	F1CB	F5CB	F4SB
F3SB	F4SB	F2CB	F1SB

Fonte: Autor (2025).

4.3 Substrato utilizado nos experimentos

Como substrato, para enchimentos dos vasos com capacidade volumétrica de 25 L, foi utilizado o material proveniente das escavações de uma trincheira localizada no terreno da estação meteorológica do campus do Pici, no perfil de 0 a 30 cm, sendo adicionados a esse solo areia grossa e um bioinsumo produzido por compostagem de restos culturais e esterco bovino.

A proporção da mistura do substrato contendo solo, areia grossa e bioinsumo foi de 5:3:2, respectivamente. Para reduzir a perda de material pelos orifícios de drenagem dos vasos, adicionaram-se 2 L de brita ao fundo dos vasos. Nas figuras 4, 5 e 6 é possível observar o

modelo dos vasos utilizados nos experimentos, o bioinsumo produzido e, por último, o colchão de brita no fundo dos vasos.

Figura 4 - Vasos utilizados no experimento.



Fonte: Autor (2025).

Os vasos de 25 L foram adotados para disponibilizar maior volume para o crescimento das raízes do sorgo.

Figura 5 - Bioinsumo oriundo da composteira.



Fonte: Autor (2025).

O bioinsumo foi incorporado e homogeneizado ao solo, juntamente com a areia grossa, com o objetivo de promover a distribuição uniforme da matéria orgânica em todo o perfil do vaso.

Figura 6 - Colchão de brita no fundo do vaso.



Fonte: Autor (2025).

4.4 Material vegetal

No experimento, foram utilizadas sementes de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench), cultivar LAS 3004 G, gentilmente fornecidas de forma gratuita, pela empresa Latina Seeds em parceria com a filial da empresa Terra fértil, localizada no município de Limoeiro do Norte.

O material fornecido apresenta características agronômicas relevantes, como ciclo precoce, elevada adaptabilidade às condições edafoclimáticas do semiárido e ausência de tanino, fator que contribui para maior qualidade nutricional e melhor aproveitamento na alimentação animal.

Para garantir a uniformidade do estande inicial, procedeu-se à seleção manual das sementes, sendo descartadas aquelas danificadas, mal formadas ou com sinais de ataque de insetos e patógenos, esse procedimento visou minimizar variações na germinação e no estabelecimento inicial das plantas, Figura 7.

Figura 7– Sementes de sorgo selecionadas.



Fonte: Autor (2025).

4.5 Adubação mineral

A adubação mineral para os dois experimentos foi adotada conforme a recomendação do boletim 100 do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC 2022) para a cultura do sorgo granífero, sendo a adubação de fundação realizada em 20/09/2025, ou seja, quatro dias antes do plantio. A recomendação foi baseada na máxima produtividade da cultura, com 50 kg ha⁻¹ na fundação e 100 kg ha⁻¹ na cobertura, para um stand de 10.000 plantas por hectare, sendo o cálculo do fertilizante realizado em gramas por planta no por fim pelo percentual do nutriente no fertilizante

No experimento 1, lâminas associadas a duas formas de aplicação de nitrogênio (N). O nutriente aplicado para o manejo convencional foi aplicado em duas parcelas: a primeira, na fundação, com 11,11 g de ureia com 45% de nitrogênio para cada vaso; e a segunda em cobertura, após 34 dias da primeira intervenção, com 22,22 g, totalizando 33,33 no ciclo.

No tratamento do N fertirrigado, foram aplicados 11,11 g de ureia na fundação e o restante em oito aplicações semanais com 2,78 g para cada vaso, diluídos no volume a ser aplicado em cada lâmina, totalizando a mesma quantidade 33,33 g do tratamento de forma

convencional, ou seja, em ambos os tratamentos foram aplicados a mesma quantidade de nitrogênio.

No experimento II, onde foram estudadas as frequências de irrigação, associadas ou não à inoculação com *Bacillus aryabhatai*, a adubação nitrogenada seguiu tanto o quantitativo como o parcelamento da forma convencional de aplicação no experimento I.

Para adubação fosfatada, foi utilizado superfosfato simples, aplicado em ambos os experimentos, com 67 g aplicados apenas na fundação.

Para a adubação potássica, foram aplicados, para cada vaso, 21 g de cloreto de potássio apenas na fundação, de forma semelhante à aplicação do supersimples.

4.6 Inoculação das sementes e plantio

A inoculação das sementes de sorgo granífero foi realizada no dia da semeadura, dia 24/09/2025, com o produto comercial Auras, que contém o isolado *Bacillus aryabhatai*, cepa CMAA 1363, licenciado pela Embrapa e comercializado pela empresa Nooa Ciência e Tecnologia Agrícola.

A recomendação de produto para a cultura do milho é de 4 ml/1 kg de sementes; não há recomendação específica para a cultura do sorgo. Desta forma, utilizaram-se 0,5 ml do produto para cada 100 sementes.

Na ocasião do plantio, foram semeadas 3 sementes por vaso, e o primeiro desbaste foi realizado após 5 dias da semeadura, quando 97,5% das sementes já haviam germinado.

O segundo desbaste foi realizado aos 23 dias após a semeadura, mantendo-se apenas uma planta por vaso, de modo a proporcionar condições adequadas para o desenvolvimento individual das plantas e reduzir a competição por água, luz e nutrientes. O procedimento foi conduzido selecionando-se as mudas com melhor vigor vegetativo e maior uniformidade de crescimento.

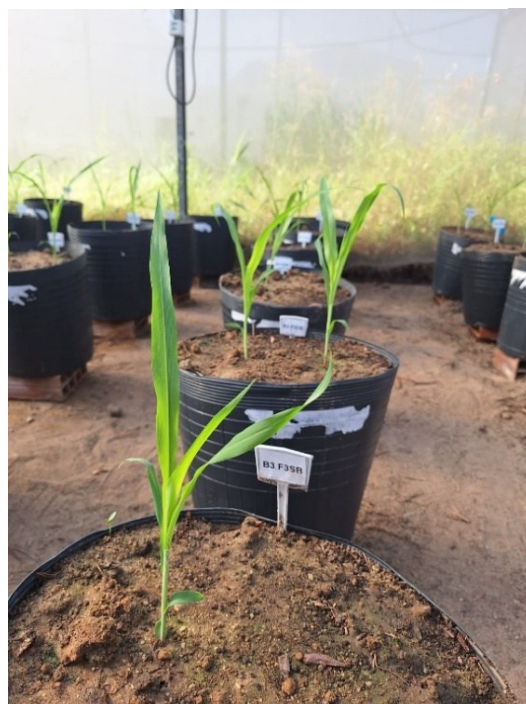
Na Figura 8 é apresentada a disposição das sementes durante o processo de inoculação, enquanto a Figura 9 ilustra as plantas submetidas ao desbaste aos 23 dias após a semeadura. Essa etapa foi fundamental para a padronização experimental, garantindo maior homogeneidade entre as unidades experimentais e contribuindo para a confiabilidade dos resultados obtidos nas avaliações subsequentes.

Figura 8 – Inoculação das sementes.



Fonte: Autor (2025).

Figura 9 – Desbaste aos 23 dias.



Fonte: Autor (2025).

4.7 Manejo da irrigação

Dos experimentos com a frequência diária de irrigação (F1), sem inoculação das sementes (SB), foram escolhidos quatro vasos, um em cada bloco, para utilização como lisímetros de drenagem. Após o enchimento dos vasos com o substrato, iniciou-se a irrigação para saturar o solo e elevar à capacidade de campo. Após constatada a drenagem excessiva, interrompeu-se o fornecimento de água. Foi colocada em cada lisímetro de drenagem, uma garrafa pet com capacidade de 2 litros para o armazenamento da água drenada da irrigação.

Para o cálculo da ET_c , aplicou-se, inicialmente, no solo saturado, um volume conhecido, previamente determinado por meio de testes iniciais realizados antes da implantação da cultura que ocasionasse a drenagem mínima.

Após 24 horas da aplicação da irrigação, realizou-se a coleta da água drenada em cada um dos quatro lisímetros utilizando provetas graduadas para a determinação precisa dos volumes. Em seguida, foi calculada a média do volume drenado entre os lisímetros avaliados. Com base no volume total de água aplicado durante a irrigação e no volume médio drenado, procedeu-se à estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c), conforme apresentado na Equação 01. Esse procedimento permitiu quantificar o consumo hídrico das plantas de forma

direta, fornecendo informações essenciais para o manejo da irrigação e para a avaliação da demanda hídrica da cultura ao longo do período experimental.

$$ETc = Va - Vd \quad (01)$$

Em que:

- ETc – evapotranspiração da cultura/consumo diário (*L*)
- Va – volume aplicado (*L*)
- Vd – volume drenado (*L*)

O método utilizado foi o balanço hídrico em lisímetros de drenagem, considerando as entradas de água no sistema (precipitação e irrigação). Como se tratou de um experimento em cultivo protegido, a precipitação foi considerada nula, não contribuindo para o volume de água aplicado.

Para o experimento com lâminas de irrigação, a ETc era multiplicada por cada fator de lâminas: 1,2 para as lâminas de 120% da ETc e 0,4 para as de 40% da ETc seguindo essa metodologia para as demais lâminas. Após esse cálculo, realizava-se a irrigação do dia.

No experimento com frequências de irrigação, o valor da ETc era aplicado integralmente e cumulativamente. Na frequência F1, foi aplicado o volume correspondente ao consumo da planta no dia anterior, nas demais frequências, os acumulados diários correspondentes a cada número de dias sem irrigação. De modo que, na maior frequência (F5), o volume aplicado no quinto dia correspondeu ao somatório da ETc calculada ao longo desse período. Para as demais frequências de 2, 3 e 4 dias sem irrigar, seguiu-se a mesma metodologia, ou seja, o acumulado da ETc de 2, 3 e 4 dias, respectivamente.

Da sementeira até os 23 dias após a emergência, todos os vasos, independentemente dos tratamentos, foram irrigados de forma uniforme, até a observação de drenagem mínima, visando garantir condições adequadas para o estabelecimento inicial das plantas. Após esse período, deu-se início à aplicação dos tratamentos correspondentes às lâminas e frequências de irrigação, os quais foram mantidos até três dias antes da colheita das panículas.

Essa condução inicial uniforme de manejo hídrico, teve como objetivo reduzir a variabilidade experimental associada à fase de emergência e desenvolvimento inicial do sorgo. A partir da diferenciação dos tratamentos, buscou-se avaliar os efeitos tanto das lâminas, como também das frequências de irrigação sobre o desenvolvimento e a produtividade da cultura. Na Figura 10, observa-se o volume de água coletado durante o processo de drenagem dos lisímetros.

Figura 8 – Volume coletado na drenagem.



Fonte: Autor (2025).

4.8 Variáveis analisadas

Aos 23 dias após a semeadura (DAS), foram realizadas as avaliações iniciais de crescimento das plantas. No Experimento I, as análises consideraram exclusivamente o fator relacionado aos tratamentos associados às duas formas de aplicação de nitrogênio. Já no Experimento II, foi avaliado apenas o fator referente à inoculação com o BA e sua ausência, permitindo verificar os efeitos isolados desse tratamento sobre o desenvolvimento inicial das plantas.

As variáveis analisadas nesse período foram o diâmetro do colmo (DC) e a altura da planta (AP). O diâmetro do colmo foi determinado com o auxílio de paquímetro digital, realizando-se a medição na região compreendida entre a primeira e a segunda folha. A altura da planta foi mensurada utilizando-se uma trena graduada em centímetros, considerando a distância entre a superfície do solo e o ponto de inserção da folha mais nova completamente expandida.

As Figuras 11 e 12 ilustram os procedimentos adotados para a obtenção das medições. A avaliação dessas características permitiu identificar possíveis diferenças de crescimento entre os tratamentos logo nas fases iniciais do ciclo da cultura.

Figura 9– Avaliação da altura.



Fonte: Autor (2025).

Essas avaliações foram realizadas com o máximo cuidado, visando reduzir erros de mensuração e garantir maior precisão nos dados coletados. Ressalta-se que, nesse estágio inicial, as plantas ainda se encontram em fase de estabelecimento, sendo esperadas respostas menos expressivas.

Figura 10 – Avaliação do diâmetro do colmo.



Fonte: Autor (2025).

Aos 69 dias, as variáveis de DC e AP foram novamente avaliadas para verificar os efeitos dos tratamentos de lâmina e de frequência no desenvolvimento da cultura.

Ao longo do ciclo da cultura, avaliou-se o tempo de surgimento da inflorescência, ou seja, a panícula; esse tempo foi contabilizado a partir da semeadura até a verificação visual da emergência da panícula. Na figura 13 é possível visualizar a panícula do sorgo em estágio inicial.

Figura 11 – Surgimento da panícula.



Fonte: Autor (2025).

Com o objetivo de evitar perdas na produção ocasionadas pelo ataque de pássaros, todas as panículas foram protegidas com sacos confeccionados em tecido telado, permitindo a circulação de ar e a incidência de luz, ao mesmo tempo em que impediam o acesso das aves aos grãos em desenvolvimento (Figura 14). Esse procedimento foi adotado para garantir a integridade das panículas e minimizar possíveis interferências nos resultados experimentais.

A colheita foi realizada com base em critérios relacionados ao teor de umidade e ao estágio de maturação dos grãos. A avaliação da umidade foi efetuada por meio do esmagamento dos grãos, observando-se a presença de textura farinácea, característica indicativa da proximidade do ponto de colheita. Além disso, foi analisada a aparência dos grãos, verificando-se a presença de uma pigmentação escura na região basal, característica da maturidade

fisiológica e considerada um importante indicativo do momento adequado para a colheita (Figura 15).

Figura 12 - Tecido telado para proteção da panícula.



Fonte: Autor (2025).

A utilização do material permitiu a adequada circulação de ar, evitando o acúmulo de umidade no interior da proteção. Além disso, garantiu maior segurança na obtenção dos dados de produtividade, minimizando perdas.

Figura 13- Panícula no ponto ideal de colheita.



Fonte: Autor (2025).

Após a verificação dos procedimentos de identificação do ponto de colheita, o tempo era contabilizado a partir da data da semeadura, sendo essa variável considerada como tempo de colheita.

Após a colheita do sorgo, a massa total das panículas foi medida em uma balança de precisão, modelo OHAUS Adventure AR 3130, com capacidade máxima de 3100 g e mínima de 0,5 g (Figura 16).

Figura 14 – Avaliação da massa das Panículas.



Fonte: Autor (2025).

O comprimento foi mensurado com uma trena graduada em centímetros (Figura 17). A aferição foi realizada considerando a base da panícula até sua extremidade superior, garantindo padronização nas medições. Esse procedimento permitiu maior precisão na obtenção dos dados biométricos, reduzindo possíveis erros de leitura.

Figura 15 - Avaliação do comprimento das panículas.



Fonte: Autor (2025).

4.9 Análise estatística

Após a obtenção dos dados referentes às variáveis avaliadas nos dois experimentos, procedeu-se inicialmente à verificação da normalidade dos dados, necessário para a realização das análises paramétricas. Para isso, foi aplicado o teste de normalidade de Shapiro–Wilk, adotando-se o nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

Confirmada a normalidade dos dados, os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), visando identificar possíveis diferenças significativas entre os tratamentos avaliados. Quando constatada significância pelo teste F ($p < 0,05$), as médias dos tratamentos foram comparadas por meio do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando os softwares RStudio e JASP, ambos de livre acesso.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise do desenvolvimento do sorgo aos 23 dias após a semeadura experimentos I e II

Pela análise de variância, foi possível observar que não houve um efeito significativo ao nível de significância de 5% para as variáveis de diâmetros do colmo e altura da planta, vale ressaltar que os tratamentos com lâminas de irrigação e com frequência, ainda não haviam sido iniciados, portanto, foram analisados apenas os possíveis efeitos da aplicação do N de forma convencional e fertirrigado, experimento I e o efeito da inoculação ou não das sementes com BA, experimento II.

Observou-se que, em um período inicial de análise, não é possível identificar efeitos relacionados tanto à inoculação com o BA quanto à aplicação de nitrogênio. As plantas em ambos os experimentos receberam a mesma quantidade de água ao longo dos 23 dias, o que demonstra que os efeitos da inoculação com BA são mais perceptíveis quando a planta está submetida ao estresse hídrico.

Esses resultados caracterizam uma condição homogênea no período de avaliação inicial, permitindo que as diferenças observadas em avaliações posteriores, especialmente com os tratamentos hídricos, venham a ter maior significância estatística. As análises de variância dos experimentos I e II estão disponíveis nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância da altura da planta (cm) e do diâmetro do colmo (mm) aos 23 dias pós-semeadura, em função das formas de aplicação de N (Experimento I – lâminas x formas de aplicação de N).

FV	GL	Quadrado Médio	
		Altura (cm)	Diâmetro (mm)
Tratamento (NF x NC)	1	2.07ns	7.74ns
Bloco	3	5.58ns	52.37**
Resíduo	35	2.11	2.9705
Total	39	–	–
CV(%)	–	6.55	10.33

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ns não significativo pelo teste F.

FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade.

Fonte: Autor (2025).

Quanto aos efeitos não significativos em relação às duas formas de aplicação de N, pode-se justificar pela adubação de fundação e pela demanda inicial da cultura por nutrientes nos primeiros 23 dias após a semeadura.

Para o tratamento com N aplicado de forma convencional, a dose por vaso foi de 11,11 g, com aplicação em cobertura só após 34 dias (22/10/2025), semelhante ao tratamento fertirrigado, com a dose de 11,11 g, diferindo apenas das aplicações semanais de 2,78 g até a oitava semana, onde iniciou no dia 08/10/2025 e finalizou no dia 26/11/2025. Aparentemente, as doses foram suficientes para nutrir a planta nesse período inicial, não ocasionando nenhum tipo de deficiência ou atraso no desenvolvimento nesse primeiro período de avaliações.

No que diz respeito aos resultados significativos em blocos, o diâmetro do colmo pode ser explicado por possíveis fatores inerentes ao ambiente protegido, como sombreamento, o que provoca maior estiolamento da planta e reduz o diâmetro do colmo.

Resultados semelhantes foram observados por Goes *et al.* (2011), quando se avaliaram os efeitos de adubos nitrogenados e de doses de N, não tendo efeitos significativos sobre os diâmetros do colmo do sorgo granífero.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância para altura (cm) e diâmetro (mm) aos 23 dias pós-semeadura, em função da inoculação com BA (Experimento II – frequência e inoculação com BA ou não).

FV	GL	Quadrado Médio	
		Altura (cm)	Diâmetro (mm)
Tratamento (CB x SB)	1	1.72ns	5.11ns
Bloco	3	15.29ns	6.69ns
Resíduo	35	5.83	5.69
Total	39	–	–
CV(%)	–	12.03	16.17

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ns não significativo pelo teste F. FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade.

Fonte: Autor (2025).

Os resultados da tabela 5 corroboram com o que foi observado por Jardini *et al.* (2025), que também não encontraram diferenças significativas nas variáveis analisadas, como altura e diâmetro do colmo, em plantas de sorgo inoculadas com BA, sob restrição hídrica iniciada 40 dias após a semeadura. Desta forma caracteriza-se a homogeneidade inicial dos experimentos.

5.2 Experimento I: Lâmina de irrigação x Forma de aplicação de N

5.2.1 Análise e desenvolvimento do sorgo aos 69 dias após a semeadura

Aos 69 dias após a semeadura, os dados de desenvolvimento da cultura do sorgo foram analisados novamente, considerando os efeitos dos tratamentos com lâminas de irrigação, iniciados 24 dias após a semeadura e das duas formas de aplicação de Nitrogênio, convencional e fertirrigado. As lâminas correspondiam a 40%, 60%, 80%, 100% e 120% da ETc. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e, após a constatação da significância, realizou-se o teste de Tukey a 5%. Os dados obtidos na segunda análise foram apresentados nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Análise de variância para altura (cm) e diâmetro (mm) aos 69 dias pós-semeadura (Experimento I Lâminas x Formas de aplicação de N).

FV	GL	Quadrado Médio	
		Altura	Diâmetro
Lâminas	4	1159.71**	141.46**
Aplicação de N	1	9.02ns	0.27ns
Lâmina × Aplicação de N	4	72.33ns	3.82ns
Bloco	3	270.42**	14.35ns
Resíduo	27	52.35	7.29
Total	39	–	–
CV(%)	–	7.33	7.20

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ns não significativo pelo teste F.

FV – fonte de variação; GL – grau de liberdade.

Fonte: Autor (2025).

No que diz respeito às alturas das plantas e aos diâmetros do colmo, referentes aos tratamentos com lâmina de irrigação após 69 dias da semeadura, houve efeito significativo ao nível de 1% de significância. Os resultados do Experimento I, demonstram que o crescimento vegetativo do sorgo aos 69 dias após a semeadura foi fortemente influenciado pelas lâminas de irrigação, onde fica evidente a influência da irrigação no desenvolvimento da planta.

Com a análise de variância, é possível observar o efeito com elevada significância dos tratamentos com lâminas, no que diz respeito à altura quanto para o diâmetro do colmo, por outro lado, as formas de aplicação de N como também a interação desses dois fatores não

apresentou efeito significativo, indicando que a resposta das plantas às lâminas ocorreu de maneira independente da adubação ser convencional ou fertirrigada.

Na Tabela 7, foram apresentadas as médias das variáveis analisadas, onde o teste de Tukey evidenciou que a altura das plantas apresentou valores estatisticamente semelhantes para as três lâminas superiores 120%, 100% e 80% da ETc diferenciando apenas das duas lâminas inferiores, 60% e 40%, que estatisticamente não diferiram a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Por sua vez, o diâmetro do colmo apresentou resposta diferente, onde os maiores valores foram associados às lâminas de 100 e 120% da ETc, indicando influência do manejo hídrico para o desenvolvimento adequado do colmo.

Tabela 7 – Teste de Tukey para a altura das plantas (cm) e o diâmetro do colmo (mm) aos 69 dias após a semeadura (69 DAS), em função das lâminas de irrigação.

Tratamento (Lâmina % ETc)	Variável	
	Altura	Diâmetro do colmo
40	80,75 b	31,30 c
60	92,88 b	35,49 b
80	102,38 a	38,66 ab
100	107,12 a	41,95 a
120	110,50 a	40,16 a
Média	98,72	37,51

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor (2025).

Para altura, o tratamento com 40% ETc apresentou a menor média (80,75 cm) e diferenciou dos tratamentos 80%, 100% e 120% ETc, que formaram o grupo de maiores médias (102,38; 107,12; 110,50 cm), respectivamente. O tratamento 60% ETc (92,88 cm) ocupou posição de transição, não diferindo estatisticamente de 40% ETc, mas também não alcançando o grupo superior. Em termos mais compreensíveis, os dados indicam um salto de crescimento ao se elevar a reposição hídrica em 60% para 80% ETc, seguido de uma padronização do ganho em altura entre 80 e 120% ETc.

A não diferenciação entre si, das lâminas que obtiveram maiores alturas e diâmetros do colmo, nos permite uma análise no que diz respeito o melhor aproveitamento da água, onde mesmo que as lâminas mais elevadas tenham promovido maior desenvolvimento do colmo e uniformidade da altura, a lâmina de 80% ETC, sugere que volumes maiores de água não resultam em ganhos proporcionais para essas variáveis.

Diante disso, a lâmina de 80 % da ETc se mostrou eficiente para promover o crescimento em altura, utilizando menor volume de água em comparação às lâminas de 100 e 120% da evapotranspiração da cultura.

Não houveram diferenças significativas entre as médias das lâminas de 100% e 120% da ETc, tanto na altura da planta quanto no diâmetro do colmo. A irrigação suplementar, ou seja, a aplicação de lâminas acima do real consumo de água pela cultura, não foi uma estratégia viável para favorecer o desenvolvimento da planta.

Por outro lado, lâminas menores, correspondentes a 40% e 60% da ETc, influenciaram o desenvolvimento da planta, refletindo-se em médias menores de altura e de diâmetro do colmo.

Os resultados evidenciam a significância das lâminas no desenvolvimento vegetativo da cultura, resultados esses que, quando comparados aos dados analisados aos 23 dias após a semeadura, quando não haviam iniciado os tratamentos de reposição de água conforme consumo diário pela planta.

Mesmo com a rusticidade da cultura, o déficit hídrico pode influenciar o desenvolvimento do sorgo, contribuindo para uma maior redução do crescimento vegetativo (RODRIGUES, 2015).

Para Silva et al., (2023) a altura da planta está alinhada ao diâmetro do colmo, onde plantas com maiores alturas em condições, normais de exposição a luz solar, possuem maior diâmetro refletindo em uma menor suscetibilidade ao tombamento e quebra.

Segundo Cruz et al. (2008) e Calone et al. (2020), citados por Silva et al. (2023), o diâmetro do colmo está diretamente relacionado à produtividade, sendo esse órgão considerado uma fonte de reserva.

Considerando as diferenças de médias obtidas tanto de alturas de plantas como dos diâmetros, espera-se uma resposta maior no rendimento da produção onde as lâminas atenderam a demanda hídrica da cultura ou próxima a real necessidade.

Dessa forma, os resultados analisados reforçam a importância do manejo hídrico baseado na sustentabilidade dos recursos hídricos, indicando que níveis próximos a

necessidade da cultura podem promover adequado crescimento vegetativo, enquanto lâminas superiores podem representar uso ineficiente da água.

5.2.2 *Análise do desenvolvimento produtivo e rendimento do sorgo*

Na Tabela 8, foram apresentados os resultados da ANOVA para as variáveis dias para o surgimento da panícula (DSP), dias para a colheita (DPC), massa da panícula (MP) e comprimento da panícula (CP).

Verificou-se que todas as variáveis analisadas responderam significativamente ao nível de 1% ($P < 0,01$) ao tratamento com lâminas baseadas no consumo hídrico diário da planta, em termos práticos, isso indica que o manejo hídrico foi o principal determinante tanto no ciclo da cultura, antecipando a floração e a colheita quanto nas variáveis de produção, (comprimento e massa da panícula).

Por outro lado, não houve efeito significativo no tratamento com adubações nitrogenadas, aplicado de forma convencional ou fertirrigado, o que nos indica que nos dois tipos de manejo, considerando os períodos de aplicação como também as quantidades para cada planta, possa ter suprido a necessidade nutricional da cultura.

Não houve significância também da interação das lâminas com a forma de aplicação de N, o que sugere que, nas condições do experimento, o modo de fornecer N não alterou o padrão de resposta às lâminas.

Tabela 8 – Resumo da análise de variância para dias para surgimento da panícula (DSP), dias para a colheita (DPC), massa da panícula (MP) e comprimento da panícula (CP) em função das lâminas de irrigação e da aplicação de N (Experimento I – Lâminas x Formas de aplicação de N

FV	GL	Quadrado Médio			
		DSP	DPC	MP	CP
Lâminas	4	75,75**	356,96**	5447,02**	114,44**
Aplicação de N	1	12,10(ns)	18,22(ns)	371,25(ns)	5,26(ns)
Lâminas × Aplicação de N	4	29,23(ns)	11,54(ns)	223,87(ns)	11,87(ns)
Blocos	3	68,97*	35,02(ns)	2570,03**	108,10**
Resíduo	27	15,58	32,40	464,98	5,63

Total	39	–	–	–	–
CV(%)	-	8,63	6,99	30,09	9,65

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; (ns) não significativo pelo teste F. FV = Fonte de variação; GL = Grau de liberdade; CV = Coeficiente de variação.

Fonte: Autor (2025).

As médias das variáveis (DSP), (DPC) foram apresentadas na tabela 9, considerando as 5 lâminas baseadas na ETc, onde observou-se a lâmina que supriu 100% da necessidade da planta, apresentou as menores médias tanto para o surgimento da panícula, como para o tempo de colheita, ficando notória a disponibilidade hídrica no reflexo ao encurtamento do ciclo de produção.

Na variável dias para colheita, as lâminas 100% e 120% da ETc, apresentaram médias de (74 e 75 dias) respectivamente, não diferindo estatisticamente pelo teste de Tukey, ou seja, permitiram colheita mais cedo do que as lâminas 40%, 60% e 80 % da necessidade hídrica da planta.

Evidenciando que nas menores lâminas, o sorgo demorou mais para atingir floração e concluir o ciclo, enquanto a reposição hídrica mais elevada encurtou o tempo até a colheita, com diferença de até 16 dias entre as lâminas de 40% (90 dias) e 100 % da ETc (74 dias).

Esses resultados sugere a possibilidade de redução do ciclo das culturas, possibilitando o aumento do número de safras no ano, no caso de propriedades com maiores oferta de água para irrigação, como também alerta que lâmina deficitárias podem aumentar o ciclo da cultura, impactando no manejo de rotação de culturas.

Tabela 9 - Teste de Tukey para os dias de surgimento da panícula e de colheita, em função das lâminas de irrigação.

Lâminas (mm)	Dias para surgimento da panícula	Dias para colheita
40	50 a	90 a
60	48 a	84 a
80	45 ab	84 a
100	42 b	74 b
120	44 ab	75 b
Média	46	81

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor (2025).

Resultados semelhantes foram evidenciados por Tardin et al. (2013), ao comparar o manejo de irrigação plena com situações de déficit hídrico, observou-se que a oferta de água influencia diretamente o comportamento fenológico da planta, sendo essa variação observada no período de florescimento, evidenciando que o manejo hídrico atua regulando o ciclo da cultura.

No que diz respeito as variáveis de produção as lâminas de 80%,100% e 120%, obtiveram médias estatisticamente semelhantes, evidenciando a eficiência do sorgo em produzir com lâminas abaixo da necessidade hídrica da cultura (Tabela 10).

Tabela 10 – Teste de Tukey para massa e comprimento da panícula, em função das lâminas de irrigação.

Lâmina (mm)	Massa da panícula (g)	Comprimento da panícula (cm)
40	38,32 b	20,81 b
60	52,20 b	20,50 b
80	75,28 a	25,39 a
100	94,25 a	28,55 a
120	98,30 a	27,74 a
Média	71,67	24,60

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor (2025).

As lâminas de 40% e 60% da ETc obtiveram médias que não diferiram estatisticamente, tanto para o comprimento da panícula como para a massa da panícula, sendo as médias da massa das panículas, na lâmina inferior, correspondente a 38,98% das médias obtidas na maior lâmina aplicada, já a variável de comprimento da panícula, a menor lâmina irrigada, obteve médias de 24,98% inferior à lâmina superior de 120% da ETc.

Por outro lado, a diferença em percentual entre a média da massa da panícula, da lâmina de reposição do total diário consumido pela cultura e a lâmina com 20% de excesso foi de apenas 4,12%, esses resultados evidenciam que a irrigação superior a necessidade da cultura pode aumentar a produção, porém não eficiente, ocasionando maiores demandas por água para um aumento de produtividade relativamente baixo.

No que diz respeito aos resultados de massa de panícula, para a lâmina com 20% a menos do consumo ideal de água para a cultura do sorgo, os resultados obtidos demonstram uma

redução de 23,41%, resultados esses, que quando comparados as outras variáveis analisadas, convergem em fatores positivos ao cultivo com lâmina reduzidas de irrigação.

Resultados semelhantes foram encontrados por Queiroz et al. (2023), em estudo com sorgo sacarino submetido a estresse hídrico e salino, onde o sorgo não teve perda considerável em atributos de desenvolvimento. Estudando as frações de água disponível no solo Peiter; Carlesso (1996) não verificaram diferença na produção, quando mantido frações superiores a 0,75 na profundidade do sistema radicular do sorgo, por sua vez as frações de 0,65 reduziram crescimento, desenvolvimento e conseqüentemente a produtividade do sorgo.

5.3 Experimento II: Frequência de irrigação x inoculação com *Bacillus aryabhattai*

5.3.1 Análise e desenvolvimento do sorgo aos 69 dias após a semeadura

A Tabela 11 apresenta o resumo da ANOVA para o experimento II, considerando as variáveis de dias para o surgimento da panícula (DSP), dias para a colheita (DPC), massa da panícula (MP) e comprimento da panícula (CP).

Tabela 11 - Resumo da análise de variância para dias para surgimento da panícula (DSP), dias para a colheita (DPC), massa da panícula (MP) e comprimento da panícula (CP) (69 DAS) em função das frequências de irrigação e da inoculação com *Bacillus aryabhattai* (Experimento II – frequência x inoculação ou não com BA).

FV	GL	Quadrado Médio					
		DSP	DPC	MP	CP	ALT	DC
Frequência	4	676,10**	399,54**	6.417,87**	197,23**	1.847,25**	45,91(ns)
Inoculação	1	193,60*	176,40*	3.400,70**	133,96**	624,10(ns)	17,56(ns)
Frequência							
×	4	56,97(ns)	46,46(ns)	1.101,72**	61,14**	251,10(ns)	12,10(ns)
Inoculação							
Blocos	3	29,37(ns)	16,60(ns)	191,13(ns)	16,09(ns)	63,37(ns)	3,51(ns)
Resíduo	27	41,55	25,86	260,08	12,54	199,18	18,83
Total	39	–	–	–	–	–	–

CV(%) – 12,15 6,26 32,55 16,29 15,99 14,15

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; (ns) não significativo pelo teste F. FV = Fonte de variação; GL = Grau de liberdade; CV = Coeficiente de variação. Fonte: Autor (2025).

Para o tratamento com diferentes frequências de irrigação (F1, F2, F3, F4 e F5) a análise de variância demonstrou que ocorreu um efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, para todas as variáveis (DSP, DPC, MP e CP) com exceção do diâmetro do colmo.

Já para os efeitos do tratamento com BA, as variáveis de altura da planta e diâmetros do colmo não responderam de forma significativa, porém as variáveis de DSP, DPC, MP e CP as resposta foram significativas, sendo 1% para DSP e DPC, variáveis de análise da precocidade da planta, e a 5% para as variáveis de produção, MP e CP.

A interação entre os dois fatores, ou seja, frequências de irrigação e a inoculação ou não com BA, apresentou efeitos significativos de 1% de probabilidade pelo Teste F, apenas nas variáveis de mensuração da produção, MP e CP.

Esses resultados ressaltam a elevada influência de veranicos no desenvolvimento do sorgo e na sua produtividade. Tanto a irrigação diária como a irrigação a cada cinco dias, demonstraram influenciar a preciosidade da cultura como sua produção. A tabela 12, apresenta as médias das variáveis em relação as cinco frequências estudadas.

Tabela 12 – Teste de Tukey (5%) para DSP, DPC, massa e comprimento da panícula e altura de plantas (69 DAS), em função das frequências de irrigação.

Frequência (dias)	DSP	DPC	Massa da panícula (g)	Comprimento da panícula (cm)	Altura (cm)
F1	43 c	73 b	89,37 a	28,81 a	109,62 a
F2	44 c	74 b	66,80 a	23,06 b	96,38 a
F3	54 b	83 a	43,13 b	21,84 b	86,62 b
F4	60 a	87 a	24,16 b	15,16 c	76,50 b
F5	64 a	89 a	24,26 b	19,85 b	72,12 b
Média	53	81	49,55	21,74	88,25

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor (2025).

As variáveis de dias para surgimento da panícula e dias para a colheita, sendo essas de mensuração da precocidade da cultura, os resultados apontam para redução do tempo de floração e colheita com o aumento da frequência de irrigação. A frequência diária em comparação a frequência de irrigação apenas no quinto dia, reduziu o tempo para o surgimento da panícula em 32,81% e o tempo de colheita em 17,97%, ou seja, a restrição de água influenciou em um maior tempo de colheita para o sorgo. Por sua vez, a frequência a cada dois dias não diferiu de forma significativa da frequência diária, sendo uma estratégia de irrigação para a cultura em cenários de restrição de água moderado. As frequências de irrigação a cada Três, quatro e cinco dias não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a variável de altura da planta, as frequências de irrigação, F1 e F2, obtiveram as maiores médias, sendo a frequência diária com média de 109,62 cm, por sua vez, a frequência de irrigação a cada dois dias, e média foi de 96,38 cm. As menores frequências (F3, F4 e F5) obtiveram médias que não diferiram entre si 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey. A irrigação a cada três dias, reduziu o tamanho da planta e 20,98% da irrigação diária, seguida de 30,12% da irrigação a cada quatro dias e de 34,20% da irrigação apenas no quinto dia.

A comprimento da panícula apresentou, maior média no tratamento com irrigação diária, contudo, os tratamentos com irrigação a cada dois, três e cinco dias não diferiram entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, diferentemente da irrigação a cada quatro dias que obteve a menor média. A média elevada do tratamento F5, pode-se entender como um efeito potencializada da inoculação com o BA, tendo em vista que há significância apresentada entre a interação frequências x inoculação, ou seja, os efeitos do BA foram mais bem visualizados nessa variável devido a maior restrição hídrica.

A variável de maior importância comercial, apresentou médias de massa da panícula para a frequência a cada cinco dias, de 72,85% inferior a frequências diária de irrigação. Corroborando com os dados das demais variáveis, a frequências de irrigação a cada dois dias, não diferenciou significativamente das frequências F1. Consideravelmente as frequências de irrigação impactaram no desenvolvimento da cultura e a sua produtividade, irrigando a cada três dias, impacta em uma redução de 51,73% quando comparado com a irrigação diária suprimindo em sua totalidade a demanda hídrica da cultura.

Frequências de irrigação a cada três, quatro ou cinco dias, mesmo que repondo 100% da ETC, reduzem a massa da panícula e conseqüentemente a produção em 51,73%, 72,96% e 72,85% respectivamente.

Para Bell et al.,(2018) em estudos com irrigação deficitária na cultura com sorgo, observou que os efeitos mais impactantes do estresse hídrico se dá nos períodos compreendidos entre a floração e o enchimento do grãos. Em regiões com baixa disponibilidade de água para irrigação, deve-se atentar para a fenologia da planta e criar estratégia de irrigação onde frequências maiores, sejam manejadas nos períodos críticos de desenvolvimento da cultura.

A literatura é concisa a respeito da tolerância ao déficit hídrico do sorgo, os resultados apontam para reduções de produção conforme redução da oferta de água, porém deve-se aprimorar as estratégias de irrigação conforme ressalta Adotey et al., (2021) onde observou que déficit hídrico pós-florescimento afetou fortemente a formação dos grãos e, conseqüentemente, o rendimento de produção.

Trabalhando com frequências de irrigação para sorgo forrageiro na Turquia, (Iddrisu; Kökten; Çaçan, 2024) obtiveram resultados promissores, onde frequências de irrigação de cinco dias foram obtidos altos rendimentos de matéria verde.

A inoculação com a bactéria *bacillus aryabhattai*, também se mostrou influenciar variáveis de produção e de redução do tempo de colheita, sendo as médias das variáveis apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Teste de Tukey (5%) para DSP, DPC, massa e comprimento da panícula (69 DAS), em função da inoculação com *Bacillus aryabhattai*.

Inoculação	DSP	DPC	Massa da panícula (g)	Comprimento da panícula (cm)
Não	55 a	83 a	40,33 b	19,91 b
Sim	50 b	79 b	58,77 a	23,57 a
Média	53	81	49,55	21,74

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor (2025).

Os valores das médias dos dias para o surgimento da panícula, foram reduzidos nas plantas de sorgo onde as sementes foram inoculadas com *bacillus aryabhattai*, sendo a média da planta inoculadas de 50 dias e das plantas não inoculadas 55 dias. O tempo de colheita seguiu a mesma linha com médias de 79 dias para plantas inoculadas e de 83 dias para plantas não inoculadas.

Para as variáveis de produção, as medias também foram superiores nas plantas inoculadas, com 58,77 g para a massa da panícula contra 40,33 g da planta sem o tratamento. O comprimento da panícula também apresentou médias promissora, com 23,74 cm de planta com BA e de 19,91 cm de plantas sem o BA.

Esses resultados reforçam os efeitos promissores da inoculação, onde os efeitos significativos foram comprovados de forma positiva pelo teste de Tukey, sendo o BA uma estratégia para favorecer o melhor aporte para desenvolvimento fisiológico e conseqüentemente uma melhoria da produção.

Em estudos com a cultura do milho com sementes inoculadas com BA na dose de 4 mL kg⁻¹, (Mendes *et al.*, 2025) verificou que o *Bacillus aryabhattai* foi eficaz no aumento tanto do volume radicular como do diâmetro do colmo, variáveis essas associadas a absorção e reserva de nutrientes. Sendo o uso do BA se mostrando como uma estratégia a produtividade agrícola, especialmente em regiões com restrições hídricas.

Na cultura da soja,(Park *et al.*, 2017) estudando os efeitos do BA, observaram uma maior produção de fitormônios e maior tolerância ao estresse térmico em plantas que receberam a bactéria, refletindo em um maior desenvolvimento da cultura.

Para melhor entendimento da interação entre fatores, a Tabela 14 dispõe das médias das variáveis de produção considerando as frequências de irrigação e a inoculação ou não com o *bacillus aryabhattai*.

Tabela 14 – Teste de Tukey (5%) para massa e comprimento da panícula (69 DAS), considerando a interação Frequência × Inoculação.

Frequência (dias)	SB		CB	
	MP (g)	CP (cm)	MP (g)	CP (cm)
F1	92,60 a	28,32 a	86,14 a	29,30 a
F2	64,16 a	25,25 a	69,45 a	20,88 a
F3	15,21 b	16,80 b	71,05 a	26,88 a
F4	15,98 b	12,15 b	32,35 b	18,18 b

F5	13,67 b	17,05 b	34,84 b	22,65 a
Média	40,33	19,91	58,77	23,57

Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada variável (MP ou CP), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% ($p \leq 0,05$). As letras foram atribuídas comparando os 10 tratamentos (Frequência \times Inoculação).

Fonte: Autor (2025).

Na frequência diária de irrigação (F1) a massa da panícula no tratamento sem o *bacillus* foi superior ao tratamento utilizando o BA, onde conforme a frequência era reduzida o efeito da inoculação era potencializado. Ao ponto em que as medias da MP e CP para plantas submetidas as maiores frequências, foram superiores em plantas com o *bacillus*, ou seja, o déficit hídrico foi amenizado aumentando assim a produtividade. O efeito da inoculação teve de fato uma interação positiva com as frequências de irrigação amenizando os efeitos do déficit hídrico.

As médias das massas das panículas nas plantas submetidas as frequências de irrigação a cada 5 dias sem a inoculação com BA foi 60,76% inferior as plantas submetidas a essa mesma frequência, porém com a inoculação com BA, demonstrando o efeito redutor de estresse hídrico possibilitando uma menor perda de safra para produtores que fizerem uso desse bioinsumo.

Estudo conduzidos por (Steiner *et al.*, 2024) em plantas de milho, analisando doses do inócuos por kg de semente, obteve uma dose ideal em que favoreceu o desenvolvimento da cultural, entre 20 e 22 mL kg⁻¹, bem superior a dose utilizada nesse estudo, sendo um lacuna a ser preenchida com os resultados obtido nas frequências mais baixa de irrigação, onde a dose do inoculante pode potencializar o efeito do BA, podendo aumentar as medias das variáveis de produção tendo em vista que os resultados demostram um maior efeito quando as plantas são submetidas a maior restrição hídrica.

6 CONCLUSÕES

Experimentos I: Lâmina de irrigação X Formas de aplicação de N.

As lâminas de irrigação baseadas na evapotranspiração da cultura, influenciaram tanto o desenvolvimento como a produtividade do sorgo granífero (LAS 3004), podendo em caso de restrição hídrica, aplicar a lâmina de 80% da ETC com leve redução da produtividade.

As lâminas de irrigação suprindo 100% da necessidade hídrica da cultura do sorgo, reduzem o tempo de colheita.

As diferenças entre nitrogênio aplicado de forma convencional ou fertirrigado não apresentaram diferenças significativas no desenvolvimento e a produção do sorgo, sendo o manejo recomendado da adubação nitrogenada, baseado em custo de aplicação.

Experimentos II: Frequências de irrigação X Inoculação com *Bacillus aryabhattay*.

As maiores frequências de irrigação influenciaram no maior desenvolvimento como na produção do sorgo (LAS 3004), a frequências de irrigação a cada dois dias respondeu de forma eficiente, podendo ser adotada em regiões com baixa disponibilidade de água para irrigação, desde que a evapotranspiração da cultura acumulado seja suprida.

Menores frequências de irrigação tendo a aumentar o ciclo da cultura.

A inoculação de sementes com a bactéria *bacillus aryabhattay* cepa CMAA 1363, se mostrou eficiente para reduzir os efeitos do estresse hídrico em plantas de sorgo granífero, porém há necessidade de mais estudos com doses variadas do inoculante, como também os possíveis efeitos da reaplicação do produto.

Em geral, os dois experimentos demonstram que diferentes estratégias de manejo hídrico na cultura do sorgo granífero, associados ao uso de bioinsumos pode ser uma alternativa a produção de grãos em regiões de semiárido brasileiro.

REFERÊNCIAS

ADOTEY, R. E.; PATRIGNANI, A.; BERGKAMP, B.; KLUITENBERG, G.; PRASAD, P. V. V.; JAGADISH, S. V. K. Water-deficit stress alters intra-panicle grain number in sorghum. **Crop Science**, Madison v. 61, n. 4, p. 2680–2695, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/csc2.20532>. Acesso em: 28 jan. 2026.

AGUIAR, Maria de Jesus Nogueira; VIANA, Thales Vinícius de Araújo; AGUIAR, José Vanglésio de; LIMA, Jedaías Batista de; CRISÓSTOMO JÚNIOR, Raimundo Rocha; AQUINO, Francisco Carlos de; BARRETO JÚNIOR, José Hugo Cavalcante. **Dados climatológicos: Estação de Fortaleza, 2002**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2003. 19 p. (Documentos, 75).

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56). Disponível em: <https://www.fao.org/4/x0490e/x0490e00.htm>. Acesso em: 30 jan. 2026.

ALVES, E. da S. *et al.* Determinação do coeficiente de cultivo para a cultura do rabanete através de lisimetria de drenagem. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 4, 2017. [Nota: Ajustado o padrão do periódico *Irriga*]

BELL, J. M.; SCHWARTZ, R.; MCINNES, K. J.; HOWELL, T.; MORGAN, C. L. S. Deficit irrigation effects on yield and yield components of grain sorghum. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 203, p. 289–296, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.002>. Acesso em: 28 jan. 2026.

CEARÁ. Secretaria do Desenvolvimento Econômico (SDE). **Conjuntura agrícola: agricultura do Ceará – análise comparativa 2023–2024**. Fortaleza: SDE/SecexAGRO, 2025. Disponível em: <https://www.sde.ce.gov.br/>. Acesso em: 28 jan. 2026.

COELHO, A. M. **Situação atual e perspectivas para o sorgo granífero cultivado na segunda safra no Brasil**: adaptação e resiliência de sistemas de produção. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2025. (Documentos, 283). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1160127>. Acesso em: 28 jan. 2026.

EMBRAPA MILHO E SORGO. **A cultura do sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo>. Acesso em: 30 jan. 2026.

EMBRAPA MILHO E SORGO. **Cultivo do sorgo**: Plantio. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. (Sistema de Produção, n. 2, 9. ed.). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/748792/1/Sorgo-Plantio.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2026.

FEEDIPEDIA. **Maize grain, yellow – Main analysis**. Feedipedia: Animal Feed Resources Information System, 2012. Disponível em: <https://www.feedipedia.org/node/11668>. Acesso em: 12 fev. 2026.

FEEDIPEDIA. **Sorghum grain (all types) – Main analysis**. Feedipedia: Animal Feed Resources Information System, 2012. Disponível em: <https://www.feedipedia.org/node/11655>. Acesso em: 12 fev. 2026.

FERNANDO, S. *et al.* Processing technologies and nutritional bioavailability of sorghum: a review. **Journal of Cereal Science**, London, v. 112, p. 103-115, 2025.

FERNANDO, W. B. *et al.* Sorghum and sorghum-based products: nutritional composition, prebiotic potential and health benefits in gut microbiota interactions. **International Journal of Food Science**, London, v. 2025, art. 7084868, 2025. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12661904/>. Acesso em: 28 jan. 2026.

GE, F. *et al.* Genetic architecture and molecular regulation of sorghum domestication. **aBIOTECH**, Singapore, v. 4, n. 1, p. 57–71, 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10199992/>. Acesso em: 28 jan. 2026.

GHIAT, I.; MACKEY, H. R.; AL-ANSARI, T. A Review of Evapotranspiration Measurement Models, Techniques and Methods for Open and Closed Agricultural Field Applications. **Water**, Basel, v. 13, n. 18, art. 2523, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w13182523>. Acesso em: 28 jan. 2026.

GOES, R. J.; RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O.; ARRUDA, O. G.; VILELA, R. G. Fontes e Doses de Nitrogênio em Cobertura, no Sorgo Granífero na Safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 10, n. 2, p. 121–129, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v10n2p121-129>. Acesso em: 28 jan. 2026.

IBGE. Tabela 3.3.1.2 – Áreas plantadas e colhidas, produção e rendimento médio, segundo os produtos agrícolas das lavouras temporárias – 2021–2022. In: **ANUÁRIO Estatístico do Brasil 2023**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://anuario.ibge.gov.br/images/aeb/2023/s3/2_pdf/s3t3102.pdf. Acesso em: 28 jan. 2026.

IDDRISU, A. M.; KÖKTEN, K.; ÇAÇAN, E. The Effect of Different Irrigation Frequency and Level on Yield and Quality Characteristics of Silage Sorghum. **Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology**, Rize, v. 12, n. 6, p. 924–931, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v12i6.924-931.6651>. Acesso em: 28 jan. 2026.

INSA – Instituto Nacional do Semiárido. **Delimitação do Semiárido Brasileiro (2024)**. Campina Grande: INSA/MCTI, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/centrais-de-conteudo/mapas/mapas-em-pdf/delimitacao-do-semiarido-brasileiro-2024.pdf/view>. Acesso em: 15 fev. 2026.

JARDINI, Débora Curado; GONÇALVES, Diogo; GONÇALVES, Matheus. Potencial do *Bacillus aryabhattai* na mitigação de estresse hídrico na cultura do sorgo. **Connection Line – Revista Eletrônica do UNIVAG**, Várzea Grande, n. 34, 2025. Disponível em: <https://periodicos.univag.com.br/index.php/CONNECTIONLINE/article/view/3270>. Acesso em: 5 fev. 2026.

KHALIFA, M.; ELTAHIR, E. A. B. Assessment of global sorghum production, tolerance, and climate risk. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, Lausanne, v. 7, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1184373>. Acesso em: 28 jan. 2026.

LI, M. *et al.* Comprehensive 3D phenotyping reveals continuous morphological variation across genetically diverse sorghum panicles. **New Phytologist**, Lancaster, v. 226, n. 6, p. 1873–1889, 2020. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7472545/>. Acesso em: 28 jan. 2026.

LIMA, J. G. A. *et al.* Water requirement and crop coefficients of sorghum in Apodi Plateau. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, n. 10, p. 684–688, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n10p684-688>. Acesso em: 28 jan. 2026.

MAGALHÃES, P. C. *et al.* **Fisiologia da planta de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 163).

MARTINS, E. de O. *et al.* Determinação do coeficiente de cultura e ajuste do irrigâmetro para manejo da irrigação do milho utilizando lisímetros de drenagem. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 14, n. 1, 2020.

MAY, A.; MOREIRA, B. R. A.; MASCARIN, G. M.; VIANA, R. S.; SANTOS, M. S.; SILVA, E. H. F. M.; RAMOS, N. P.; MELO, I. S. de. Induction of drought tolerance by inoculation of *Bacillus aryabhattai* on sugarcane seedlings. **Científica**, Dracena, v. 47, n. 4, p. 400–410, 2019. Disponível em: <https://cientifica.dracena.unesp.br/index.php/cientifica/article/view/1258>. Acesso em: 2 fev. 2026.

MENDES, D. F.; FILHO, F. R. C.; ANDRADE, C. L. L. de; VENTURA, M. V. A. Root and aerial growth of corn subjected to different biological managements in seed treatment with *Bacillus aryabhattai*. **Brazilian Journal of Science**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 39–46, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/bjs.v4i2.722>. Acesso em: 2 fev. 2026.

NEGASH, T. W. *et al.* Evapotranspiration and crop coefficient of sorghum under varying irrigation. **Air, Soil and Water Research**, London, v. 16, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/11786221231184206>. Acesso em: 28 jan. 2026.

OGTR. Office of the Gene Technology Regulator. **The biology of Sorghum bicolor (L.) Moench subsp. bicolor (sorghum)**. Canberra: OGTR, 2024. Disponível em: https://www.ogtr.gov.au/sites/default/files/2024-11/the_biology_of_sorghum.pdf. Acesso em: 28 jan. 2026.

ORTIZ, S.; MARTIN, T.; FULANETI, F. S.; VALDOVINO, V. C. Silos experimentais e a composição bromatológica de silagem de milho e sorgo. **Vivências**, Erechim, v. 17, n. 33, p. 453–466, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.31512/vivencias.v17i33.462>. Acesso em: 28 jan. 2026.

PANG, B. *et al.* Evaluating effects of deficit irrigation strategies on grain sorghum. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 209, p. 245–254, 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418305947>. Acesso em: 28 jan. 2026.

PARK, Y.-G. *et al.* Bacillus aryabhattai SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones. **PLOS ONE**, São Francisco, v. 12, n. 3, p. e0173203, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173203>. Acesso em: 2 fev. 2026.

PEITER, M. X.; CARLESSO, R. Comportamento do sorgo granífero em função de diferentes frações da água disponível no solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 51–55, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-84781996000100010>. Acesso em: 28 jan. 2026.

QUEIROZ, G. C. M. *et al.* Growth, solute accumulation, and ion distribution in sweet sorghum under salt and drought stresses in a Brazilian Potiguar semiarid area. **Agriculture**, Basel, v. 13, n. 4, p. 803, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/4/803>. Acesso em: 22 maio 2024.

ROCHA, A. S. *et al.* Indicadores da tolerância de plantas de sorgo granífero sob condições de baixa disponibilidade de água no solo. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Málaga, v. 22, n. 12, 2024. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10265571>. Acesso em: 28 jan. 2026.

RODRIGUES, J. A. S. (ed.). **Cultivo do sorgo**. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 2).

SHIVAJI, S. *et al.* Bacillus aerius sp. nov., Bacillus aerophilus sp. nov., Bacillus stratosphericus sp. nov., and Bacillus aryabhattai sp. nov., isolated from upper atmosphere air samples. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, Reading, UK, v. 59, n. 12, p. 2977-2986, 2009. Disponível em: <https://www.microbiologyresearch.org/content/journal/ijsem/10.1099/ijms.0.002527-0>. Acesso em: 2 fev. 2026.

SILVA, A. R. *et al.* Déficit hídrico e o crescimento de plantas de sorgo. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n. 4, p. 668–682, 2023. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4797>. Acesso em: 28 jan. 2026.

SILVA, J. L. de A. *et al.* Crescimento e produtividade de sorgo granífero sob diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 12, p. 1260-1267, 2014.

SILVA, Nelmício Furtado da; CUNHA, Fernando Nobre; CAVALCANTE, Wendson Soares da Silva; CABRAL FILHO, Fernando Rodrigues; TEIXEIRA, Marconi Batista; CUNHA, Gabriela Nobre. Crescimento e desenvolvimento da cultura do sorgo sob déficit hídrico. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n. 4, p. 668–682, 2023.

SILVA, W. O. da *et al.* Water availability and growing season temperature on the performance of sorghum cultivars. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 19, n. 2, e3665, 2024. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1164986/1/Water-availability-and->

growing-season-temperatureon-the-performance-of-sorghum-cultivars-2024.pdf. Acesso em: 12 fev. 2026.

SOUZA, I. S. R. *et al.* Inoculação do *Bacillus aryabhattai* e os efeitos na produtividade do milho. **Research, Society and Development**, Várzea Grande Paulista, v. 14, n. 2, e10414248266, 2025. Acesso em: 2 fev. 2026.

STEINER, F.; LOPES, L. E.; VILAS-BOAS, J. K.; FERREIRA, I. B. P. A.; AGUILERA, J. G.; ZUFFO, A. M. *Bacillus aryabhattai* dose recommendation for corn seed inoculation. **Trends in Agricultural and Environmental Sciences**, Rio Verde, p. e240003, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.46420/TAES.e240003>. Acesso em: 2 fev. 2026.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Resolução CONDEL/SUDENE nº 150, de 13 de dezembro de 2021**: estabelece critérios técnicos e científicos para a delimitação do Semiárido brasileiro. Recife: SUDENE, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/resolucao1502021.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2026.

TARDIN, F. D.; ALMEIDA FILHO, J. E.; OLIVEIRA, C. M.; LEITE, C. E. P.; MENEZES, C. B.; MAGALHÃES, P. C.; RODRIGUES, J. A. S.; SCHAFFERT, R. E. Avaliação agrônômica de híbridos de sorgo granífero cultivados sob irrigação e estresse hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 2, p. 102–117, 2013. Disponível em: https://rbms.sede.embrapa.br/ojs/article/download/423/pdf_62/5719. Acesso em: 16 fev. 2026.

VENANCIO, L. P. *et al.* Evapotranspiração de cultura: uma abordagem dos principais métodos aplicados às pesquisas científicas e na agricultura. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 4, p. 719–746, 2019.

WANG, Q. *et al.* Long-term excess nitrogen fertilizer reduces sorghum yield by affecting the soil bacterial community. **Plants**, Basel, v. 15, n. 1, p. 25, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/15/1/25>. Acesso em: 28 jan. 2026.

XIONG, Y. *et al.* Sorghum grain: from genotype, nutrition, and phenolic profile to its health benefits and food applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Hoboken, v. 18, n. 6, p. 2025–2046, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31667849/>. Acesso em: 28 jan. 2026.

XU, J. *et al.* Phenolic compounds in whole grain sorghum and their health benefits. **Foods**, Basel, v. 10, n. 8, p. 1921, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/8/1921>. Acesso em: 28 jan. 2026.