



Crescimento do meloeiro em função da inoculação de sementes com *Bacillus* spp. sob estresse hídrico

Growth of melon plants as a function of seed inoculation with *Bacillus* spp. under water stress

R. N. Carvalho¹; A. C. Mesquita^{1*}; W. L. Simões²; A. A. F. J. Santos³;
M. G. Araújo¹; D. J. S. Lima¹; W. R. S. Nogueira¹

¹Laboratório de Fisiologia Vegetal, Universidade do Estado da Bahia, 48904-719, Juazeiro-Bahia, Brasil

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Semiárido, Rodovia BR-428, km 152, s/n, 56302-970, Petrolina-Pernambuco, Brasil

³Laboratório de Ecologia e Biotecnologia Microbiana do Semiárido - LEBIMS da UNEB, Universidade do Estado da Bahia, 48904-719, Juazeiro-Bahia, Brasil

*amesquita@uneb.br

(Recebido em 03 de junho de 2025; aceito em 07 de janeiro de 2026)

A cultura do melão apresenta importância econômica, com destaque para o Nordeste que agrega na produção nacional. Porém é uma região que enfrenta diversos períodos de seca que afetam a produtividade. Como opção, os inoculantes com bactérias promotoras de crescimento, a exemplo o *Bacillus* spp., promovem o crescimento e desenvolvimento em condições de estresse hídrico. Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência agronômica de bactérias do gênero *Bacillus* spp., inoculadas e reinoculadas, visando reduzir o efeito negativo do estresse hídrico no cultivo do melão amarelo. Utilizou-se o delineamento integralmente casualizado com parcelas subdivididas e cinco repetições em um esquema fatorial 2x6x5, sendo: duas lâminas de irrigação (60% e 100%), seis tratamentos de inoculação (CN: controle negativo; IS: inoculação de sementes; IS-C1: inoculação de sementes + reinoculação na concentração 0,3 O.D; IS-C2: inoculação de sementes + reinoculação na concentração 0,5 O.D; C1: inoculação no solo na concentração 0,3 O.D; C2: inoculação no solo na concentração 0,5 O.D.) e cinco fases de crescimento (15, 30, 45, 60 e 70 dias após o plantio). Os resultados indicaram que a inoculação do mix de *Bacillus velezensis* NB69 e *Bacillus subtilis* NB P6.2 promoveu melhorias significativas no crescimento das plantas nas concentrações mais elevadas (0,5 O.D.), além de promover melhorias significativas para a lâmina de estresse hídrico moderado (60%), não diferindo estatisticamente com a lâmina de maior disponibilidade hídrica em algumas variáveis. Assim, destaca-se o potencial do uso de microrganismos promotores de crescimento como estratégia sustentável para a fruticultura em regiões semiáridas.

Palavras-chave: bioinsumos, Cucurbitaceae, estresse hídrico.

Melon cultivation holds economic importance, with particular prominence in the Northeast, which significantly contributes to national production. However, this region frequently faces drought periods that negatively impact crop productivity. As an alternative, growth-promoting bacterial inoculants, such as *Bacillus* spp., have been used to enhance plant growth and development under water stress conditions. This study aimed to evaluate the efficiency of bacteria from the genus *Bacillus* spp., applied via inoculation and reinoculation, to mitigate the negative effects of water stress on yellow melon cultivation. A completely randomized design with split plots and five replications was used in a 2x6x5 factorial scheme, consisting of: two irrigation levels (60% and 100%), six inoculation treatments (CN: negative control; IS: seed inoculation; IS-C1: seed inoculation + reinoculation at 0.3 O.D.; IS-C2: seed inoculation + reinoculation at 0.5 O.D.; C1: soil inoculation at 0.3 O.D.; C2: soil inoculation at 0.5 O.D.), and five growth stages (15, 30, 45, 60, and 70 days after planting). The results indicated that inoculation with the mix of *Bacillus velezensis* NB69 and *Bacillus subtilis* NB P6.2 significantly improved plant growth in the highest concentrations (0.5 O.D.). In addition to promoting significant improvements for the moderate water stress layer (60%), it did not differ statistically from the layer with greater water availability in some variables. Thus, the potential of using growth-promoting microorganisms as a sustainable strategy for fruit growing in semiarid regions is highlighted.

Keyword: bioinputs, Cucurbitaceae, water stress.

1. INTRODUÇÃO

O melão (*Cucumis melo* L.) é uma das culturas agrícolas de maior relevância econômica no semiárido brasileiro, particularmente na região Nordeste, onde encontra condições climáticas ideais para o seu cultivo ao longo do ano. A introdução da cultura no Submédio Vale do São Francisco, nas cidades de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, ocorreu na década de 1970, consolidando-se como uma atividade agrícola estratégica para a geração de emprego, renda e desenvolvimento regional [1].

A importância econômica do meloeiro está diretamente ligada à sua capacidade de adaptação às condições climáticas adversas do semiárido, como altas temperaturas, intensidade luminosa e comprimento do dia. No entanto, a alta temperatura provoca uma maior demanda hídrica da cultura, que em ambiente com escassez de água e baixa precipitação, podem comprometer a produtividade e a qualidade dos frutos [2].

No contexto da irrigação, a fase de frutificação é particularmente desafiadora. Durante esse período, o estresse hídrico reduz o pegamento e o desenvolvimento dos frutos, enquanto o excesso pode causar lixiviação de nutrientes, aumento de custos e proliferação de pragas [1]. Métodos de manejo hídrico, como o uso de tensiômetros e o tanque classe A, têm se mostrado eficazes para evitar esses problemas e otimizar o uso da água [3].

As regiões semiáridas, caracterizadas por condições climáticas extremas, abrigam comunidades microbianas altamente adaptadas que desempenham papéis cruciais no suporte ao desenvolvimento das plantas. Microrganismos associados às raízes das plantas, conhecidos como rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCs), são essenciais para a adaptação e resiliência de culturas agrícolas em tais ambientes [4].

Essas RPCs estabelecem interações mutualísticas com as plantas, onde a troca de exsudatos radiculares e moléculas sinalizadoras modula a microbiota rizosférica, favorecendo a promoção do crescimento e a mitigação de estresses abióticos [5, 6].

Bactérias do gênero *Bacillus* spp., como *B. subtilis* e *B. megaterium*, por exemplo, destacam-se pela capacidade de produzir biofilmes que ajudam a manter a umidade do solo e otimizam a eficiência do uso da água pelas plantas [7]. Adicionalmente, espécies como *Bacillus* spp. *megaterium* BOFC15 promovem mudanças nos níveis de poliaminas celulares, como espermidina e espermina, aumentando a tolerância ao estresse hídrico e melhorando o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Desse modo, tais avanços na compreensão dos mecanismos fisiológicos das RPCs envolvidos no crescimento da cultura, oferecem soluções sustentáveis para o aumento da eficiência do uso da água e a mitigação dos impactos das mudanças climáticas na agricultura. A integração desses conhecimentos com práticas agrícolas em larga escala tem potencial para transformar a produção agrícola em regiões semiáridas, promovendo segurança alimentar e sustentabilidade ambiental.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação com tela do tipo Chromatinet® 40% no campo de hortaliças do Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais da Universidade do Estado da Bahia (DTCS-UNEB), Juazeiro-BA (09°24'50" S, 40°30'10" W e altitude de 368 m), no período de outubro a dezembro de 2021. O clima da região é classificado como BSwh, tropical semiárido, de acordo com a classificação de Köppen, com precipitação média anual entre 380 e 760 mm e temperatura média anual do ar maior que 26°C [8]. Os dados climáticos foram obtidos da estação meteorológica automática DTCS/UNEB situada na Instituição onde o estudo foi realizado.

Foram adotadas duas lâminas de irrigação para o experimento. A primeira consistiu de 60% da umidade do solo, iniciado 15 dias após o plantio (DAP), após o aparecimento da folha definitiva, visando atender um cenário de estresse hídrico moderado. A segunda foi representada por 100% da umidade de solo, visando atender a demanda hídrica ao longo do experimento.

O manejo da irrigação foi realizado utilizando o TDR100 (reflectometria no domínio do tempo), no qual contem sondas em formato de “garfo” com três hastes medindo 10 cm de comprimento, que consiste no tempo em que um pulso eletromagnético leva para percorrer na distância de duas hastes [9]. Foram selecionadas e identificadas seis sondas diferentes, referente

a cada tratamento. As leituras foram realizadas, em dias alternados, no turno da manhã (07:00 h) para acompanhar o monitoramento da umidade através da inserção perpendicular da sonda na superfície do solo, o mais próximo possível da planta, entretanto, realizada de forma que não danificasse as raízes do meloeiro e obtivesse o valor da umidade atual. Após a leitura pela sonda, registrava-se o valor da umidade volumétrica do solo, diretamente no aparelho, posteriormente sendo realizada a irrigação de forma manual, utilizando provetas.

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado com parcelas subdivididas no tempo, com cinco repetições em esquema fatorial 2 x 6 x 5, sendo: duas lâminas de irrigação (60 % e 100 %), seis tratamentos de inoculação (CN: controle negativo; IS: inoculação de sementes; IS-C1: inoculação de sementes + reinoculação na concentração 0,3 O.D. (densidade óptica 540 nm); IS-C2: inoculação de sementes + reinoculação na concentração 0,5 O.D. – oxigênio dissolvido; C1: inoculação no solo na concentração 0,3 O.D.; C2: inoculação no solo na concentração 0,5 O.D.) e cinco fases de crescimento (15, 30, 45, 60 e 70 dias após o plantio).

O solo foi coletado na área do Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais (DTCS) - UNEB, sendo realizada uma amostra composta. Após a coleta, as amostras foram conduzidas para o Laboratório de Análises de Água, Solo e Planta do Centro de Agroecologia, energias renováveis e desenvolvimento sustentável (CAERDES), para a realização da sua caracterização química (Tabela 1).

Tabela 1: Atributos químicos do solo utilizado no estudo.

	pH			C.E. (dS m ⁻¹)					
	CaCl ₂	KCl	H ₂ O	Ext. Sat.	V (%)	100·Na ⁺ /T	P (mg dm ⁻³)	m (%)	M.O. (g.Kg ⁻¹)
A	5,58	6,14	6,58	0,026	96,92	0,82	5,03	0	9,90
Complexo Sortivo (cmol./dm ³ de TFSA)									
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ⁺³	H ⁺ + Al ⁺³	T	
A	2,30	2,00	0,37	0,04	4,58	0	0,15	4,90	

Ext. Sat.: Extrato saturado; SB = Soma de bases; T= Capacidade de troca de cátions; V = Porcentagem de saturação por bases; m= Porcentagem de saturação por alumínio; M.O. = Matéria orgânica; P = Teor de fósforo; A= Amostra.

A variedade do melão escolhida, foi o híbrido do melão amarelo Gladiol. Foi realizada uma adubação de fundação utilizando um granulado que continha NPK, oito dias antes do plantio, de acordo com as necessidades da cultura conforme o manual de adubação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA [10].

Os inoculantes foram cedidos pelo Laboratório de Biotecnologia Microbiana, DTCS/UNEB, sendo utilizado um mix de bactérias *Bacillus velezensis* NB69 e *Bacillus subtilis* NB P6.2 em diferentes concentrações de células bacterianas, segundo os tratamentos utilizados. Ambas as bactérias foram previamente isoladas da rizosfera de cactáceas nativas da Caatinga [11].

Para o tratamento de inoculação de semente (IS) as sementes foram embebidas dentro de béqueres autoclavados por 40 minutos (às 09:00 h) e depois secas ao ar livre posicionadas em papel absorvente, posteriormente havendo a semeadura às 16 horas do mesmo dia com o auxílio de pinças esterilizadas. Para os tratamentos com reinoculação (IS-C1 e IS-C2), ocorreu o mesmo processo de inoculação das sementes e houve uma reinoculação no solo, tanto no momento do plantio, como aos 30 e 60 DAP, IS-C1 na concentração 0,3 O.D. e IS-C2 na concentração 0,5 O.D. Nos tratamentos C1 e C2 não ocorreu a inoculação de sementes, apenas a inoculação no solo, no momento do plantio e também 30 e 60 DAP, nas concentrações 0,3 O.D e 0,5 O.D, respectivamente. Para os tratamentos com reinoculação foram utilizados 2 ml do meio de cultura contendo as bactérias – inoculante - por semente, com auxílio de uma pipeta automática, sendo realizados aos 30 e 60 dias (DAP).

As variáveis de crescimento foram analisadas a cada 15 dias, nos tempos 15, 30, 45, 60 e 70 DAP da planta, sendo estas: Comprimento do caule, com o auxílio de uma trena métrica, medindo do colo da planta a base da folha mais jovem; Diâmetro do caule obtido por meio do uso do paquímetro digital, a medição sendo realizada a dois centímetros do colo da planta; Teor de

clorofila utilizando um Clorofilômetro portátil da marca Falker (clorofilog®, modelo CFL1030); área foliar (AF), seguindo o procedimento descrito por Silva et al. (2015) [12], conforme apresentado na fórmula ($AF = L \times C \times 0,70$).

As análises destrutivas foram realizadas apenas no final do experimento, aos 70 DAP, sendo: Teor relativo de água (TRA), determinado pela equação de Barrs e Wheaterley (1962) [13]. A determinação da biomassa fresca e seca foi realizada com a coleta de plantas inteiras, incluindo as raízes, diretamente dos vasos. Após a retirada do sistema radicular e medição do comprimento da raiz com o auxílio de um trena métrica, esse material foi levado ao laboratório, onde através do método de deslocamento de água, foi quantificado o volume da raiz. Esse método consiste em utilizar uma proveta e acrescentado um volume de água conhecido, onde em seguida foram inseridas individualmente as raízes, sendo que o volume de água deslocado na proveta corresponde ao volume das raízes.

Os dados foram submetidos à análise de variância com o teste F a 5% e 1% de probabilidade. Quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey e Scott Knott, a 5 e 1% de probabilidade, utilizando-se o Sisvar versão 4.0 [14].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comprimento do caule diferiu de forma significativa apenas entre as fases avaliadas, o que reflete somente o comportamento fisiológico das plantas ao longo do tempo. A média foi de 8,79 cm na primeira época, realizada aos 15 dias após o plantio (DAP), e 197,6 cm na última análise (70 DAP). Diante disso, uma lâmina de 60% da capacidade de campo aplicada neste trabalho não foi suficiente para provocar um estresse hídrico que resultasse na redução no crescimento da planta.

Cavalcanti et al. (2015) [15], ao trabalharem com melão amarelo da variedade “Mandacaru” sob estresse hídrico, verificaram aumento progressivo do crescimento após os 29 DAP, corroborando com os resultados encontrados. Contudo, dizendo que, quanto maior a disponibilidade hídrica, maior a diferença significativa entre os resultados, com o valor máximo de 117,5 cm obtidos na maior lâmina utilizada, o que contrasta com os resultados obtidos neste trabalho. Ferraz et al. (2011) [16], em estudo com melão da variedade Gália, também encontraram significância ao analisar o crescimento do caule sob diferentes lâminas de irrigação. Nas menores lâminas de água, os valores obtidos foram significativamente inferiores, com o maior comprimento registrado de 61,13 cm, diminuindo a sensibilidade do meloeiro à menor disponibilidade hídrica no solo.

Ao contrário da observação para o crescimento da planta, o diâmetro do caule do meloeiro (Figura 1) foi influenciado pelo uso da lâmina da capacidade de campo ao longo dos dias analisados, não tendo diferença significativa apenas na segunda época avaliada (30 DAP).

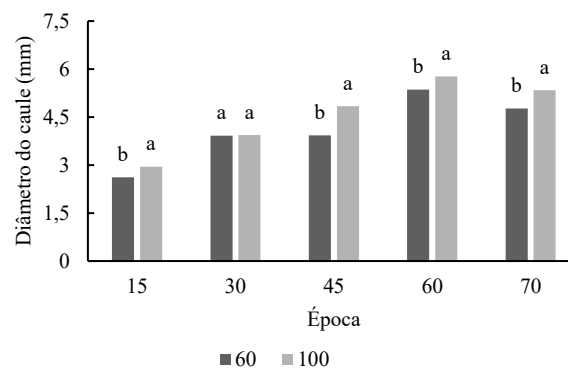


Figura 1: Diâmetro do caule do meloeiro em função da interação entre períodos avaliados e lâmina de irrigação. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Juazeiro-Bahia, 2022.

A lâmina de 100% apresentou os melhores resultados de forma significativa em todos os tempos avaliados.

Lima et al. (2009) [17], ao estudarem o melão Vereda em ambiente protegido sob estresse hídrico, obtiveram 4,31 mm como o melhor resultado para o diâmetro do caule, utilizando lâmina de 75%. No presente trabalho, os melhores resultados foram obtidos aos 60 DAP, com 5,36 mm para a lâmina de 60% e 5,77 mm para a de 100% (Figura 1).

Estudos realizados por Melo et al. (2017) [18] e Dutra et al. (2012) [19], em diferentes culturas, mostram que o estresse hídrico causa menores valores de diâmetro do caule, como um mecanismo de defesa, limitando o crescimento devido às alterações fisiológicas, morfológicas e/ou metabólicas da planta.

Os resultados encontrados para o teor relativo da água (TRA) estão apresentados na Figura 2, observando-se uma interação significativa entre as lâminas e as bactérias.

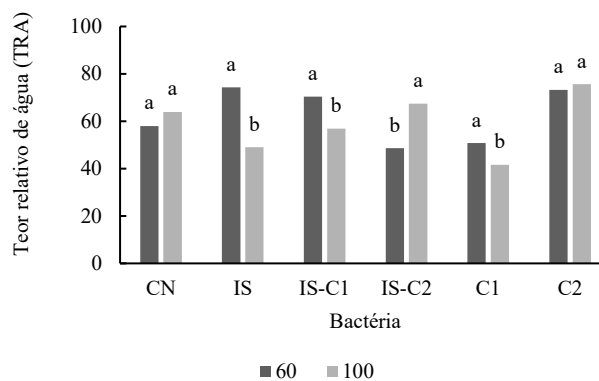


Figura 2: Teor de água relativo (TRA) do meloeiro em função das bactérias. CN: controle negativo; IS: inoculação de sementes; IS-C1: inoculação de sementes + reinoculação na concentração 0,3; IS-C2: inoculação de sementes + reinoculação na concentração 0,5; C1: inoculação na concentração 0,3; C2: inoculação na concentração 0,5. Médias seguidas por letras distintas, dentro de cada combinação de bactéria, diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). Juazeiro-Bahia, 2022.

Pode-se notar que os tratamentos CN (controle negativo) e C2 (inoculação no solo com concentração de 0,5) não diferiram entre si em relação às lâminas de aplicação. Por outro lado, os tratamentos IS (inoculação de sementes), IS-C1 (inoculação de sementes e reinoculação na concentração de 0,3) e C1 (inoculação no solo com concentração de 0,3) indicam os maiores valores de TRA quando submetidos à lâmina de 60%. Isso demonstra que a inoculação de sementes foi relevante para manter o estado hídrico da planta.

No entanto, o tratamento IS-C2 (inoculação de sementes e reinoculação na concentração de 0,5) não apresentou o mesmo comportamento, obtendo a melhor resposta na lâmina de 100% em comparação à lâmina de 60%. Isso sugere que altas concentrações de bactérias podem inibir o efeito positivo que poderiam proporcionar ao meloeiro na manutenção do TRA sob essa condição hídrica.

Bandeppa et al. (2019) [20], em estudo com dois genótipos de abobrinha (*Brassica juncea* L.), dois tipos de *Bacillus spp.* (*cereus* e *sp.*) e estresse hídrico (50% e 100%), observaram que, no tratamento controle, houve diferença significativa entre lâminas. Contudo, nos tratamentos com inoculação, essa diferença não foi significativa, atribuída à capacidade das espécies de *Bacillus spp.* de alterar o estado fisiológico e bioquímico das plantas. O mecanismo de atuação das rizobactérias para atenuar o estresse hídrico parece ser o acúmulo de osmólitos, como prolina, aminoácidos e açúcares, proporcionando um melhor ajuste osmótico e maior teor relativo de água nos tecidos foliares [21]. Por outro lado, as bactérias testadas elevaram o TRA das plantas quando comparadas as lâminas de 60% e 100%, exceto na maior concentração (Figura 2).

A variável referente ao comprimento da raiz apresentou significância apenas para os fatores isolados de lâminas e bactérias. Na Figura 3A, observa-se que o maior comprimento radicular foi obtido em plantas submetidas à lâmina de 60% da capacidade de campo. Na Figura 3B, nota-se

que os tratamentos CN (controle negativo) e IS (inoculação de sementes) não diferiram entre si e tiveram os menores valores de comprimento radicular. Os demais tratamentos foram superiores, sem diferenças significativas entre eles.

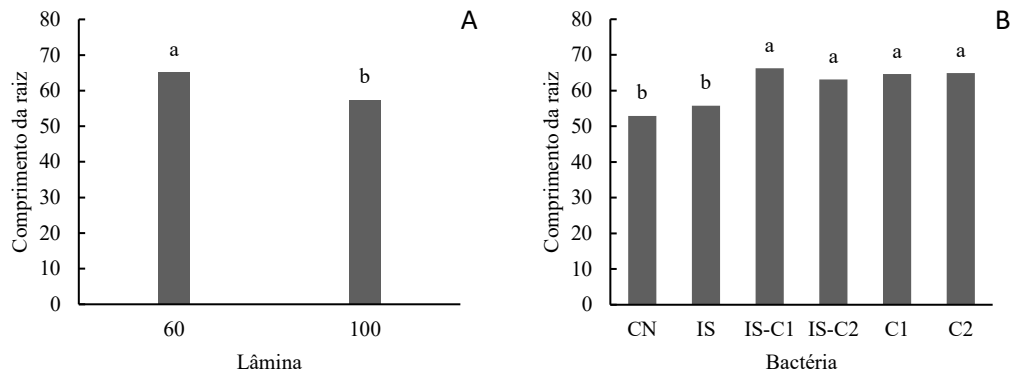


Figura 31: (A) Comprimento da raiz do meloeiro em função da lâmina de irrigação (60 e 100%); (B) em função da bactéria. CN: controle negativo; IS: inoculação de sementes; IS-C1: inoculação de sementes + reinoculação na concentração 0,3; IS-C2: inoculação de sementes + reinoculação na concentração 0,5; C1: inoculação na concentração 0,3; C2: inoculação na concentração 0,5. Médias seguidas por letras distintas, dentro de cada combinação de bactéria, diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). Juazeiro-Bahia, 2022.

Esses resultados destacam a influência das bactérias inoculadas no aumento do sistema radicular e, conseqüentemente, na absorção de água, conforme demonstrado nas Figuras 3A e 3B.

Os dados obtidos para o volume da raiz ofereceram significância para a interação entre os fatores (Figura 4). Bandeppa et al. (2019) [20] encontraram resultados semelhantes ao deste estudo ao comparar a testemunha com tratamentos contendo *Bacillus spp.*, reforçando a eficiência do uso da inoculação e sua aplicação em campo.

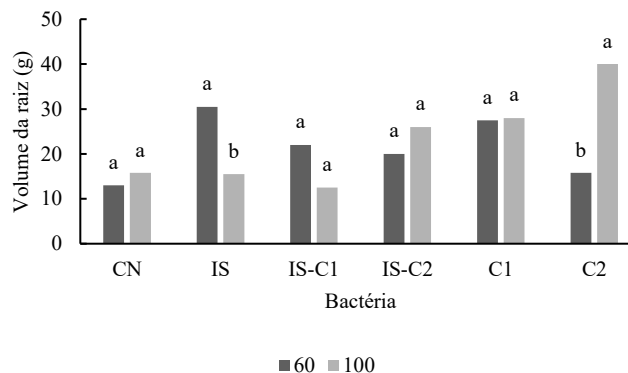


Figura 4: Volume da raiz do meloeiro em função das bactérias. CN: controle negativo; IS: inoculação de sementes; IS-C1: inoculação de sementes + reinoculação na concentração 0,3; IS-C2: inoculação de sementes + reinoculação na concentração 0,5; C1: inoculação na concentração 0,3; C2: inoculação na concentração 0,5. Médias seguidas por letras distintas, dentro de cada combinação de bactéria, diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). Juazeiro-Bahia, 2022.

Observa-se que o tratamento CN não apresentou diferença significativa entre as lâminas aplicadas. O mesmo comportamento foi apresentado nos tratamentos IS-C1, IS-C2 e C1, embora com valores de volume radicular superiores aos do CN, evidenciando um ganho no sistema radicular devido à aplicação de bactérias (Figura 4). Por outro lado, o tratamento respondeu positivamente ao ganho de volume radicular quando apresentado à lâmina de 60%, reforçando a

contribuição das bactérias para o enfrentamento do estresse hídrico. O tratamento C2 foi o único em que a inoculação bacteriana foi mais responsiva à lâmina de 100% da capacidade de campo.

As rizobactérias são conhecidas por produzirem fitohormônios, como giberelinas e ácido indol-acético, que complementam os hormônios vegetais endógenos, promovendo o crescimento de raízes e hormônios. Essas bactérias também reduzem os níveis de etileno nas plantas sob condições de estresse hídrico, melhorando a biomassa radicular e da parte aérea [20, 22]. A Figura 5 detalha graficamente esses resultados, evidenciando as alterações na área foliar para os tratamentos de forma isolada ao longo dos períodos avaliados.

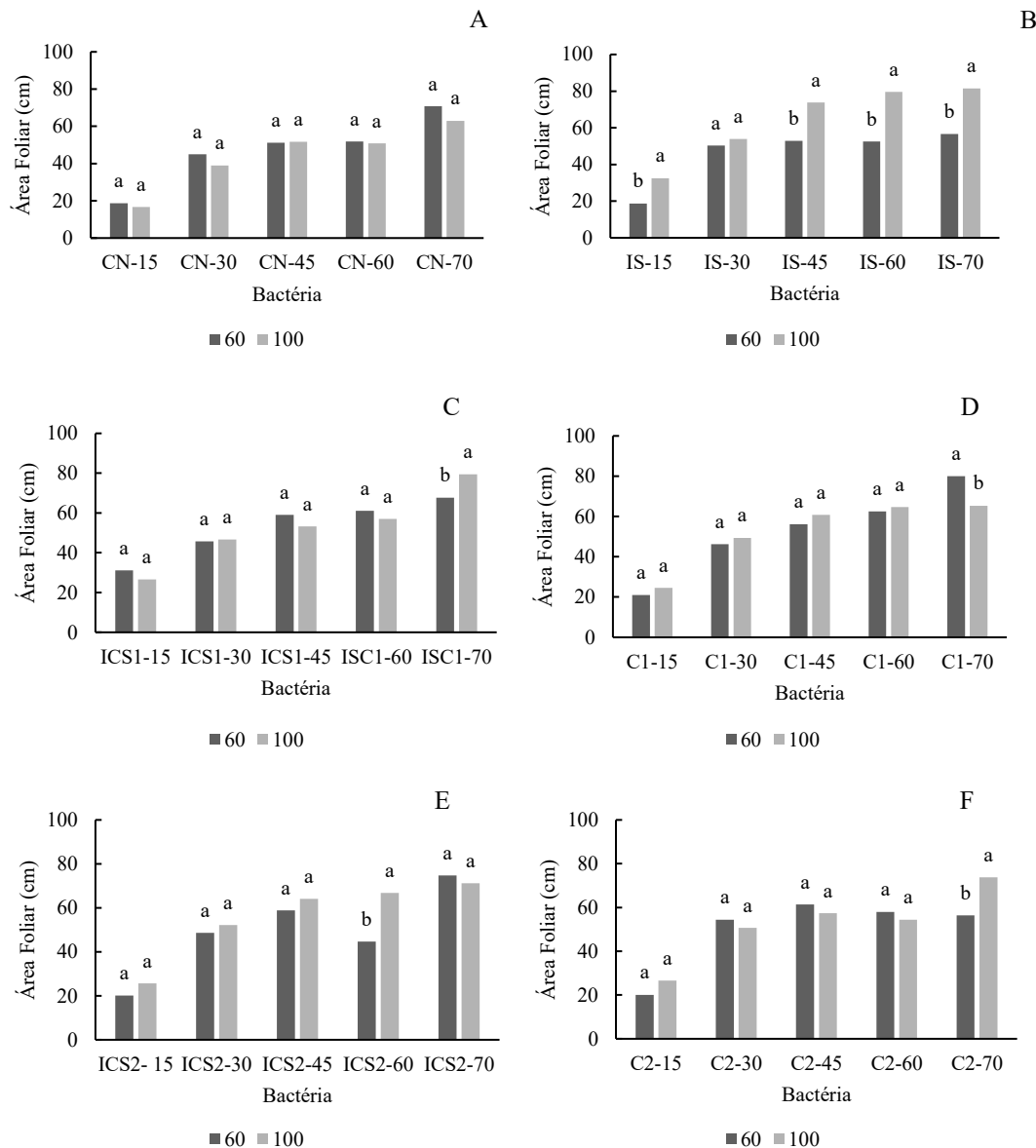


Figura 5: Área foliar do meloeiro em função das bactérias, lâminas de irrigação e dias após o plantio DAP. CN: controle negativo; IS: inoculação de sementes; IS-C1: inoculação de sementes + reinoculação na concentração 0,3; IS-C2: inoculação de sementes + reinoculação na concentração 0,5; C1: inoculação na concentração 0,3; C2: inoculação na concentração 0,5. Médias seguidas por letras distintas, dentro de cada combinação de bactéria, diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). Juazeiro-Bahia, 2022.

Com base nos gráficos apresentados que ilustram a Área Foliar sob diferentes condições de lâmina de irrigação (60 e 100) e tipos de bactérias (Figura 5), é possível observar padrões importantes que complementam a análise inicial. Esses gráficos podem ser avaliados visualmente como interações entre os fatores experimentais.

Primeiramente, observa-se uma tendência clara de maior Área Foliar nos tratamentos sob a lâmina de 100 em comparação à lâmina de 60, especialmente em alguns grupos de bactérias, como IS, ISC1 e C1 (Figuras 5B, 5C e 5D), particularmente nas épocas de 45, 60 e 70. Essa diferença reforça os resultados estatísticos, que indicam que a lâmina na capacidade de campo tem um impacto significativo na Área Foliar, resultados semelhantes aos estudos de Cavalcanti (2015) [15] e Ferraz et al. (2011) [16]. O aumento da disponibilidade hídrica parece favorecer o desenvolvimento foliar, o que destaca a importância de um manejo adequado da produtividade para maximizar o crescimento vegetal.

Embora o efeito isolado das bactérias não tenha sido estatisticamente significativo para a área foliar, os gráficos sugerem variações sutis entre os diferentes tratamentos bacterianos. Em alguns casos, como no grupo IS-45 (Figura 5B) há diferenças entre os tratamentos com lâminas de irrigação, indicando que algumas bactérias podem influenciar positivamente o crescimento foliar, particularmente em condições de maior irrigação. Resultados semelhantes foram encontrados por Dias et al. (2023) [23], que ao analisar a inoculação em meloeiro com outras bactérias, observaram isolados eficientes em promover o crescimento das plantas em condições sem déficit hídrico, enquanto outros isolados obtiveram os melhores resultados em condições de déficit hídrico, evidenciando a existência de microrganismos específicos para cada situação. Contudo, essa interação confunde o potencial efeito indireto das bactérias quando combinada com condições ideais de umidade.

As interações entre bactérias e as lâminas de irrigação também são evidentes nos gráficos. No grupo C2, por exemplo, observa-se que os tratamentos bacterianos na categoria C2-70 promovem maior Área Foliar com a lâmina 100% em comparação com 60% (Figura 5F). Isso evidencia que o efeito combinado desses fatores pode ser mais relevante em situações onde a disponibilidade hídrica é maior, admitindo que as bactérias podem agir de forma mais eficiente em condições ambientais adequadas.

Outro ponto relevante nas Figuras é a presença de significância estatística, reforçando que, em muitos casos, a lâmina de 100% apresentou resultados superiores para a área foliar. Por exemplo, aos 70 dias após o plantio os tratamentos bacterianos IS, IS-C1 e C2 (Figuras 5B, 5C e 5F) apresentam diferenças importantes evidenciando a influência da maior disponibilidade hídrica no crescimento das plantas.

Sendo assim, podemos verificar que nesse estudo a lâmina d'água aplicada foi o principal fator determinante para o aumento da área foliar, com maior impacto observado na lâmina de 100%. Embora as bactérias não tenham apresentado efeito isolado significativo, suas interações com a lâmina de 100% sugerem que pode contribuir para um aumento da área foliar em condições ideais de variação em relação ao tempo analisado. Esses resultados destacam a importância do manejo combinado de fatores ambientais e biológicos para melhorar o crescimento das plantas.

A Figura 6 ilustra os resultados da Clorofila A, diretamente relacionada com a eficiência fotossintética e ao estado nutricional da planta, sob diferentes condições de lâmina de irrigação (60 e 100) e tratamentos bacterianos.

De forma geral, os gráficos mostram que a diferença entre as lâminas de irrigação 60% e 100% é menos acentuada para a Clorofila A (Figura 6) em comparação à área foliar (Figura 5). Em muitos casos, como nos grupos CN, IS e C1 (Figura 6A, B e E, respectivamente), os valores médios da Clorofila A são semelhantes entre as lâminas, comportamento semelhante ao observado nas análises da clorofila B, na Figura 7. Isso sugere que a disponibilidade hídrica, representada pelas lâminas de irrigação, tiveram um impacto limitado na síntese de Clorofila A, indicando uma maior estabilidade desse pigmento em relação às condições hídricas. Esses resultados são contrários aos encontrados em Dantas et al. (2023) [24], Vieira et al. 2014 [25] e Bastos (2012) [26] ao qual os índices de clorofila sofreram redução significativas em tratamentos de estresse hídrico.

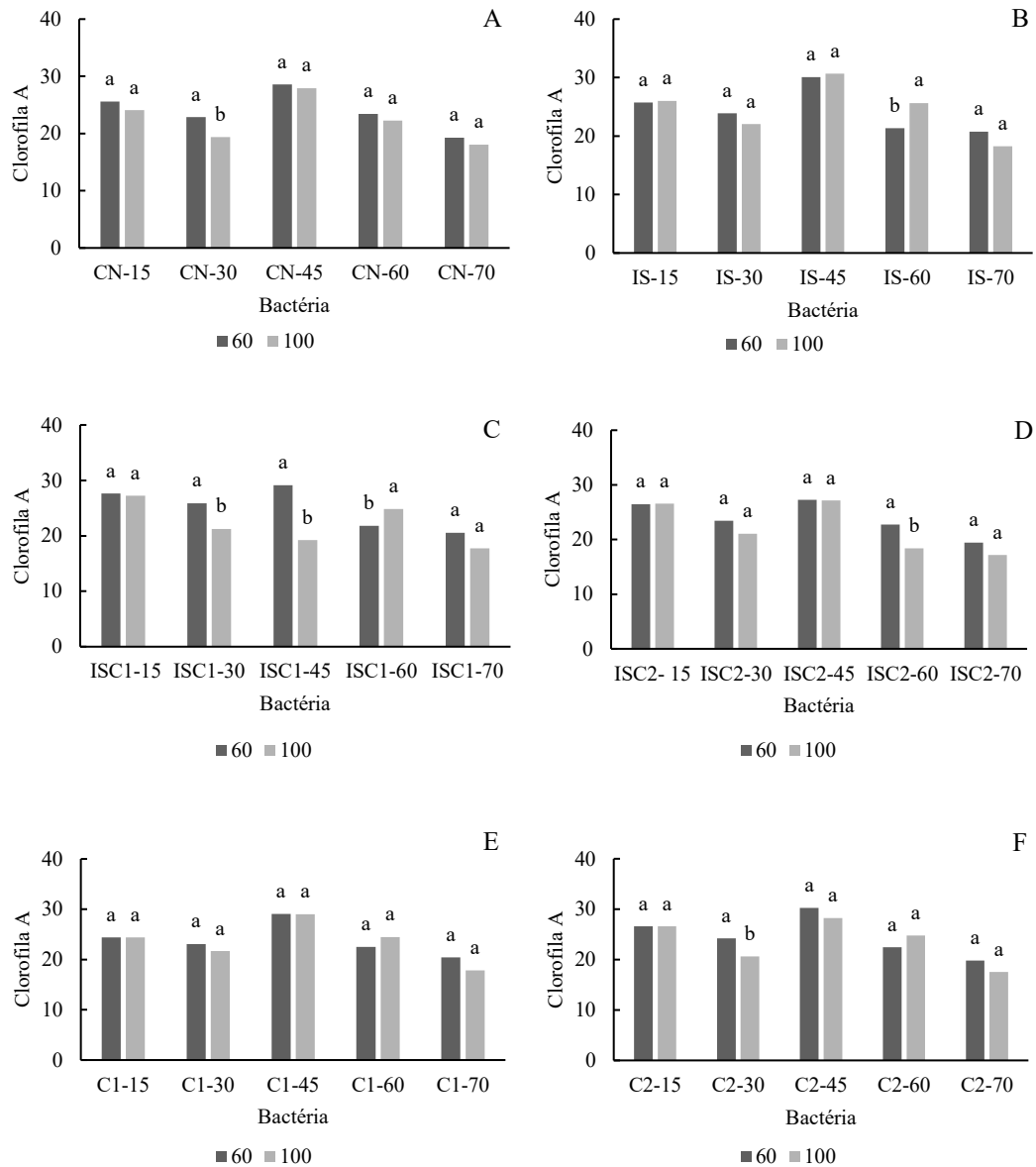


Figura 6: Clorofila A do meloeiro em função das bactérias, lâminas de irrigação e dias após o plantio DAP. CN: controle negativo; IS: inoculação de sementes; IS-C1: inoculação de sementes + reinoculação na concentração 0,3; IS-C2: inoculação de sementes + reinoculação na concentração 0,5; C1: inoculação na concentração 0,3; C2: inoculação na concentração 0,5. Médias seguidas por letras distintas, dentro de cada combinação de bactéria, diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). Juazeiro-Bahia, 2022.

Embora a análise estatística não tenha identificado efeitos significativos das bactérias sobre a Clorofila A de forma isolada, os gráficos revelam algumas variações entre os tratamentos bacterianos. Em grupos como ISC1 (Figura 6C) nas fases 30 e 45 dias, C2 (Figura 6F) com 30 dias e ISC2 (Figura 6D) aos 60 dias, observa-se uma tendência de diferenças nos níveis de clorofila A associadas às bactérias e com lâminas de irrigação a 60%. As interações entre lâmina de irrigação e bactérias são mais perceptíveis nesses tratamentos e fases apontadas. Embora esses casos sejam pontuais, eles demonstram a importância de considerar essas interações no manejo experimental e agrícola. Esses resultados sugerem que, apesar de não estatisticamente significativas em todos os casos, algumas bactérias podem influenciar de maneira positiva a síntese desse pigmento, especialmente em condições específicas.

Aos 70 DAP houve uma diminuição nas médias apresentadas dos valores de clorofila A em todos os tratamentos bacterianos e lâminas de irrigação adotadas (Figura 6). Em estudo realizado

por Galicia-Campos et al. (2022) [27], mostra que as bactérias promotoras de crescimento de plantas demonstram potencial para modular o estresse oxidativo e melhorar a adaptação das plantas, sendo os pigmentos fotossintéticos um marcador eficiente para detectar esses efeitos, pois ocorre a diminuição dos pigmentos fotossintéticos, reduzindo a absorção de energia e, conseqüentemente, o estresse oxidativo e a otimização do sistema de absorção e dissipação de energia.

As análises realizadas aos 70 DAP, apontaram uma relação entre as clorofilas A (Figura 6) e B (Figura 7) de 2:1 o que pode indicar possíveis danos ao sistema fotossintetizante em condições de estresse hídrico. Porém verificou-se o equilíbrio ideal entre as clorofilas A e B durante todas as outras análises realizadas, que deve se manter próximo da proporção 3:1, o que está de acordo com os valores encontrados na natureza. Esse equilíbrio indica que não houve estresse foto-oxidativo, permitindo que as plantas mantivessem estabilidade na captação de luz para garantir que não haja prejuízo na captação de luz e na eficiência da fotossíntese [28].

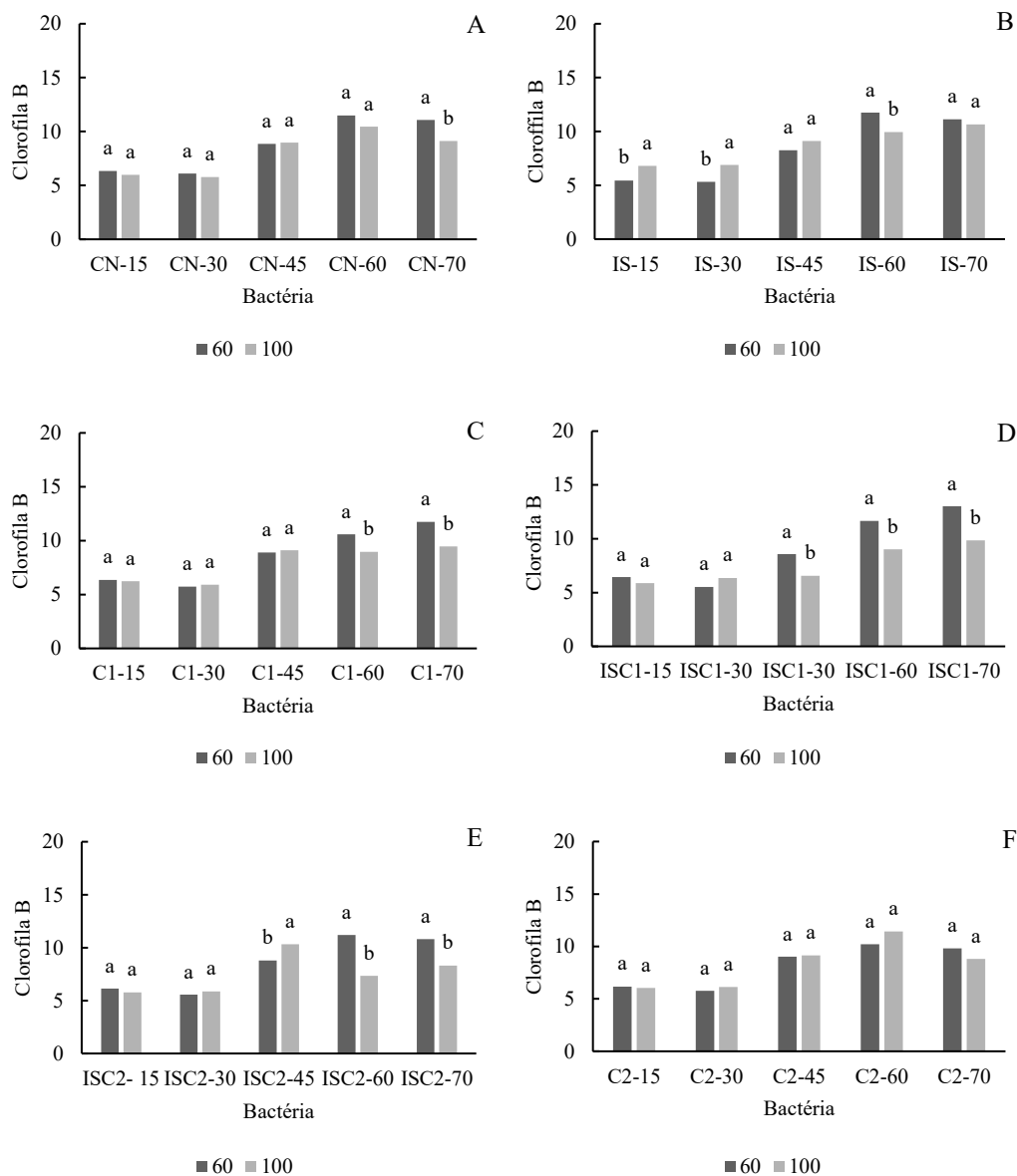


Figura 2: Clorofila B do meloeiro em função das bactérias, lâminas de irrigação e dias após o plantio DAP. CN: controle negativo; IS: inoculação de sementes; IS-C1: inoculação de sementes + reinoculação na concentração 0,3; IS-C2: inoculação de sementes + reinoculação na concentração 0,5; C1: inoculação na concentração 0,3; C2: inoculação na concentração 0,5. Médias seguidas por letras distintas, dentro de cada combinação de bactéria, diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). Juazeiro-Bahia, 2022.

Em conclusão, a Clorofila A apresenta menor sensibilidade às condições de irrigação em comparação à Área Foliar, mas ainda assim é influenciada por interações específicas entre lâmina e bactérias. Os gráficos sugerem que, embora o impacto das bactérias não seja completamente significativo, elas podem desempenhar um papel relevante em condições específicas. Esses resultados ressaltam a necessidade de um manejo integrado dos fatores ambientais e biológicos para otimizar a síntese de clorofila e, conseqüentemente, a eficiência fotossintética das plantas.

Pode-se observar que interações entre lâmina de irrigação e bactérias são mais evidentes em tratamentos específicos. Para CN (Figura 7A) ocorreu diferença significativa apenas aos 70 dias e lâmina de 60%. Para os tratamentos IS (Figura 7B), IS-C1 (Figura 7C), IS-C2 (Figura 7D) e C1 (Figura 7E) verificou-se uma maior diferença significativa entre as lâminas adotadas (60% e 100%). Foram encontrados maiores valores de clorofila B, no IS aos 60 dias, IS-C1 aos 45, 60 e 70 dias, IS-C2 e C1 aos 60 e 70 dias após o plantio enquanto C2 (Figura 7F) não apresentou diferença significativa em nenhuma época, tratamento bacterianos e lâminas de irrigação analisados.

Em relação a lâmina de 100% da capacidade de campo apenas os tratamentos IS aos 15 e aos 45 dias (Figura 7B), IS-C1 aos 30 dias (Figura 7C), IS-C2 aos 45 (Figura 7D) e C2 aos 60 dias (Figura 7F) obtiveram diferença significativa superior em relação a lâmina de 60. Esses resultados destacam que a combinação entre a disponibilidade hídrica e a presença de bactérias pode influenciar de maneira expressiva a síntese desse pigmento, uma vez que, segundo Fonseca et al. (2022) [29], tratamentos com inoculação de *Bacillus subtilis* demonstraram ser estratégias biológicas eficazes para mitigar os efeitos negativos da restrição hídrica, promovendo a preservação do aparato fotossintético e otimizando a eficiência do uso de recursos naturais.

Aos 60 e 70 DAP sucedeu-se um aumento nas médias de clorofila B quando comparado as outras fases analisadas. Han et al. (2022) [30], em estudo realizado com alfafa e em plantas sob estresse hídrico, observaram que a inoculação com *Bacillus amyloliquefaciens* ajudou a manter os níveis de clorofila B, o que contribuiu para a estabilização da clorofila A e, conseqüentemente, da eficiência fotossintética. Esse resultado reforça que a clorofila B é crucial para maximizar a captação de luz e manter a atividade fotossintética mesmo em condições de estresse.

Em resumo, a produção de Clorofila B foi pouco influenciada pela disponibilidade hídrica de forma geral, mas pode, inclusive, ser potencializada em condições específicas de estresse hídrico, especialmente quando associada a determinadas bactérias. Esses resultados corroboram estudos que apontam que o uso de microrganismos promotores do crescimento vegetal pode potencializar a utilização de recursos hídricos e luminíferos, aumentando a capacidade adaptativa das plantas [31]. Desse modo, reforça-se a necessidade de um manejo integrado e estratégico dos fatores ambientais e biológicos para otimizar a produção desse pigmento, essencial para a eficiência fotossintética das plantas.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos evidenciam que a inoculação, com o mix de *Bacillus velezensis* NB69 e *Bacillus subtilis* NB P6.2, favoreceu o desempenho agrônômico do meloeiro, onde as concentrações mais elevadas (0,5 O.D.), nos tratamentos ISC2 e C2, apresentaram os efeitos mais expressivos, especialmente sob a lâmina de 60% da capacidade de campo.

Assim, destaca-se o potencial do uso de microrganismos promotores de crescimento como estratégia sustentável para a fruticultura em regiões semiáridas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pires, MMML, Santos HA, Santos DF, Vasconcelos AS, Aragão CA. Produção do meloeiro submetido a diferentes manejos de água com o uso de manta de tecido não tecido. Horticult Bras. 2013 Jun;31(2):304-10. doi: 10.1590/S0102-05362013000200021
2. Figueirêdo MCB, Gondim RS, Aragão FAZ, editores. Produção de melão e mudanças climáticas: sistemas conservacionistas de cultivo para redução das pegadas de carbono e hídrica. Brasília (DF): Embrapa; 2017.

3. Valnir Júnior M, Lima VLA, Gomes Filho RR, Carvalho CM, Lima SCR, Rocha JPA. Qualidade e vida útil pós-colheita dos frutos de melão submetidos a diferentes lâminas de irrigação. *Res, Soc and Dev.* 2022 Jan;11(2):1-11. doi: 10.33448/rsd-v11i2.25091
4. Bonatelli ML, Lacerda-Junior GV, Reis Junior FB, Fernandes-Junior PI, Melo IS, Quecine MC. Beneficial plant-associated microorganisms from semiarid regions and seasonally dry environments: A Review. *Front in Microb.* 2021 Jan;11(1):1-16. doi: 10.3389/fmicb.2020.553223
5. Guttman DS, Mchardy AC, Schulze-Lefert P. Microbial genome-enabled insights into plant-microorganism interactions. *Nat Pub Gro.* 2014 Dec;15(12):797-813. doi: 10.1038/nrg3748
6. Uroz S, Courty PE, Oger P. Plant symbionts are engineers of the plant-associated microbiome. *Tren in Plant Sci.* 2019 Oct;24(10):905-16. doi: 10.1016/j.tplants.2019.06.008
7. Timmusk S, El-Daim IAA, Copolovici L, Tanilas T, Kannaste A, Behers L, et al. Drought-tolerance of wheat improved by rhizosphere bacteria from harsh environments: Enhanced biomass production and reduced emissions of stress volatiles. *Plos One.* 2014 May;9(5):1-12. doi: 10.1371/journal.pone.0096086
8. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Dados meteorológicos da Estação Agrometeorológica de Bebedouro [Internet]. Petrolina (PE): Embrapa Semiárido; 2014 [citado em 28 dez 2024]. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/servicos/dadosmet/ceb-anual.html>.
9. Vaz CMP, Matura EE, Torrado PV, Bacchi OOS. Validação de 3 equipamentos de TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) para a medida da umidade de solos. São Carlos (SP): Embrapa; 2004.
10. Costa ND, editor. A cultura do melão. 3. ed. Brasília (DF) Editora: EMBRAPA; 2017. (Coleção Plantar).
11. Silva EP, Barros YC, Santos AFJ. Mitigação do déficit hídrico em plantas de milho por *Bacillus* sp. isolados de plantas endêmicas da caatinga. *Sci Elec Arc.* 2023 Mai;16(6):1-7. doi: 10.36560/16620231508
12. Silva EMP, Andrade Junior AS, Bastos EA, Viana TVA. Evapotranspiração e coeficiente de cultura da melancia, em solo sob palhada e preparo convencional. *Irriga.* 2015 Nov;20(1):154-64.
13. Barrs HD, Weatherley PE. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Aust Jour of Biol Sci.* 1962 Apr;15(3):413-28. doi: 10.1071/BI9620413
14. Ferreira DF. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciênc e Agrot.* 2011 Dec;35(6):1039-42. doi: 10.1590/S1413-70542011000600001
15. Cavalcanti NMS, Dutra AF, Melo AS, Silva FG, Dutra WF, Nunes Junior ES. Aspectos agrônômicos do meloeiro 'mandacaru' cultivado em ambiente protegido sob irrigação. *Irriga* 2015 Mai;20(2):261-72. doi: 10.15809/irriga.2015v20n2p261
16. Ferraz RLS, Melo AS, Ferreira RS, Dutra AF, Figueredo LF. Morpho-physiological aspects, yield and water-use efficiency in the Gália melon plant in a protected environment. *Rev Ciênc Agron.* 2011 Out;42(4):957-64.
17. Lima EMC, Faria LA, Siqueira WC, Rezende FC, Gomes LAA, Custódio TN. Growth and production of melon cultivated in greenhouse under drip irrigation. *Irriga* 2009;14(4):449-57.
18. Melo JMM, Marinho LB, Vargens FN, Sousa Filho JR, Deon MD, Melo AMY. Crescimento de meloeiro submetido ao estresse hídrico com e sem micorrização no vale do submédio São Francisco. *Rev Bras Agri Irrig.* 2017;11(2):1261 -70. doi: 10.7127/rbai.v11n200595
19. Dutra CC, Prado EAF, Paim LR, Scalón SPQ. Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de fornecimento de água. *Semina: Cien Agra.* 2012;33(1):2657-68. doi: 10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p2657
20. Bandeppa S, Paul S, Thakur JK, Chandrashekar N, Umesh DK, Aggarwal C, et al. Antioxidant, physiological and biochemical responses of drought susceptible and drought tolerant mustard (*Brassica juncea* L) genotypes to rhizobacterial inoculation under water deficit stress. *Plant Phys Bioch.* 2019 Oct;143:19-28. doi: 10.1016/j.plaphy.2019.08.018
21. Zhou C, Ma Z, Zhu L, Xião X, Xie Y, Zhu J. Rhizobacterial strain *Bacillus megaterium* BOFC15 induces cellular polyamine changes that improve plant growth and drought resistance. *Int J Mol Sci.* 2016 Jun;17(6):976-93. doi: 10.3390/ijms17060976
22. Egamberdieva D, Wirth SJ, Alqarawi AA, Abd-Allah EF, Hashem A. Phytohormones and beneficial microbes: Essential components for plants to balance stress and fitness. *Front Microb.* 2017 Oct;8:1-14. doi: 10.3389/fmicb.2017.02104
23. Dias KCFP, Souza IJS, Barros YC, Silva EP, Leite J, Feitoza AFA, Santos AFJ. Native bacteria from the caatinga biome mitigate the effects of drought on melon (*Cucumis melo* L.). *Comun Sci.* 2023 Oct;15:1-6. doi: 10.14295/cs.v15.4072
24. Dantas MV, Lacerda CN, Roque IA, Silva FA, Lima GS, Chaves LHG, et al. Morphophysiology and production components of mini-watermelon under water replenishment and nitrogen fertilization levels. *Semin Ciênc Agrár.* 2023 Jul;44(4):1235-64. doi: 10.5433/1679-0359.2023v44n4p1235

25. Vieira GHS, Mantovani EC, Sedyama GC, Delazari FT. Indicadores morfo-fisiológicos do estresse hídrico para a cultura da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação. Biosci J. 2014 Jun;30(3):65-75.
26. Bastos EA, Ramos HMM, Andrade Júnior AS, Nascimento FN, Cardoso MJ. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. Water Res and Irrig Manag. 2012 Oct;1(1):31-7.
27. Galicia-Campos E, Velasco AGV, Montero-Palmero MB, Gutierrez-Manero FJ, Ramos-Solano B. Modulation of photosynthesis and ROS scavenging response by beneficial bacteria in *Olea europaea* plantlets under salt stress conditions. Plants 2022 Nov;11(20):1-17. doi: 10.3390/plants11202748
28. Oliveira ZVSR, Mesquita AC, Simões WL, Salviano AM, Silva JS, Felix ATR. Trocas gasosas e análises bioquímicas em variedades de melancia sob cultivo orgânico no semiárido nordestino. Scien Plen. 2022 Oct;18(9):1-14. doi: 10.14808/sci.plena.2022.090202
29. Fonseca MDC, Bossolani JW, Oliveira SL, Moretti LG, Portugal JR, Scudeletti D, Oliveira EF, et al. *Bacillus subtilis* inoculation improves nutrient uptake and physiological activity in sugarcane under drought stress. Micro. 2022 Oct;10(4):809. doi: 10.3390/microorganisms10040809
30. Han L, Zhang M, Du L, Zhang L, Li B. Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* QST713 on Photosynthesis and Antioxidant Characteristics of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) under Drought Stress. Agron.2022 Set;12(9):2177-88. doi: 10.3390/agronomy12092177
31. Yavuz D, Bastas KK, Seymen M, Yavuz N, Kurtar ES, Suheri S, et al. Role of ACC deaminase-producing rhizobacteria in alleviation of water stress in watermelon. Sci Hortic. 2023 Nov;321:1-12. doi: 10.1016/j.scienta.2023.112288