



Universidade Federal  
de Campina Grande

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM HORTICULTURA  
TROPICAL**

**PEDRO JORGE DA SILVA SEVERO**

**PRODUÇÃO DE MILHO VERDE SOB DÉFICIT HÍDRICO EM  
ASSOCIAÇÃO À BACTÉRIAS PROMOTORAS DO  
CRESCIMENTO OU Co+Mo**

**Pombal – PB**

**2021**

**PEDRO JORGE DA SILVA SEVERO**

**PRODUÇÃO DE MILHO VERDE SOB DÉFICIT HÍDRICO EM  
ASSOCIAÇÃO À BACTÉRIAS PROMOTORAS DO  
CRESCIMENTO OU Co+Mo**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Campina Grande, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical,  
para obtenção do título de mestre.

**Orientador:** Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo Rocha

S498p Severo, Pedro Jorge da Silva.

Produção de milho verde sob déficit hídrico em associação a bactérias promotoras do crescimento ou Co+Mo / Pedro Jorge da Silva Severo. – Pombal, 2021.

53 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2021.

“Orientação: Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo Rocha”.

Referências.

1. Milho verde. 2. Estresse hídrico. 3. Crescimento vegetal. 4. Lâminas de irrigação. 5. *Bacillus subtilis*. 6. *Azospirillum*. 7. *Zea Mays*. I. Rocha, Josinaldo Lopes Araújo. II. Título.

CDU 633.15(043)

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Auxiliadora Costa (CRB 15/716)

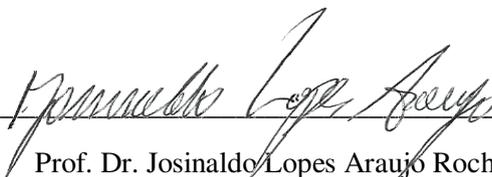
**PEDRO JORGE DA SILVA SEVERO**

**PRODUÇÃO DE MILHO VERDE SOB DÉFICIT HÍDRICO EM  
ASSOCIAÇÃO À BACTÉRIAS PROMOTORAS DO  
CRESCIMENTO OU Co+Mo**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Campina Grande, como parte das exigências do Programa  
de Pós-Graduação em Horticultura Tropical, para  
obtenção do título de mestre.

**Orientador:** Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo Rocha

Aprovada em: 24 de fevereiro de 2021



---

Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo Rocha  
CCTA/UAGRA/UFCG  
Orientador

---

Profa.Dra. Lauriane Almeida dos Anjos Soares  
CCTA/UAGRA/UFCG  
Examinadora

---

Prof. Dr. Ancélio Ricardo de Oliveira  
CCTA/UAGRA/UFCG  
Examinador

*A Deus, meus pais, amigos e aos  
meus professores...*

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela vida e pelo seu imenso amor.

A minha família pelo apoio e dedicação.

Agradeço à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço ao professor Josinaldo Lopes Araujo Rocha, pelos valiosos ensinamentos, paciência, confiança, orientação e apoio fornecidos durante o curso.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical, pelos valiosos ensinamentos.

A todos os meus colegas de sala de aula, pelas trocas de conhecimentos acadêmicos e interpessoais, experiências e pelos bons momentos dentro e fora de sala de aula.

Aos meus colegas de pesquisa, o mestrando Jackson de Mesquita Alves e o graduando Leônidas Canuto dos Santos, por juntos concluirmos com êxito nossos trabalhos em comum, pelos bons momentos, apoio e ensinamentos.

## LISTAS DE FIGURAS

**Figura 1.** Dados climatológicos de temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) coletados durante a condução do experimento. .... **Erro! Indicador não definido.**

**Figura 2.** Croqui detalhado da área experimental com a cultura do milho. **Erro! Indicador não definido.**

**Figura 3.** Esquema de uma subparcela referente aos produtos contendo bactérias promotoras do crescimento vegetal. .... **Erro! Indicador não definido.**

**Figura 4.** Variação do Índice de área foliar do milho híbrido em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico..... **Erro! Indicador não definido.**

**Figura 5.** Altura de planta (A) e altura de inserção da espiga (B) do milho híbrido em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico. **Erro! Indicador não definido.**

**Figura 6.** Diâmetro do colmo do milho híbrido em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico..... **Erro! Indicador não definido.**

**Figura 7.** Produção de massa fresca de folhas (A) e de colmo (B) do milho híbrido, em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico. **Erro! Indicador não definido.**

**Figura 8.** Produção de massa fresca vegetativa do milho híbrido, em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico..... **33 Erro! Indicador não definido.**

**Figura 9.** Diâmetro (A) e comprimento (B) da espiga do milho híbrido em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico..... **Erro! Indicador não definido.**

**Figura 10.** Massa fresca da espiga com palha (A) e sem palha (B) do milho híbrido, em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico. **Erro! Indicador não definido.**

**Figura 11.** Percentagem de palha da espiga do milho híbrido, em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico..... **Erro! Indicador não definido.**

**Figura 12.** Massa fresca total em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico. .... **Erro! Indicador não definido.**

Figura 13. Eficiência do uso da água do milho híbrido, em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico.....41.

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Atributos químicos e físicos do solo salino-sódico utilizado no experimento .. **Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 2.** Descrição dos tratamentos correspondentes às subparcelas23**Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 3.** Valores de Kc utilizados no experimento durante o ciclo da cultura do milho. **Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 4.** Valores totais das lâminas de irrigação utilizadas no experimento .....26.

**Tabela 1A.** Resumo da análise de variância para as variáveis índice de área foliar (IAF), altura de planta (ALT), altura de inserção da espiga (INSER) e diâmetro do colmo (DIAM)do milho verde..... 52.**Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 2A.** Resumo da análise de variância para as variáveis de produção de massa fresca do milho verde, sob influência de rizobactérias e em função das lâminas de irrigação..... **Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 3A.** Resumo da análise de variância para diâmetro da espiga (DESP), comprimento da espiga (CESP), massa fresca da espiga sem palha (MFESP), massa da espiga com palha (MFEP) e percentagem de palha (PP) em função de lâminas de irrigação (% ETo) e produtos atenuantes do estresse hídrico em milho verde. .... **Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 4A.** Resumo da análise de variância para massa fresca total (MFT), percentagem de palha (PP) e eficiência de uso da água (EUA).....53.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	10.
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	13 <b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
2.1 Aspectos gerais da cultura .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
2.2 Efeitos do estresse hídrico sobre as plantas.....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
2.3 Necessidades hídricas do milho verde.....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
2.4 Bactérias promotoras de crescimento como atenuante do estresse ..	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
<b>2.5 Molibdênio e cobalto nas plantas e sua relação com o estresse hídrico.....</b>	<b>19.</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
3.1 Área experimental .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
3.2 Tratamentos e delineamento experimental .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
3.3 Preparo do solo semeadura e adubação .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
3.4 Controle fitossanitário .....	25.
3.5 Aplicação dos tratamentos.....	25.

3.6 Manejo das lâminas de irrigação.....	25.
3.7 Variáveis avaliadas.....	27.
3.5 Análise estatística .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>

## RESUMO

SEVERO, Pedro Jorge da Silva. **Produção de milho verde sob déficit hídrico em associação à bactérias promotoras do crescimento ou Co+Mo.** 2021. 53 p. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal – PB.

Dentre os estresses na planta ocasionados por fatores abióticos, o estresse hídrico se destaca por ser comum nos ecossistemas e por ocasionar sérias disfunções nas plantas. Nos últimos anos, vem crescendo o número de técnicas e pesquisas afim de otimizar o uso da água, bem como proporcionar resistência ao estresse hídrico. Dentre as técnicas utilizadas, ganha notoriedade o uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas e as que fornecem mecanismos de resistência aos estresses abióticos. Objetivou-se neste estudo avaliar o crescimento e a produção do milho verde sob influência de lâminas de irrigação e produtos contendo bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV) ou cobalto mais molibdênio. O experimento foi conduzido, em área sob Neossolo Flúvico, pertencente a Fazenda Experimental da UFCG/CCTA, no município de São Domingos de Pombal – PB, entre os meses de agosto e dezembro de 2019. O delineamento experimental foi de blocos casualizados em parcelas subdivididas, com o fator principal correspondendo a quatro lâminas de irrigação (40; 60; 80 e 100% da ETo), o fator secundário, correspondendo a quatro tratamentos atenuantes do estresse hídrico (Controle, Biobaci, No-Nema + Azokop e Co+Mo). Foram avaliadas as variáveis: Índice de área foliar, diâmetro do caule, altura da planta, altura da inserção da espiga, massa fresca das folhas, do colmo, da espiga com palha e sem palha, diâmetro da espiga, massa fresca total e eficiência do uso da água. O produto Biobaci se destacou nas maiores lâminas de irrigação, aumentando a produção de massa fresca vegetativa, a produção de espigas verdes e a eficiência de uso da água. Sob estresse hídrico mais severo, os produtos Co+Mo e NoNema+Azokop proporcionaram melhor desempenho do milho verde em termos de crescimento, produção de fitomassa fresca e produção de espiga. Os produtos testados têm potencial para atenuar o estresse hídrico no milho verde AG 1051, especialmente os produtos à base de bactérias promotoras do crescimento vegetal Biobaci e NoNema+Azokop com destaque para o Biobaci.

**Palavras-chave:** Estresse hídrico, *Zea mays*, *Bacillus subtilis*, *Azospirillum*, eficiência do uso da água.

## ABSTRACT

SEVERO, Pedro Jorge da Silva **Production of green corn under water deficit in association with growth-promoting bacteria or Co + Mo.** 2021. 53p. Dissertation (Master Degree in Tropical Horticulture) - Federal University of Campina Grande, Pombal – PB

Among the stresses in the plant caused by abiotic factors, water stress stands out for being common in ecosystems and for causing serious dysfunctions in plants. In recent years, the number of techniques and research has been growing in order to optimize the use of water, as well as providing resistance to water stress. Among the techniques used, the use of bacteria that promote plant growth and those that provide mechanisms of resistance to abiotic stresses are notorious. The objective of this study was to evaluate the growth and production of green corn under the influence of products containing plant growth promoting bacteria or cobalt plus molybdenum. The experiment was carried out in an area under Neossolo Flúvico, belonging to the Experimental Farm of UFCG/CCTA, in the municipality of São Domingos de Pombal - PB, between the months of August and December 2019. The experimental design used was the subdivided plots with the main factor corresponding to four irrigation depths (40; 60; 80 and 100% of ETo), the secondary factor, corresponding to four water stress mitigating treatments (Control, Biobaci, No-Nema + Azokop and Co + Mo). The variables were evaluated: leaf area index, stem diameter, plant height, height of the ear insertion, fresh weight of the leaves, stem, straw with and without straw, diameter of the ear, total fresh weight and efficiency of the water use. The Biobaci product stood out in the largest irrigation depths, increasing the production of fresh vegetative mass, the production of green ears and the efficiency of water use. Under more severe water stress, the Co + Mo and NoNema + Azokop products provided better performance of green corn in terms of growth, fresh phytomass production and ear production. The tested products have the potential to attenuate water stress in green corn AG 1051, especially products based on plant growth promoting bacteria Biobaci and NoNema + Azokop with emphasis on Biobaci.

**Keywords:** Water stress, *Zea mays*, *Bacillus subtilis*, *Azospirillum*, water use efficiency.

## 1. INTRODUÇÃO

O milho está entre os cereais mais produzidos, consumidos e exportados no mundo devido à sua ampla aplicação na alimentação humana e animal, e em indústrias com diferentes níveis tecnológicos (FAO, 2019). No Brasil o volume da produção de milho foi estimado em 250,9 milhões de toneladas na safra 2019/2020 (CONAB, 2020). Na região Nordeste do Brasil, o cultivo de milho verde tem se tornado uma importante fonte de renda para os pequenos agricultores, graças à sua possibilidade de elevada lucratividade e sua diversidade de uso (RIBEIRO, 2017).

O milho verde pode ser considerado uma hortaliça, em virtude do tempo de sua permanência no campo até o momento da colheita, que é de aproximadamente 90 dias no verão e de 100 dias no inverno (EMBRAPA, 2020). Além disso, no milho verde a parte consumida diretamente e utilizada na elaboração de pratos tradicionais no Brasil é o grão, sendo comercializado basicamente na forma de mini milho em conserva, enlatados e subprodutos, tais como, curau, suco e pamonha. Com isso, um dos atributos considerado pelo consumidor na comercialização do milho é o tamanho das espigas, sendo importante a escolha de cultivares destinada à produção de milho verde (SILVA et al., 2015).

A produção do milho verde é influenciada por técnicas que aumentam o uso eficiente da água, como por exemplo o sistema de irrigação por gotejamento, sendo esta uma tecnologia estratégica na produção de alimentos (RIBEIRO, 2017). A sua principal finalidade é disponibilizar água às culturas na quantidade certa e no momento adequado. A utilização de sistemas de irrigação e a otimização no uso da água são fatores de grande importância principalmente em regiões que apresentam longos períodos de escassez de chuvas, pois podem proporcionar maior eficiência de uso da água, aumentando o rendimento da cultura, proporcionando maior retorno econômico.

O estresse hídrico é um dos fatores que mais contribuem para a diminuição do crescimento e produtividade do milho verde. O déficit hídrico ocorre quando o conteúdo de água no tecido ou na célula vegetal está abaixo do conteúdo de máxima hidratação, e após longo prazo de estresse, a água na planta não é recuperada, causando fechamento dos estômatos, aceleração da senescência e abscisão das folhas (TAIZ et al, 2017) e, por conseguinte decréscimo na produção.

O uso de produtos como atenuantes do estresse hídrico nas culturas, pode contribuir para aumentar a eficiência do uso da água pelas plantas especialmente

aqueles contendo microrganismos na sua composição (MATOS et al., 2019; ZAREI et al., 2019; LIN et al., 2018).

As bactérias promotoras de crescimento, que interagem com as raízes das plantas, têm a capacidade de aumentar a produtividade e conferir as plantas características de imunidade e tolerância induzida por fatores abióticos, como salinidade e a seca (ARAÚJO et al., 2012). Tais benefícios que esses microrganismos podem conferir aos vegetais, podem revelar uma interação evolutiva entre plantas e microrganismos (FERREIRA et al., 2014; FILGUEIRAS & MENESES, 2015).

Assim, o entendimento das interações entre microrganismos e plantas em ambientes com déficits hídricos pode proporcionar o desenvolvimento de novas tecnologias que mitiguem os efeitos adversos desse tipo estresse, aumentando a produtividade das culturas agrícolas. Por outro lado, estudos com essa temática são escassos e precisam ser ampliados de forma a gerar mais informações acerca destas interações.

Diante da escassez de trabalhos científicos sobre bactérias promotoras de crescimento vegetal como atenuantes do estresse hídrico do milho verde, objetivou-se neste estudo avaliar o crescimento e a produção do milho verde sob influência de produtos contendo bactérias promotoras do crescimento vegetal ou cobalto mais molibdênio.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Aspectos gerais da cultura**

O milho (*Zea mays* L.) é uma gramínea pertencente à família Poaceae (antiga Gramineae), originária da América Central ou México. É uma espécie que pode ser cultivada em diferentes regiões do planeta, por possuir uma diversidade de genótipos que possibilita grande adaptabilidade a climas tropicais, subtropicais e temperados (DUARTE et al., 2016).

O milho é uma planta anual, de porte ereto, cultivado em climas quentes e que carrega seus grãos em um núcleo sólido grande (espiga), das quais há apenas uma ou duas por planta. As flores masculinas formam um pendão (panícula) no topo da planta e as flores femininas ficam localizadas nas axilas das folhas do caule. Após a polinização, geralmente pelo vento, se desenvolvem longas espigas com grãos (sementes) (BATEMAN et al., 2006).

O milho verde possui alto valor agregado e é destinado basicamente ao consumo humano devido ao sabor dos grãos. O Brasil possui potencial para expandir sua produção, porém, mais estudos são necessários para dar suporte e permitir alta produtividade aliada à boa qualidade do produto (LUZ, 2014).

Segundo Pereira Filho et al. (2019), as cultivares de milho destinadas ao consumo em estado verde devem ter as seguintes características: grãos dentados amarelos, espigas grandes e cilíndricas, bem empalhadas, sabugo branco, boa granação e pericarpo fino com longo período de colheita. Devem apresentar também boa resistência às pragas que atacam as espigas.

O milho verde é muito usado na culinária brasileira, especialmente como componente da dieta alimentar das camadas sociais mais pobres da população. Além do consumo direto do grão verde, derivados como o óleo de milho, amido de milho, fubá e flocos de milho, dentre outros, tem se configurado como relevantes formas de seu uso nas mais distintas regiões do país (VELLOZO; FISBERG, 2010; BARBOSA et al, 2015).

A colheita do milho verde deve ser realizada quando os grãos estiverem no estado leitoso, o seja, com umidade entre 70 e 80% (PEREIRA FILHO et al., 2019).

## **2.2 Efeitos do estresse hídrico sobre as plantas**

Embora as plantas estejam sujeitas a muitos tipos de estresses abióticos, o estresse hídrico se destaca por ser comum nos ecossistemas e por ocasionar sérias disfunções nas plantas, sejam eles pelo decréscimo de turgor das células, que é essencial nos processos metabólicos, ou por causar alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, refletindo sobre o transporte e absorção de água e nutrientes pelas mesmas (ARAÚJO FILHO & CARVALHO, 1997; MONTEIRO et al., 2014).

Dentre os efeitos ocasionados pela deficiência hídrica na célula vegetal, destaca-se a desidratação, seguido por redução do potencial hídrico e da resistência hidráulica nos vasos do xilema. Os efeitos secundários são a diminuição expansão foliar, atividades celulares e metabólicas, fechamento estomático, inibição fotossintética, abscisão foliar, cessando o crescimento da planta (TAIZ & ZEIGER, 2017).

Segundo Santos et al. (2017), os efeitos adversos da falta água no solo são mais severos quando ocorrem entre os períodos de florescimento e o início do enchimento dos grãos, podendo levar a reduções de 22% na produtividade. Nesse período, a transpiração da cultura é alta devido a máxima área foliar e aos processos de formação

do zigoto e enchimento de grãos (ZHANG et al., 2014; HERNÁNDEZ et al., 2015). Aydinsakir et al. (2016) estudando o efeito da redução da disponibilidade hídrica para dois genótipos de milho, observaram que o fornecimento de apenas 50% da irrigação total necessária foi suficiente para reduzir a produtividade em 18 e 16% para cada genótipo. Wu et al. (2016) estudaram o crescimento e a transpiração do milho em casa de vegetação sob deficiência hídrica. Os autores observaram redução de 28% na formação de fitomassa e na transpiração, quando a umidade nos vasos foram inferiores a 90%.

A deficiência hídrica também diminui a área foliar, a capacidade de competição por luz, a taxa fotossintética, o que resulta na aceleração da taxa de senescência das folhas, assim como no retardamento do crescimento e desenvolvimento da planta, ocasionando uma redução significativa na produtividade (ARAÚJO et al., 2012; SANTOS et al., 2018).

Para ter sucesso, as plantas têm múltiplos mecanismos para responder e se adaptar a condições ambientais adversas (MADABULA et al., 2016), pois sob condições de estresse hídrico otimizam a morfologia, fisiologia e metabolismo de seus órgãos e células, com a finalidade de maximizar a produtividade (LISAR et al., 2016).

De acordo com Lisar et al. (2016), a tolerância ao estresse na planta é dividida em duas categorias: a) tolerância ao estresse e b) prevenção de estresse. Prevenir ou evitar a seca é a capacidade da planta de manter um alto potencial de água nos tecidos, normalmente, é alcançado por meio de alterações morfológicas na planta, tais como redução da condutância estomática, diminuição da área foliar, desenvolvimento de extensos sistemas radiculares e aumento da razão entre a raiz e a parte aérea. Enquanto a tolerância à seca é a estabilidade de uma planta para manter suas funções normais mesmo com baixos potenciais de água nos tecidos, é alcançada por mecanismos fisiológicos, bioquímicos e moleculares específicos de células e tecidos, que incluem expressão gênica específica e acúmulo de proteínas específicas (TAIZ & ZEIGER, 2017).

### **2.3 Necessidades hídricas do milho verde**

O conhecimento do consumo hídrico (evapotranspiração) de uma cultura durante seu ciclo é de grande importância para o dimensionamento de projetos e manejo dos sistemas de irrigação, contribuindo para aumentar a produtividade e otimizar a

utilização dos equipamentos de irrigação, da energia elétrica e dos recursos hídricos (SANTOS et al., 2014).

Para suprir suas necessidades metabólicas, as plantas precisam renovar a água que foi transferida para a atmosfera, para manter a turgescência das suas folhas e raízes de forma a assegurar sua sobrevivência. Dessa forma, a perda de água pela transpiração deve ser repostada pela absorção de uma quantidade equivalente de água (ARAÚJO JÚNIOR, 2019). No geral, muitas plantas podem absorver a umidade presente na atmosfera na forma de névoa ou orvalho, porém, esse mecanismo se torna insignificante quando comparado com a absorção de água do solo pelo sistema radicular (CAVALCANTE et al., 2009; CHAVARRIA & SANTOS, 2012).

No início do ciclo de uma cultura, quando a cobertura do solo é incompleta, a relação entre a evapotranspiração máxima da cultura ( $ET_m$ ) e a evaporação do tanque classe A ( $E_o$ ) ( $ET_m/E_o$ ) é baixa. Em cultivos em linha, a maior parte da água perdida nos estádios iniciais se dá basicamente pela evaporação na superfície do solo (BERGAMASCHI & MATZENAUER, 2014). Com o crescimento das plantas e da cobertura do solo, a evaporação da água do solo diminui, aumentando a transpiração e também a evapotranspiração. Quando o índice de área foliar (IAF) da cultura é máximo e a demanda evaporativa da atmosfera for elevada, a evapotranspiração da cultura é máxima (BERGAMASCHI & MATZENAUER, 2014).

Santos et al. (2014) constataram que a evapotranspiração total da cultura ( $ET_c$ ) do milho verde foi de 300,54 mm para um ciclo de 77 dias, com valor médio diário de 3,90 mm, valor mínimo de 1,94 mm e valor máximo próximo a 5,68 mm, valor esse obtido na fase de floração. Os mesmos autores encontraram os coeficientes de cultivo de 0,50; 0,64; 1,12 e 1,11 para as diferentes fases fonológicas, que tiveram duração de 16, 20, 27 e 14 dias respectivamente, para o milho verde AG 1051 nas condições edafoclimáticas de Mossoró/RN.

Trinca et al. (2017) constataram na cultura do milho, que a necessidade hídrica aumenta no segundo semestre, encontraram ainda uma necessidade de água maior quando o coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) é calculado pelo método dos Graus-dias acumulados (GDac). Teixeira et al. (2014) complementam que o teor de umidade no solo é importante para sustentação da produtividade em níveis excelentes, com o déficit de água destacando-se como o principal fator de risco para o milho, que é atenuado nas áreas de maior altitude.

Conforme explica Carvalho et al. (2016), no momento de implantar determinada cultura, o produtor deve compreender a necessidade hídrica e quantificar o volume de água imprescindível durante o ciclo de desenvolvimento; e Silva (2017) assegura que o consumo de água pelos vegetais é um parâmetro importante a ser considerado nos estudos de regionalização agrícola ou na avaliação da produtividade das culturas.

#### **2.4 Bactérias promotoras de crescimento como atenuante do estresse**

Estudos recentes apontam que microrganismos benéficos podem melhorar o desempenho de plantas sob condições de estresse e, conseqüentemente, aumentar a produtividade das culturas (SANTOS et al., 2014). Nesse contexto, bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) surgem como uma alternativa sustentável capaz de amenizar os efeitos negativos de estresse hídrico de plantas.

As BPCV são microrganismos que colonizam a rizosfera e/ou tecidos internos da planta (endofíticas) e promovem direta ou indiretamente o seu crescimento. Essas bactérias podem produzir fitohormônios e substâncias osmorreguladoras, que levam à proteção e ao aumento do sistema radicular, e, conseqüentemente, a uma maior absorção de água e nutrientes do solo (BASHAN et al., 2014; COHEN et al., 2015).

De acordo com Kasim et al. (2013), as interações de BPCV com raízes de plantas podem aumentar, nas plantas, a produção de genes relacionados com o estresse hídrico e, conseqüentemente, promover tolerância às condições de estresse. Santos et al. (2014), complementam que a presença das BPCV pode aumentar a capacidade de as plantas sob restrição hídrica realizarem o ajustamento osmótico pelo maior acúmulo de solutos orgânicos, quando comparadas com as plantas sob estresse hídrico e não inoculadas.

Bactérias do gênero *Bacillus* são promissoras candidatas para serem usadas como inoculantes microbianos devido a sua capacidade em amenizar ou eliminar os efeitos nocivos do estresse salino, hídrico e oxidativo, regular as características morfofisiológicas e bioquímicas das plantas promovendo o seu crescimento e desenvolvimento (GHYSELINCK et al., 2013; PINTER et al., 2017; TIWARI et al., 2019). Dentre os mecanismos diretos utilizados por essas bactérias, estão a produção de fitormônios, produção de enzimas e disponibilização de nutrientes, ao passo que os indiretos compreendem o controle biológico de fitopatógenos e a resistência sistêmica induzida, que consiste na ativação do sistema de defesa natural da planta a partir de substâncias específicas, promovendo um amplo espectro de proteção às diversas

culturas de importância econômica sem gerar prejuízos aos seus consumidores e ao meio ambiente (SAINI et al., 2015; VARMA et al., 2017; NAZIR et al., 2018).

Rizobactérias também são caracterizadas por colonizarem o ambiente radicular, realizam a mineralização da matéria orgânica e aumentam a disponibilidade de nutrientes por meio da conversão de formas insolúveis e disponíveis para as plantas, como a solubilização de fosfatos através da produção fosfatases ou ácidos orgânicos, solubilização de K, fixação de N pelas bactérias diazotróficas e aumento da solubilidade de micronutrientes, como a produção de sideróforos para a quelação de Fe (GLICK, 2014; SCAGLIOLA et al., 2016).

Diversos grupos de microrganismos presentes no solo ou na rizosfera são capazes, por meio de mecanismos diversos, de extrair ou solubilizar fósforo (P) de frações insolúveis no solo e de fosfatos inorgânicos naturais pouco solúveis. Além disso, sua solubilização pode resultar da produção de CO<sub>2</sub> e de ácidos orgânicos oriundos da mineralização de carbono orgânico, ou da produção de enzimas e de compostos quelantes e complexantes pela microbiota, exercendo ação solubilizadora direta sobre os fosfatos inorgânicos, transformando CO<sub>2</sub> em H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (ácido carbônico), que solubiliza fosfatos de cálcio e magnésio (GUIMARÃES et al., 2017).

Algumas bactérias também possuem a habilidade de produzir hormônios vegetais como as auxinas, citocianinas, giberilinas, etileno e ácido abscísico (SPAEPEN, 2015). O ácido indol acético (AIA) bacteriano interfere na expansão celular, proporcionando maior acesso aos nutrientes. Além disso, as auxinas também estão associadas às respostas de defesa da planta, pois atuam como sinalizadores afetando a expressão de microrganismos fitopatogênicos (SPAEPEN & VANDERLEYDEN, 2011; GLIK, 2014)

A biossíntese de enzima ACCA – aminocyclopropane -1-carboxylate deaminase, por algumas BPCV, quando a planta está submetida em situação de estresse, também é uma característica relevante no processo de promoção de crescimento de plantas, pois esta enzima age na diminuição dos níveis de etileno no solo. Esta regulação é importante porque o excesso deste hormônio pode prejudicar o desenvolvimento vegetal ou mesmo causar a morte da planta (GLIK, 2014). Complementarmente, algumas bactérias têm a capacidade de metabolizar metais pesados presentes no solo, consoante a que alguns microrganismos necessitam de nutrientes presentes nestes elementos para seu crescimento e desenvolvimento.

Algumas bactérias são capazes de produzir ácido cianídrico (HCN) e compostos orgânicos voláteis (COVs), os quais agem indiretamente beneficiando o desenvolvimento das plantas por meio da supressão de patógenos. A maioria dos COVs produzidos em um ensaio realizado com estirpes de *Pseudomonas fluorescens* foram compostos contendo enxofre, com dissulfeto de dimetila, com propriedades antifúngicas e promotoras de crescimento em plantas (HERNÁNDEZ et al., 2015).

Com base no exposto, a aplicação de BPCV no solo visa estimular os mecanismos de aclimação vegetal, sendo processo dependente do meio, para que as respostas sejam maximizadas ou minimizadas (GUIMARÃES et al., 2018). Portanto, a associação de plantas, como o milho, com BPCV pode levar ao aumento de produtividade, reduzir os custos de produção, aumentar a segurança alimentar e reduzir o uso de agroquímicos, contribuindo para uma agricultura mais sustentável.

## **2.5 Molibdênio e cobalto nas plantas e sua relação com o estresse hídrico**

Embora o molibdênio seja o micronutriente menos exigido pelas plantas, sua carência no solo pode acarretar ineficácia da adubação nitrogenada e especialmente diminuição da fixação biológica de N, onde o micronutriente é mais exigido (Malavolta et al., 1997). O molibdênio ocorre no solo como ânion de molibdato ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ), que é adsorvido por sesquióxidos e argilas. Em solos mais jovens onde o pH geralmente é mais elevado, ocorre maior disponibilidade de Mo para as plantas, contudo, sua disponibilidade pode ser baixa dependendo o material de origem e teor de argila (NOVAIS et al., 2007). Desta forma, os teores de molibdênio presentes no solo podem não ser suficientes para atender à demanda da cultura, havendo a necessidade de sua suplementação via adubação (HANSEL & OLIVEIRA, 2016).

O cobalto (Co) é considerado um elemento benéfico para as plantas, ou mais especificamente para o processo de fixação biológica. No solo o Co disponível para as plantas encontra-se na forma de  $\text{Co}^{2+}$ , geralmente complexado com ácidos orgânicos (NOVAIS et al., 2007). De acordo com Talukder et al. (1994), os efeitos benéficos do cobalto incluem retardamento da senescência da folha, aumento na resistência à seca em sementes, regulação do acúmulo de alcaloides em plantas medicinais, e inibição da biossíntese de etileno.

A nutrição nitrogenada das plantas é dependente da disponibilidade de molibdênio (Mo) e, dependendo da forma de aquisição, também de cobalto (Co). O molibdênio é constituinte estrutural da enzima redutase do nitrato, que é responsável

pelo processo de absorção e redução de nitrato nas plantas e constituinte do complexo enzimático nitrogenase que atua na fixação biológica de nitrogênio (DALMOLIN, 2015; TAIZ & ZAIGER, 2017).

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) pode ser realizada por microrganismos de vida livre, associativos e simbióticos (MOREIRA et al., 2006). O processo da FBN realizado por bactérias de vida livre e associativas é semelhante ao das simbióticas, uma vez que, ocorre pelo complexo da nitrogenase (HUNGRIA, 2011). Nos processos de fixação biológica de N o cobalto (Co) e o molibdênio (Mo) são fundamentais. O Co é um componente estrutural da vitamina B12 a qual é precursora da leg-hemoglobina, que por sua vez, impede a inativação da enzima nitrogenase por falta de oxigênio (SANTOS NETO, 2017).

Em condições de baixa disponibilidade hídrica as plantas podem absorver menor quantidade de nutrientes como o N (VURUKONDA et al., 2016). Devido a este déficit de água, a absorção de N é limitada pela quantidade de N que entra em contato com as raízes, o que pode refletir em deficiência deste elemento mesmo sob alta concentração no solo (VASCONCELOS et al., 2016). Além disso, o déficit hídrico altera a atividade das enzimas do metabolismo de nitrogênio, e na taxa de crescimento do milho (SILVA et al., 2019).

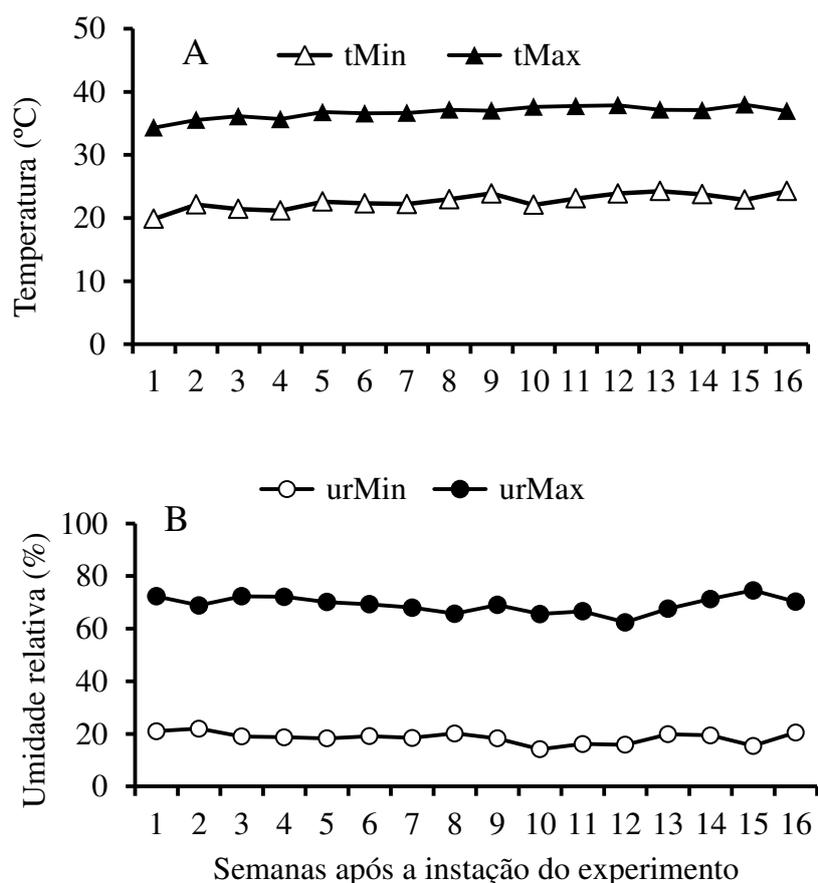
O metabolismo do N tem um papel importante na tolerância à seca, visto que os processos fisiológicos das plantas responsivos ao déficit hídrico envolvem o metabolismo do N (WANG et al., 2017). A maioria dos solutos e proteínas produzidos durante uma resposta ao estresse são compostos contendo N, como aminoácidos, amidas, betaínas. Assim, a maior absorção de nitrogênio pode atenuar os efeitos deletérios decorrentes do déficit hídrico nos cereais (MARQUES, 2019).

É importante destacar que embora o déficit hídrico altere a capacidade de absorção do N, a escassez de água no solo tem menor impacto na assimilação de N em plantas bem supridas com esse nutriente, pois em qualquer nível de déficit as plantas com alta nutrição nitrogenada apresentaram maior concentração foliar de aminoácidos solúveis e de proteínas solúveis totais (ROCHA, 2019).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área experimental

A pesquisa foi desenvolvida em campo na Fazenda Experimental pertencente ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar – CCTA da UFCG, localizada na mesorregião do Sertão Paraibano e microrregião de Sousa, no município de São Domingos – Paraíba, no período de julho a dezembro de 2019. O clima, segundo a classificação de Köppen adaptada ao Brasil, é do tipo tropical semiárido (Bsh), com temperatura média anual superior a 26,7 °C e precipitação pluviométrica média anual de 872 mm (COELHO & SONCIN, 1982). Os dados climatológicos para o experimento (Figura 1) foram coletados no sistema de monitoramento agrometeorológico AGRITEMPO (AGRITEMPO, 2019). Durante a condução do experimento a precipitação foi 0 mm (zero).



**Figura 1.** Dados climatológicos de temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) coletados durante a condução do experimento.

Antes da instalação do experimento, foi coletada uma amostra composta de solo da área, a partir de 15 amostras simples obtidas aleatoriamente na camada de 0 a 20 cm. O solo da área, classificado como Neossolo flúvico (EMBRAPA, 2006), foi analisado quanto aos atributos químicos e físicos (Tabela 1), no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do CCTA/UFMG, conforme metodologia descrita em Embrapa (2012).

**Tabela 1.** Atributos químicos e físicos do solo salino-sódico utilizado no experimento

Atributos químicos	Valor	Atributos físicos	Valor
pH (CaCl <sub>2</sub> )	5,61	Areia (gkg <sup>-1</sup> )	443,9
P (mg kg <sup>-1</sup> )	166	Silte (gkg <sup>-1</sup> )	353,1
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,07	Argila (gkg <sup>-1</sup> )	203,0
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,20	Ds (g cm <sup>-3</sup> )	1,36
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,26	Dp (g cm <sup>-3</sup> )	1,34
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,23	Porosidade (m <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	0,42
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,49	Classe textural	Franco
M.O. (g kg <sup>-1</sup> )	13,71	-	-
V (%)	89,5	-	--
PST (%)	1,4	-	-

P, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>: Extrator Mehlich 1; H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>: Extrator acetato de Ca<sup>+2</sup> 0,5 mol/L a pH 7;; Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>: Extrator KCl 1mol L<sup>-1</sup>.

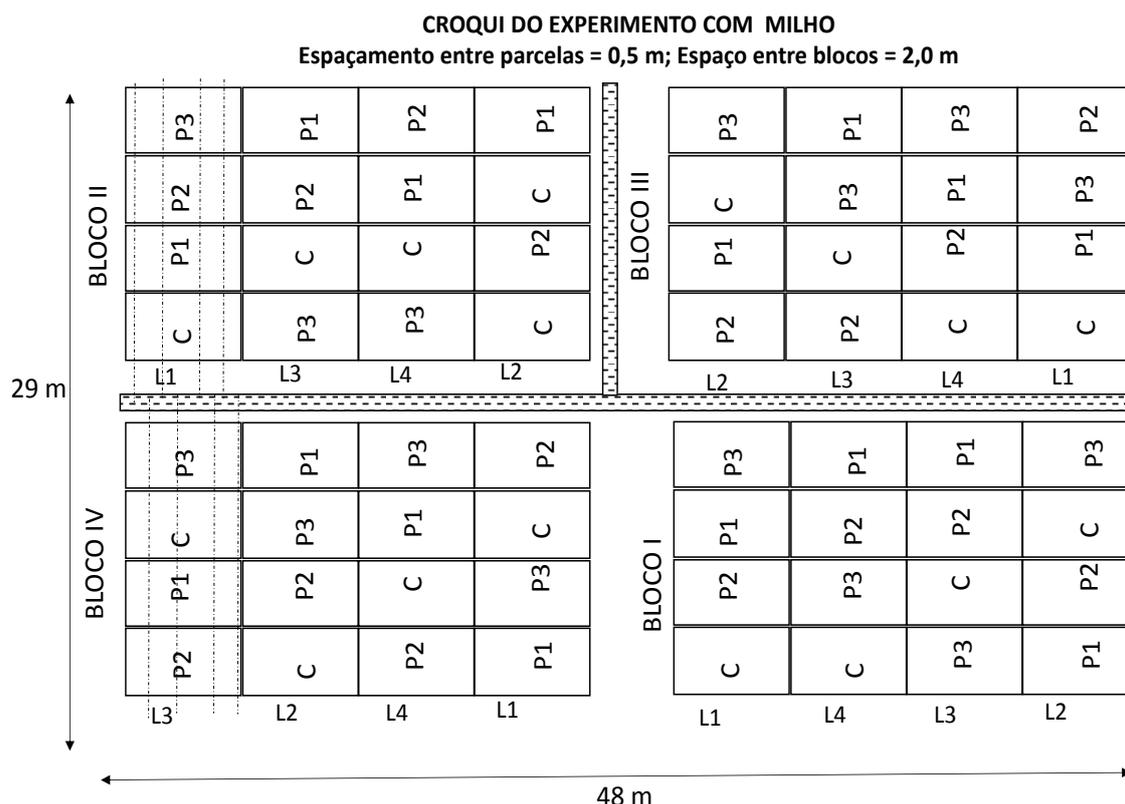
### 3.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento utilizado foi blocos casualizados, em parcelas subdivididas no espaço, onde as parcelas foram constituídas por quatro lâminas de irrigação (L1 – 40%; L2 – 60%; L3 – 80% e 100% da ETc) e as subparcelas corresponderam à quatro tratamentos referentes aos produtos à base de baterias promotoras do crescimento vegetal ou Co+Mo, como descritos na Tabela 2 a seguir:

**Tabela 2.** Descrição dos tratamentos correspondentes às subparcelas.

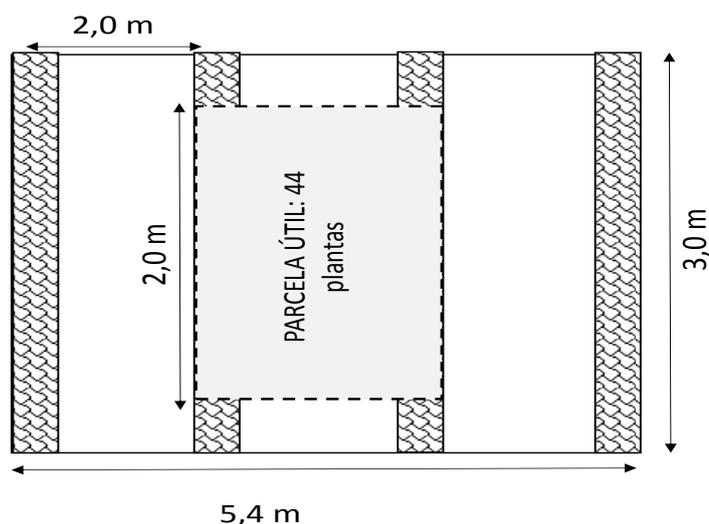
Tratamento	Descrição
C	Tratamento controle
P1	Biobaci ( <i>Bacillus subtilis</i> BV-09)- $1,0 \times 10^8$ UFC/mL
P2	No-Nema ( <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> - $1,0 \times 10^9$ UFC/mL) + Azokop ( <i>Azospirillum brasiliensis</i> - $1,8 \times 10^8$ UFC/mL)
P3	Produto CoMo com 0,3% de Co e 10% de Mo

Os tratamentos foram distribuídos em quatro blocos (quatro repetições), perfazendo 16 parcelas e 64 subparcelas. A área experimental apresentou as dimensões de 48 m de comprimento por 29 de largura, totalizando  $1.392 \text{ m}^2$  (Figura 2).



**Figura 2.** Croqui detalhado da área experimental com a cultura do milho. P1, P2, P3 e C corresponderam às subparcelas (produtos testados), onde C foi tratamento controle e L1, L2, L3 e L4 corresponderam às as lâminas de irrigação (L1 = 40%, L2 = 60%, L3 = 80%, L4 = 100%).

Dentro de cada parcela (lâminas de irrigação) foram alocadas quatro subparcelas, correspondentes ao segundo fator (produtos), constituídas por quatro fileiras duplas medindo 5,4 m de comprimento por 3,0 m de largura espaçadas de 2,0 m (Figura 3).



**Figura 3.** Esquema de uma subparcela referente aos produtos contendo bactérias promotoras do crescimento vegetal.

### 3.3 Preparo do solo sementeira e adubação

O preparo do solo foi constituído pela realização duas gradagens, sendo a primeira pesada e a segunda leve antes da sementeira, objetivando a desagregação e nivelamento do solo, posteriormente efetuar-se-á a abertura dos sulcos.

O genótipo utilizado foi o híbrido de milho empresa Agrocerec com tecnologia VT PRO 2, AG 1051, sendo o mais utilizado pelos produtores. O plantio foi realizado manualmente em 26 agosto de 2019 (período seco), em espaçamento de 0,2 m na linha de plantio. Aos 10 dias após a emergência realizou-se o desbaste para a obtenção de uma densidade média de 55.000 plantas por hectare.

A adubação mineral foi realizada de acordo com as recomendações do Manual de Recomendação de Adubação para o Estado de Pernambuco (CAVALCANTE, 2008), a partir da interpretação da análise de solo do experimento. A adubação de plantio consistiu na aplicação de 300 kg/ha de um formulado NPK 10-10-10. A adubação de cobertura consistiu no fornecimento de 140 kg/ha de N e 120 kg/ha de  $K_2O$ , aplicados em duas parcelas iguais, aos 30 e 60 dias após a emergência. As fontes N, P e K

utilizadas na adubação de cobertura foram ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente.

### **3.4 Controle fitossanitário**

O controle de plantas daninhas foi feito com aplicação de glifosato, que tem a atrazina como princípio ativo, aos oito após a emergência, uma vez que a variedade de milho utilizada no experimento é resistente ao produto.

Embora a cultivar seja considerada resistente à lagarta do cartucho, durante a fase vegetativa houve necessidade de se realizar o controle de desta praga utilizando o produto Lannate®BR, tem como princípio ativo o Metomil, segundo as recomendações técnicas do produto para o milho.

### **3.5 Aplicação dos tratamentos**

Os produtos referentes aos tratamentos P1 e P2 foram aplicados na dose de 5 L/ha. O tratamento P2 foi constituído pela mistura de 4 L/ha do produto No-Nema + 1L/ha do produto Azokop. Todos os produtos foram aplicados em dose única, aos 15 dias após a emergência das plântulas. A dose de 5 L/ha de cada tratamento correspondeu a 8,1 mL os quais foram diluídos em 4 L de água para aplicação nas subparcelas de 16,2 m<sup>2</sup>, ou seja, 0,5 mL/m<sup>2</sup> ou 5.000 mL/ha. Como cada parcela foi constituída por quatro linhas de 3,0 m, cada linha recebeu 1,0 L de água contendo os respectivos tratamentos, utilizando-se um regador manual.

### **3.6 Manejo das lâminas de irrigação**

As plantas foram irrigadas por gotejamento, com espaçamento de 0,20 m. Após a germinação, as plantas foram irrigadas seguindo os diferentes níveis de lâminas de água.

Os testes de uniformidade de aplicação de água foram realizados de acordo com a metodologia de avaliação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942).

O controle do volume de água fornecido em cada lâmina foi feito de acordo com a razão da vazão dos gotejadores pelo tempo para atingir as proporções da evaporação de referência (ETc). À medida que atingido o intervalo de tempo para cada volume das

respectivas lâminas, foram feitos os sucessivos desligamentos das fitas de gotejadores, correspondentes a cada lâmina.

A lâmina de irrigação correspondente a 100% foi obtida por meio do cálculo da ETc, conforme a equação 1 (JESEN, 1968):

$$ETc = kc * ETo$$

Em que: ETc: Evapotranspiração da cultura (mm); ETo: Evaporação de referência (mm); Kc: Coeficiente de cultura (adimensional).

Os valores de Kc utilizados (Tabela 3) durante o ciclo da cultura foi estimado com base em dados da FAO e de pesquisas com cultura do milho em região semiárida (EMBRAPA, 2007; ALMEIDA et al., 2013; SANTOS et al., 2014).

**Tabela 3.** Valores de Kc utilizados no experimento durante o ciclo da cultura do milho.

Fase	Valor de Kc
Inicial	0,13
Fase vegetativa	0,55
Florescimento	1,00
Fase reprodutiva	1,20
Fase final	0,90

O volume da irrigação total necessária (ITN) de cada lâmina (Tabela 4.) foi obtido pela seguinte equação (MANTOVANI et al., 2009):

$$ITN = IRN/Ea \text{ (mm)}$$

Em que: IRN: irrigação necessária (mm); Ea: eficiência de aplicação (0,9)

**Tabela 4.** Valores totais das lâminas de irrigação utilizadas no experimento

Lâmina Total	ITN (mm)
L1 (ETo 40%)	211,67
L2 (ETo 60%)	317,505
L3 (ETo 80%)	423,34
L4 (ETo 100%)	529,175

Os valores de ETo, estimados pelo modelo de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), foram obtidos durante a condução experimental da estação meteorológica do município de São Gonçalo, Paraíba, mais próxima ao local do experimento, através do site (SISDAGRO, 2020). Para determinação do KI médio, utilizou-se a média de quatro valores de coeficiente de localização (KI), segundo diversos autores, citados por Pizarro (1996), que dependem do valor da fração de área sombreada pelo cultivo de acordo com o desenvolvimento das plantas.

### 3.7 Variáveis avaliadas

Aos 60 dias após o plantio (DAP) foram avaliadas, em 10 plantas por subparcela útil, as variáveis: índice de área foliar (IAF), altura da planta, altura da inserção da espiga, diâmetro do colmo, massa fresca de folhas, do colmo e da espiga, com e sem palha, diâmetro e comprimento da espiga. Com os dados da massa fresca de folhas e do colmo foi obtida a massa fresca vegetativa. Pela soma da massa fresca vegetativa com a massa fresca da espiga com palha, obteve-se a massa fresca total. A produção de massa fresca (MF) de cada componente foi estimada considerando a área da subparcela de 16,2 m<sup>2</sup> e uma população de 55.000 plantas por ha, conforme seguinte expressão:

Produção (kg/ha) =  $\left(\frac{MF \times 55.000}{1.000}\right)$ ; onde MF corresponde a massa fresca total média de 10 plantas (g/planta).

Para evitar perda de água pelas plantas após o corte, a pesagem de cada parte da planta foi realizada diretamente na área experimental, utilizando-se balança digital com precisão de 1g e carga máxima de 10 kg.

O IAF foi estimado utilizando-se um Ceptômetro (AccuPAR modelo LP-80). As leituras foram realizadas no intervalo de 8h00min às 11h00min. Em cada subparcela foram realizadas quatro leituras abaixo das folhas, rente ao solo, correspondente aos quatro pontos cardeais da parcela.

A eficiência do uso da água (EUA) foi estimada utilizando a seguinte expressão:

$EUA = \frac{MFT}{\%Eto}$ , em que MFT correspondeu a produção de massa fresca total e %Eto correspondeu a percentagem da evapotranspiração de referência.

### **3.8 Análise estatística**

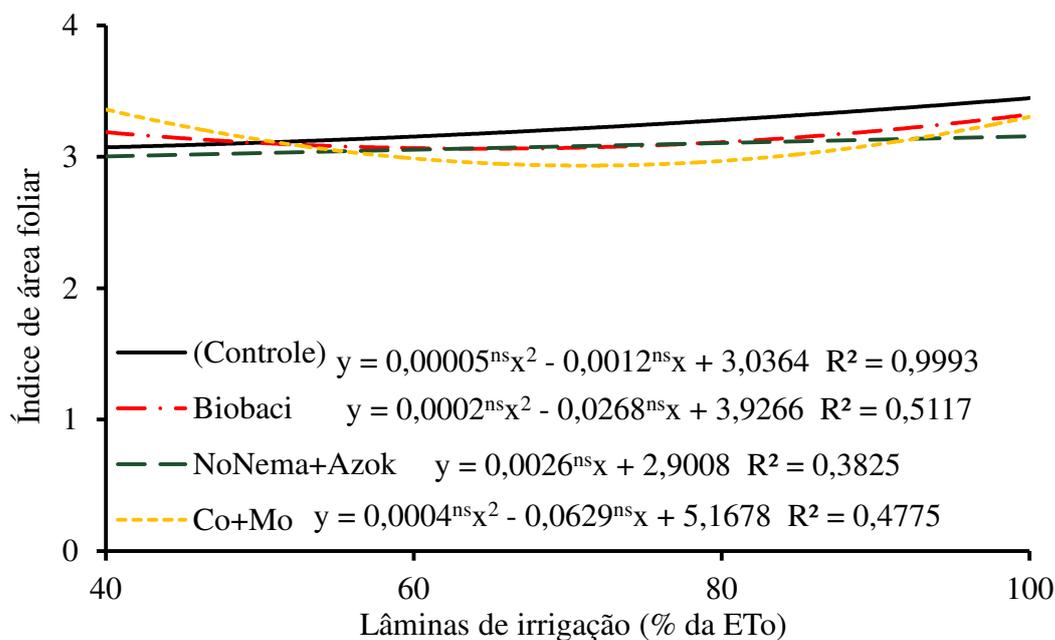
Os dados foram submetidos à análise de variância e análise de regressão polinomial para os modelos linear e quadrático, ao nível de 5% de significância utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). A escolha do modelo de regressão foi baseada na significância dos coeficientes da variável X e dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Crescimento das plantas**

Pela análise de variância, não foi observado efeito das lâminas de irrigação (L), dos produtos (P) e da interação L x P para as variáveis índice de área foliar (IAF), altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo (Tabela 1A). Para a variável altura de planta, houve efeito apenas das lâminas de irrigação, de forma isolada.

Pela análise de regressão polinomial, nos quatro tratamentos testados, o IAF também não foi alterado significativamente pelas lâminas de irrigação (Figura 4). A ausência de efeitos das lâminas sobre o IAF pode ter ocorrido em razão do sombreamento das plantas e sobreposição das plantas com menor crescimento, que por sua vez podem ter ocorrido em função da densidade de plantas adotada no presente trabalho. Resultado similar foi obtido por Ben (2015). Este autor não observou efeito significativo de lâminas de irrigação variando de 0 a 125% da ETc em híbridos de milho, como idade inferior aos 112 dias após o transplântio.



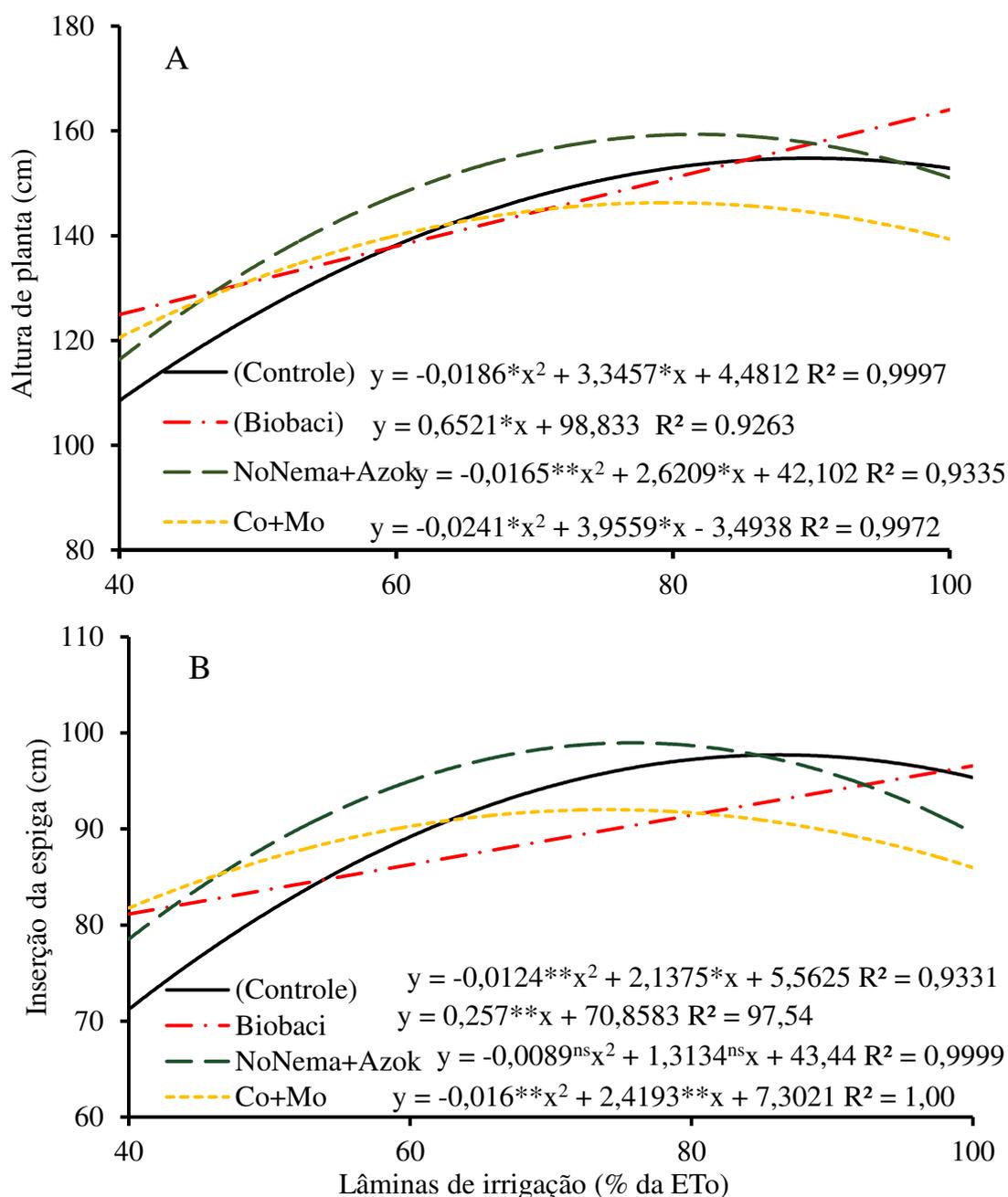
**Figura 4.** Variação do Índice de área foliar do milho híbrido em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico. ns: não significativo pelo teste de t ao nível de 5%.

A altura foi positivamente influenciada pelas lâminas de irrigação, com tendência quadrática, exceto para o produto Biobaci (Figura 5A). Os tratamentos relativos aos produtos testados incrementaram significativamente o crescimento das plantas, principalmente o tratamento No-Nema+Azokop, o qual proporcionou uma altura máxima de 158,84 cm com uma lâmina de 82,07% da ETo. Com a aplicação de 100% da ETo, o tratamento Biobaci proporcionou uma altura máxima de 164,04 cm. O tratamento controle proporcionou altura máxima de 154,93 cm, requerendo um volume de água de 89,93% da ETo. Já o tratamento Co+Mo proporcionou altura máxima de 146,96 cm, quando foi aplicado uma lâmina de 79,42% da ETo. Para a altura de inserção da espiga (Figura 5B) apenas o tratamento NoNema+Azokop superou o tratamento controle, proporcionado valor máximo de 98,74 cm, com lâmina de 75,60% da ETo.

A altura de planta foi maior no tratamento NoNema+Azokop provavelmente

Os valores máximos de altura de planta e de inserção de espiga para o híbrido AG 1051 aos 70 dias após o plantio, obtidos no presente trabalho foram semelhantes aos obtidos por Duarte et al. (2016) que encontraram valores de altura de plantas variando de 160 a 180 cm. De acordo com Alvarenga et al. (2006) a altura de planta é uma variável que reflete diretamente na colheita, uma vez que a regulação mais alta da

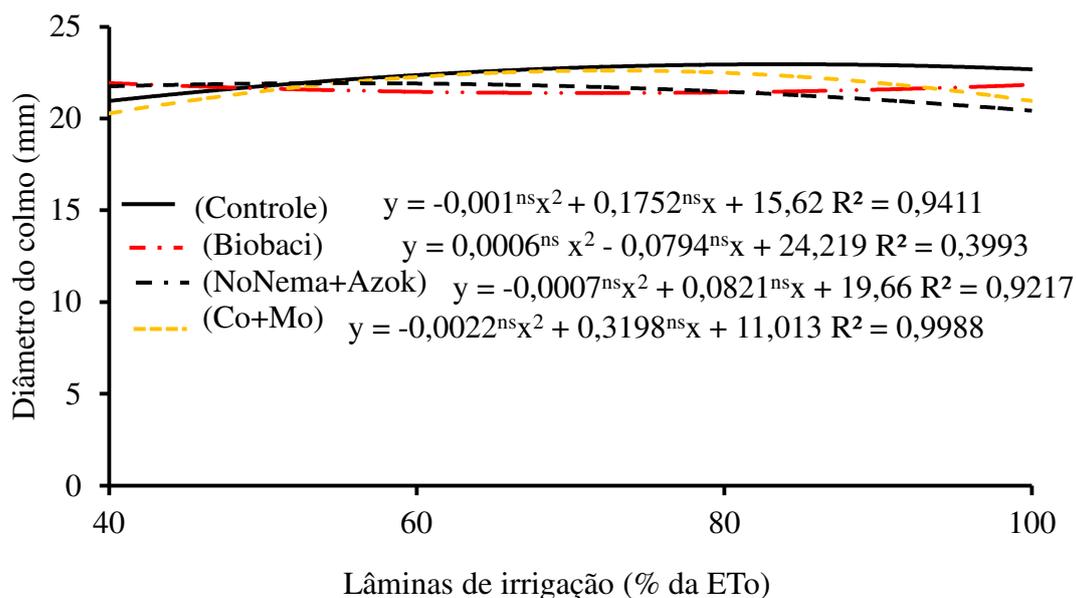
plataforma reduz o risco de embuchamento. Por sua vez, a altura de inserção da espiga, assim como a altura de planta, relaciona-se com o risco de tombamento da planta, assim dentro de certos limites, quanto menor estes valores, menor o risco de tombamento da planta.



**Figura 5.** Altura de planta (A) e altura de inserção da espiga (B) do milho híbrido em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico e produtos atenuantes do estresse hídrico. \*\* e ns: significativo ao nível de 1% e não significativo, respectivamente pelo teste de t.

É provável que os diferentes microrganismos fornecidos pelo No-Nema+Azokop tenham desencadeado diferentes mecanismos de atenuação ao estresse hídrico, não avaliados no presente trabalho, como por exemplo a síntese de hormônios como o AIA. Estes resultados diferem dos obtidos por Vince et al. (2018) que não observaram efeitos positivos de *B. amyloliquefaciens* sobre o crescimento das plantas quando não foi realizada adubação fosfatada ou quando essa foi feita com fosforita. Da mesma forma, Lana et al. (2012) e Libório et al. (2016) também não verificaram efeito positivo da inoculação sobre a altura de planta avaliando as respostas da cultura do milho à inoculação com *Azospirillum* associada à adubação nitrogenada. No presente trabalho, o efeito positivo, contudo, pode ter sido resultante da interação entre estes dois microrganismos. Ressalta-se ainda que, no presente trabalho não houve limitação ao milho quanto à adubação fosfatada e nitrogenada.

Assim como ocorreu com o IAF, para o diâmetro do colmo (Figura 6), as lâminas de irrigação também não proporcionaram efeito significativo para esta variável, independentemente do produto testado. Também Barbosa (2017) não observou influência de lâminas de irrigação sobre o diâmetro do colmo do milho. O diâmetro do colmo tem relação com a capacidade de sustentação da planta, especialmente na fase reprodutiva. O desenvolvimento do colmo é apontado na literatura como característica morfológica importante por estar relacionada ao percentual de acamamento e quebraimento de planta, que pode resultar em perdas significativas na produção (KAPPES et al., 2013). Ademais, conforme explicitado por Kappes et al. (2011) a produção de colmo está diretamente associada à obtenção de alta produtividade, em razão de que quanto maior o seu diâmetro, maior a capacidade da planta em armazenar fotoassimilados que contribuirão com o enchimento dos grãos.

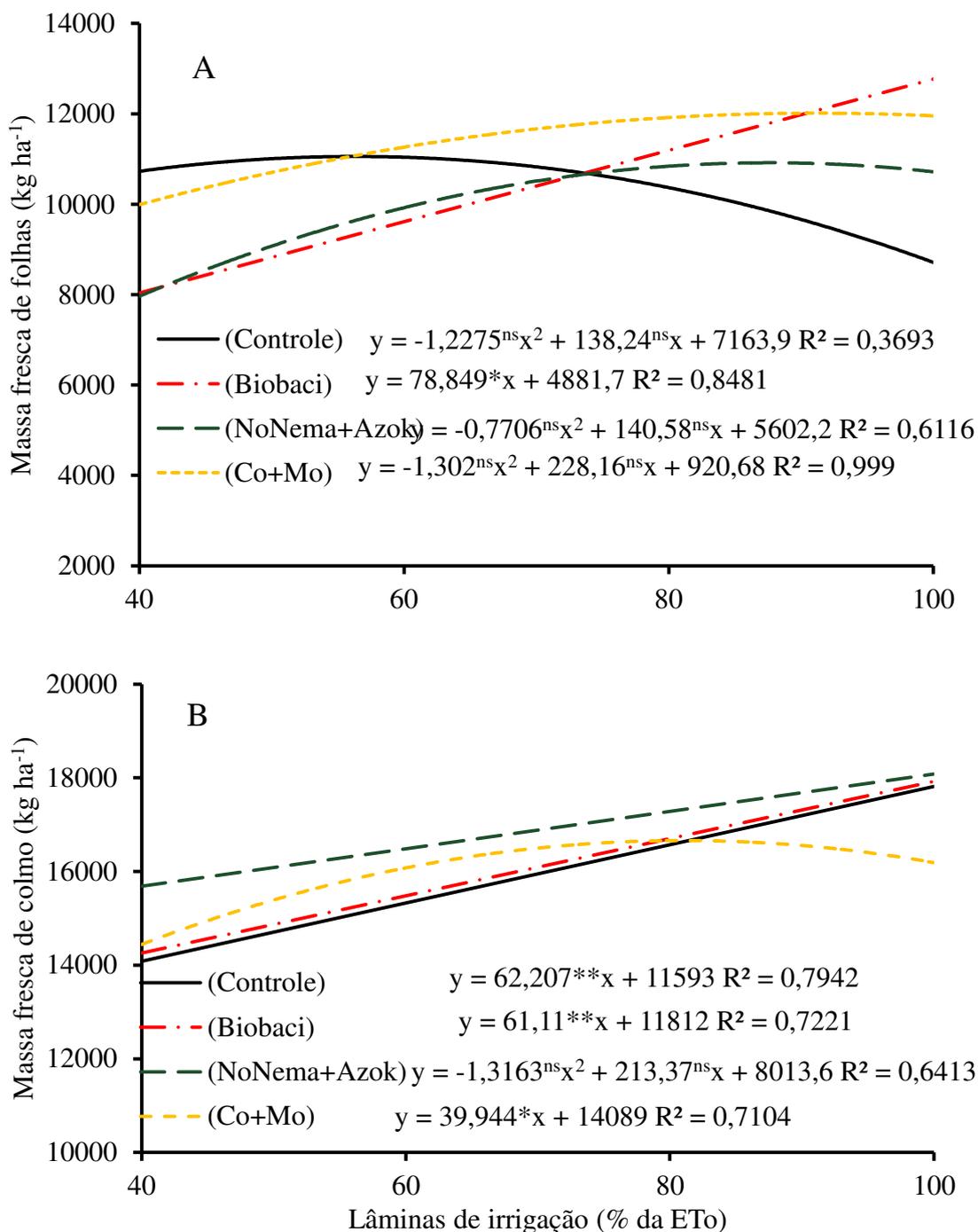


**Figura 6.** Diâmetro do colmo do milho híbrido em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico e produtos atenuantes do estresse hídrico. \*\* e ns: significativo ao nível de 1% e não significativo, respectivamente pelo teste de t.

#### 4.2 Produção de fitomassa

Conforme a análise de variância (Tabela 2A, apêndice), as lâminas de irrigação não influenciaram a massa fresca de folhas (MFF), mas afetaram a massa fresca de caule (MFC) e a massa fresca vegetativa (MFV). Para estas variáveis não houve efeito dos produtos atenuantes do estresse hídrico nem da interação produtos x lâminas de irrigação.

Pela análise de regressão, a produção de massa fresca de folhas respondeu de forma linear às lâminas de irrigação sob aplicação do produto Biobaci, enquanto para os demais tratamentos não houve ajuste significativo (Figura 7A). Nas maiores lâminas de irrigação os produtos testados favoreceram a produção de folhas em relação ao tratamento controle. A produção de MFC, por sua vez, com exceção do tratamento Co+Mo, aumentou linearmente com o incremento das lâminas de irrigação (Figura 7B). Para a MFC, o tratamento No-Nema+Azokop se destacou dos demais, tanto nas menores quanto nas maiores lâminas de irrigação.

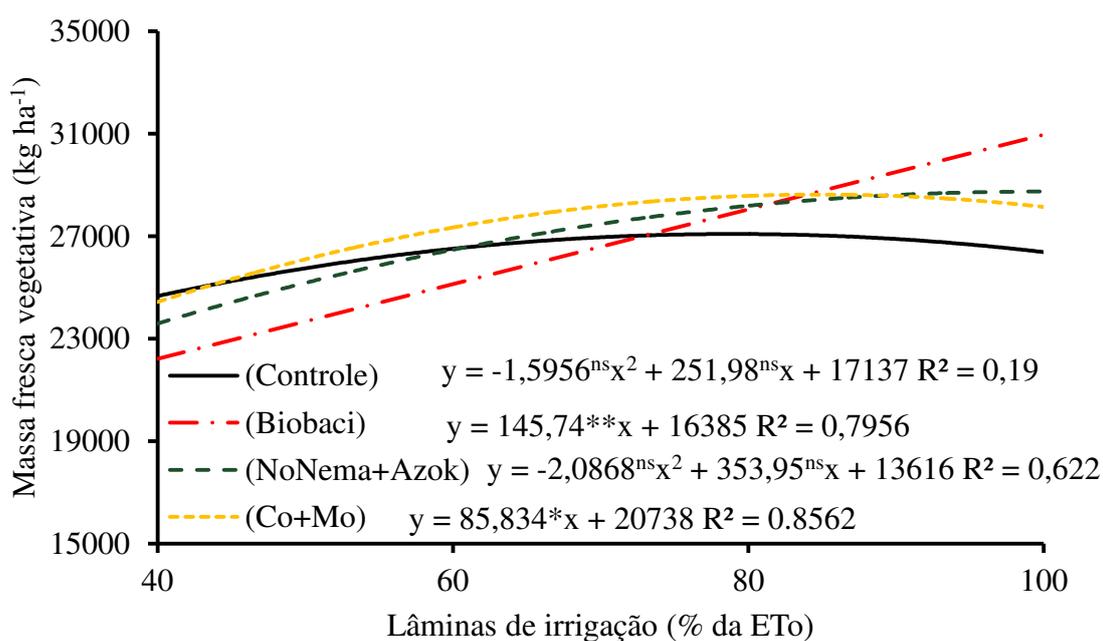


**Figura 7.** Produção de massa fresca de folhas (A) e de colmo (B) do milho híbrido, em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico. \*\* e ns: significativo ao nível de 1% e não significativo, respectivamente pelo teste de t.

É possível que o fornecimento de *Bacillus subtilis* do Biobaci e *B. amyloliquefaciens*, proveniente do No-Nema, em conjunto com *Azospirillum brasiliense*, proveniente do Azokop, tenham proporcionado ao milho uma maior quantidade de mecanismos de tolerância ao estresse hídrico, e assim favorecido o

aumento da massa fresca do colmo, dentro das diferentes lâminas de irrigação. Carvalho et al. (2019) observaram que, em milho cultivado hidroponicamente as bactérias *Bacillus* B116 e B119, são solubilizadoras de fontes pouco solúveis de fosfato. As duas cepas produzem AIA a partir de triptofano (SOUSA et al., 2018), e esse mecanismo pode proporcionar o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, aumentar o acúmulo de biomassa da raiz e da parte aérea (IKEDA et al., 2013; WAHYUDI et al., 2011; MEHNAZ; LAZAROVITS, 2006).

A produção de massa fresca vegetativa (folhas+colmo), nas lâminas de irrigação intermediárias, foi superior no tratamento Co+Mo (Figura 8). Na lâmina 100% da ETo, o tratamento Biobaci foi superior aos demais tratamentos com produção de 30.959 kg/ha de massa fresca vegetativa, enquanto os tratamentos NoNema+Azok e Co+Mo proporcionaram produções de 28.151 e 29.321 kg/ha, respectivamente. Ressalta-se que nos tratamentos controle e No-Nema+ Azokop os coeficientes dos modelos de regressão não foram significativos ( $p>0,05$ ).



**Figura 8.** Produção de massa fresca vegetativa do milho híbrido, em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico. \*\* e ns: significativo ao nível de 1% e não significativo, respectivamente pelo teste de t.

A produção de massa fresca vegetativa (MFV) tem sido considerada um bom indicador do estresse hídrico da planta, por isso tem sido amplamente utilizada em experimentos para essa finalidade (SOARES et al., 2017). Assim, os incrementos de

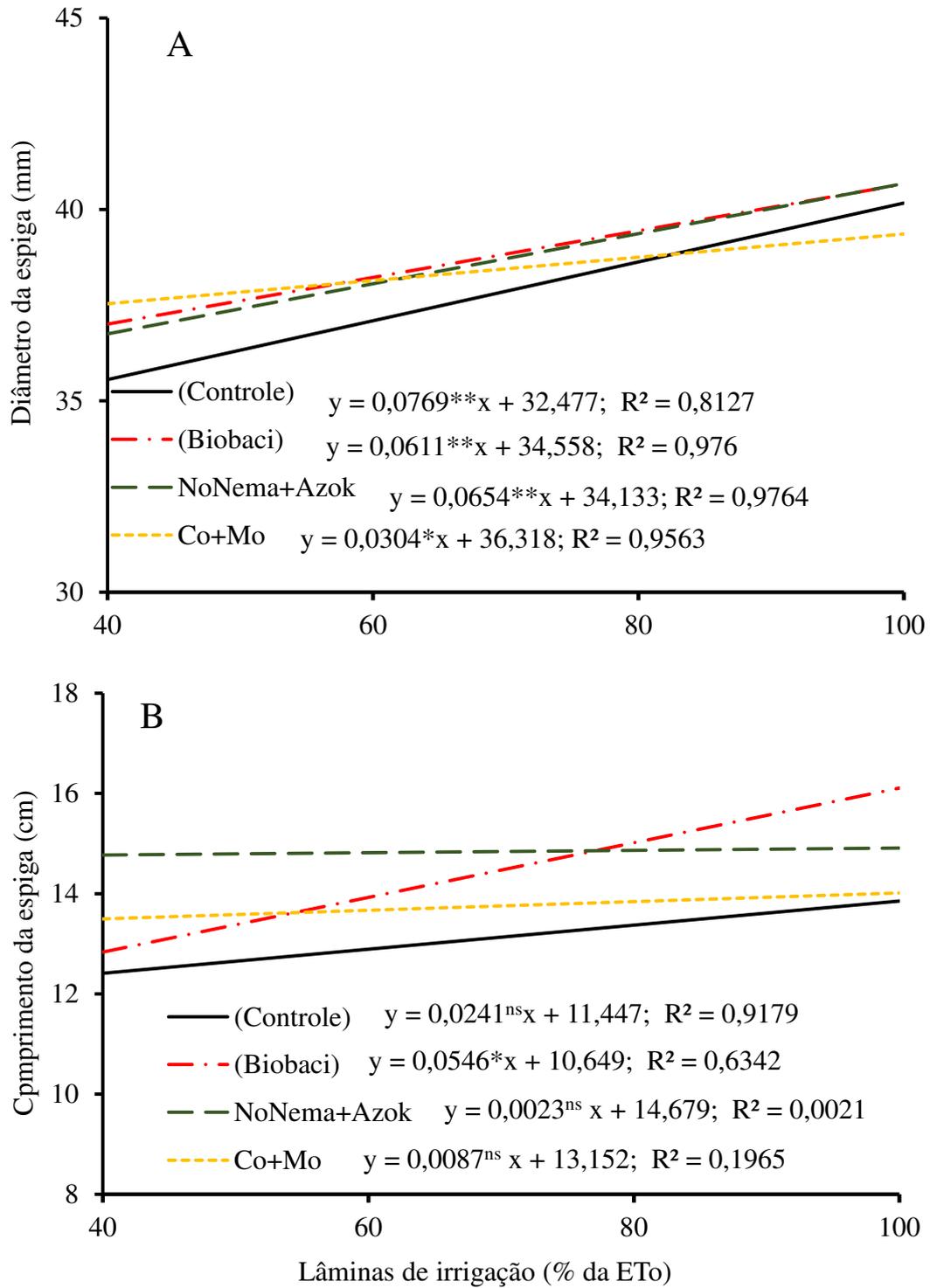
MFV proporcionados pelos produtos testados evidenciam seu potencial dos mesmos como atenuantes do estresse hídrico no milho verde, embora os mecanismos destes efeitos precisam ser mais bem explicados por meio de avaliações bioquímicas e, ou fisiológicas.

O efeito benéfico do tratamento Co+Mo sobre a MFV, pode estar relacionado às funções do Co e do Mo na fixação biológica de N. Este tratamento pode ter incrementado o acúmulo de N pela planta e contribuído para maior tolerância a escassez de água no solo, com reflexo na produção das partes vegetativas do milho (DALMOLIN, 2015; SANTOS NETO, 2017). O maior incremento de MFV observado tratamento Biobaci e em função da lâmina 100%, pode ter sido em consequência da excreção e regulação hormonal promovida pelas bactérias fornecidas pelo produto, a qual afeta diretamente os tecidos responsáveis pela fotossíntese, incrementando acúmulo de massa em diversos tecidos (BATTISTUS, 2015).

#### **4.3. Produção de espigas e fitomassa total**

De acordo com a análise de variância não houve interação significativa entre as lâminas de irrigação e os produtos testados para as variáveis diâmetro da espiga, comprimento da espiga, massa fresca da espiga sem palha, massa da espiga com palha e percentagem de palha (Tabela 3A, apêndice).

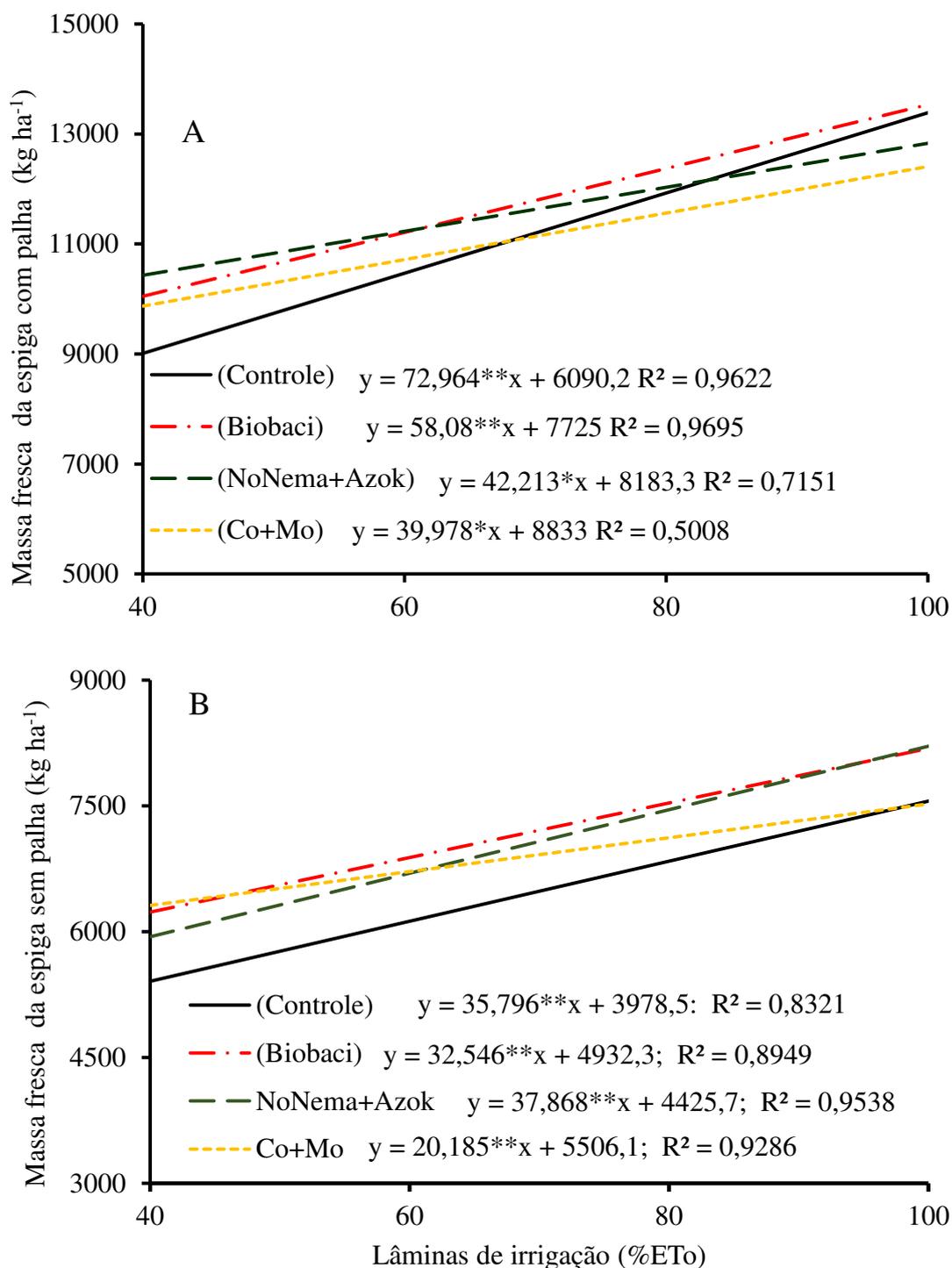
Considerando a análise de regressão, para todos os produtos testados e o controle, o diâmetro da espiga aumentou de forma linear com o aumento das lâminas de irrigação (Figura 9A). Para esta variável, os produtos testados, superou o controle, principalmente nas menores lâminas de irrigação. Para o comprimento da espiga, apenas sob o tratamento Biobaci houve ajuste de regressão significativa em função das lâminas de irrigação, o qual proporcionou incremento de 40,7% em relação ao controle, considerando a lâmina de 100% da ETo.



**Figura 9.** Diâmetro (A) e comprimento (B) da espiga do milho híbrido em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico. \* e ns: significativo ao nível de 5% e não significativo, respectivamente pelo teste de t.

A massa fresca de espiga com palha (Figura 10A) e sem palha (Figura 10B) aumentaram de forma linear para todos os produtos testados e o tratamento controle. Em comparação ao controle, os produtos testados se destacaram nas menores lâminas de irrigação, enquanto nas maiores lâminas de irrigação, destacou-se o produto Biobaci. Na menor lâmina de irrigação, o produto NoNema+Azokop proporcionou um incremento de 9,6% nesta variável. A massa fresca sem palha seguiu a mesma tendência da massa seca com palha, entretanto, os tratamentos Biobaci e NoNema + Azokop se destacaram em todas as lâminas de irrigação (Figura 10B). O tratamento Co+Mo se destacou nas menores lâminas de irrigação. O tratamento Biobaci se mostrou superior dentro das diferentes lâminas de irrigação, com destaque na lâmina 40% da ETo, quando proporcionou um acréscimo de 15,2% na produção de massa fresca sem palha, em relação ao controle.

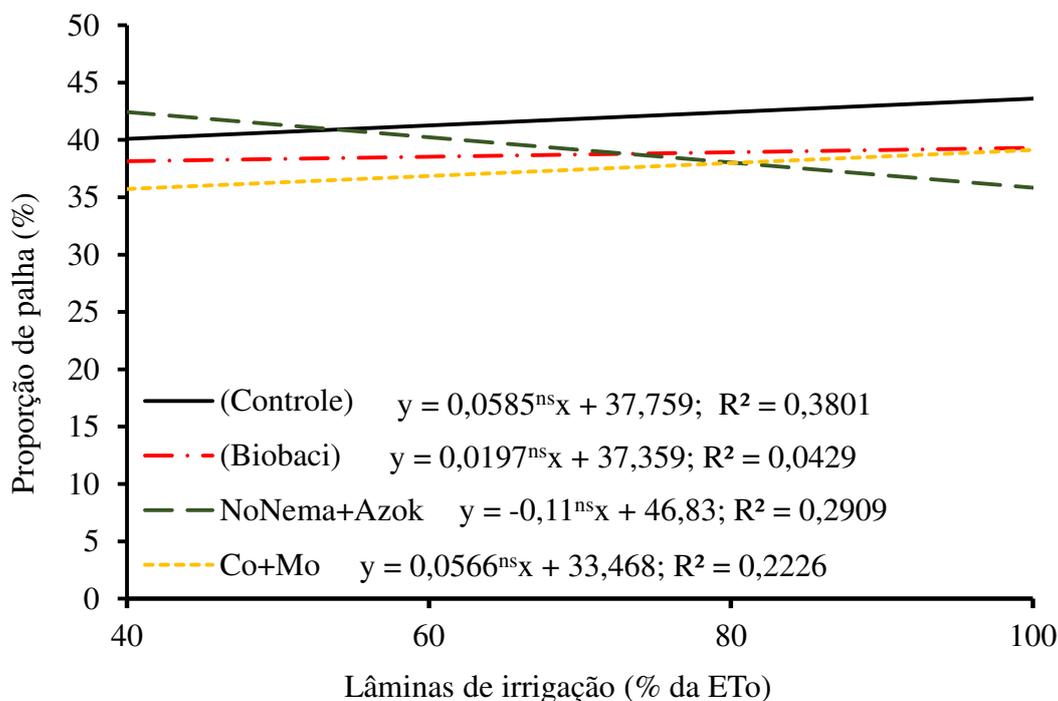
A influência positiva do produto Biobaci, sobre a produção de massa fresca de espigas deve-se, possivelmente à presença das BPCV do gênero *Bacillus subtilis*. Atualmente, a literatura científica considera o gênero *Bacillus* dentre os utilizados como BPCV, um dos com maior potencial de uso para conferência de resistência ao estresse hídrico ao milho, pois possui espécies de bactérias rizosféricas e endofíticas com habilidades de síntese de fitormônios que podem favorecer crescimento das raízes e aumento de pêlos radiculares (LIMA et al., 2011; ANGULO et al., 2014; LIN et al., 2018; MORENO, 2019). Neste sentido, Mazzuchelli et al. (2014) constataram que a massa das espigas de milho foi maior no tratamento com *B.subtilis* aplicado nas sementes, sendo 15,34% superior ao tratamento controle. Além disso, *B.subtilis*, aumentar a solubilidade de P na rizosfera ou por estimular a atividade de outros microrganismos benéficos às plantas (Kavamura, 2012).



**Figura 10.** Massa fresca da espiga com palha (A) e sem palha (B) do milho híbrido, em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico. \*\*: significativo ao nível de 1% pelo teste de t.

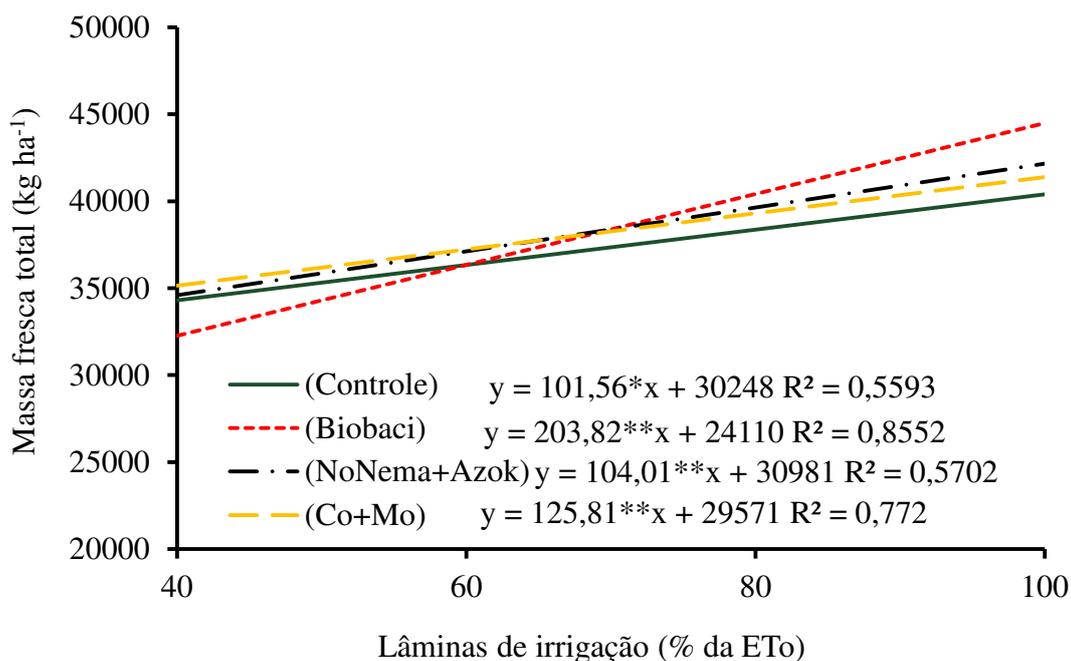
De acordo com a análise de variância percentagem de palha da espiga em relação à sua massa total, foi significativamente influenciada ( $p < 0,05$ ) pelas lâminas de irrigação, mas não pelos tratamentos atenuantes do estresse hídrico (Tabela 4A,

apêndice). Pela análise de regressão, não houve ajuste significativo desta variável em função das lâminas de irrigação (Figura 11). Todos os produtos testados proporcionaram menor proporção de palha em comparação com o tratamento controle, com destaque para o tratamento NoNema+ Azokop. A menor proporção de palha na espiga é um indicativo de maior produção de grãos verdes e de sabugo.



**Figura 11.** Proporção de palha da espiga do milho híbrido, em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico. ns: não significativo ao nível de 5% pelo teste de t.

Quanto a produção de massa fresca total, todos os produtos testados foram superiores ao tratamento controle (Figura 12). Para todos os produtos testados, as lâminas de irrigação proporcionaram aumento linear na massa fresca total do milho verde (Figura 12). Nas maiores lâminas de irrigação destacou-se o produto Biobaci, que proporcionou incremento de 10,1% na lâmina de 100% da ETo em relação ao controle, com valor estimado em 44.492 kg/ha. Os valores de produção de massa fresca total obtida no presente trabalho, assemelham-se aos obtidos por Silva et al. (2016) cujos valores obtidos para o milho verde AG 1051, variaram de 37.483 a 55.508 kg/ha, dependendo do tratamento testado.



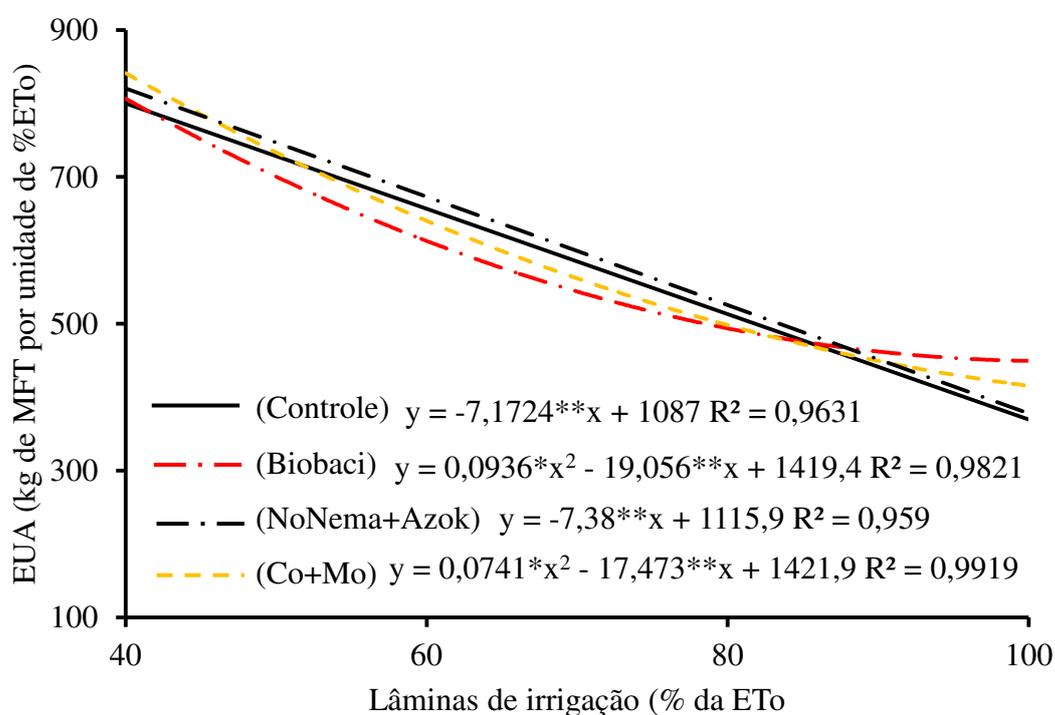
**Figura 12.** Massa fresca total em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico. \*\* e \*: significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente pelo teste de t.

A maior produção de MFT observada no tratamento Biobaci já era esperado, uma vez que essa variável foi obtida pelo somatório das variáveis MFV e MFEP, que apresentaram valores superiores com este produto. Estes resultados confirmam a influência positiva das BPCV como atenuantes do estresse hídrico no milho. Contudo, há de se reconhecer a necessidade de avaliações fisiológicas e bioquímicas que expliquem os possíveis mecanismos de ação, uma vez que as bactérias *Bacillus* spp. são capazes de produzir o hormônio AIA, solubilizar fosfato, produzir sideróforos, amônia, HCN e citocininas, sob estresse hídrico, propiciando um aumento na biomassa vegetal e no conteúdo relativo de água, além de auxiliar na estabilidade dos agregados de solo (VARDHARAJULA et al., 2011).

Além disso, embora não tenha sido investigado no presente trabalho, é possível que os efeitos benéficos destas bactérias sobre as plantas sejam devido a liberação de compostos bioativos, ou produção de substâncias capazes de aumentar a solubilidade de P na rizosfera ou por estimular a atividade de outros microrganismos benéficos às plantas. De forma semelhante ao observado no presente trabalho, Kavamura (2012), observou que bactérias *Bacillus* sp (6.2 RZS 3) atenuaram o estresse hídrico em milho. De acordo com os autores, a proteção contra a seca pode ter sido conferida pela

produção de exopolissacarídios, biofilme, ACC deaminase, ou ainda por ou mecanismo não aprofundado no estudo.

De acordo com a análise de variância, a eficiência de uso da água (EUA) foi influenciada apenas pelas lâminas de irrigação (Tabela 4A, apêndice). Contudo, pela análise de regressão, houve ajuste do modelo quadrático para os tratamentos Biobaci e Co+Mo e linear para os tratamentos controle e NoNema+Azokop (Figura 13). Nas menores lâminas de irrigação, houve superioridade dos tratamentos Co+Mo e NoNema, enquanto nas maiores lâminas de irrigação, destacou-se produto Biobaci, que proporcionou 21,9% de incremento na EUA na lâmina de 100% da Eto em relação ao tratamento controle.



**Figura 13.** Eficiência do uso da água do milho híbrido, em função de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico. \*\* e ns: significativo ao nível de 1% e não significativo, respectivamente pelo teste de t.

Os maiores resultados da EUA, observados nos regimes de estresse hídrico mais severos do experimento, podem ter ocorrido porque a taxa fotossintética da folha raramente é tão responsiva ao estresse hídrico quanto à expansão foliar, pois a fotossíntese é muito menos sensível ao turgor do que a expansão foliar. Ou seja, mais CO<sub>2</sub> pode ser absorvido por unidade de água transpirada, isto acontece porque o fechamento estomático inibe a transpiração mais do que diminui as concentrações intercelulares de CO<sub>2</sub> (TAIZ & ZAIGER, 2017).

Ao trabalhar com déficit e excesso hídrico na cultura do milho em ambiente protegido, Almeida (2016) observou que uma redução de 56% na lâmina de água (chuva + irrigação) correspondente ao Kc, recebida pela cultura do milho, causou redução de 15,5% no rendimento do milho, mas proporcionou incremento de 91,9% na EUA, o que denota a possibilidade da obtenção de rendimentos elevados mesmo utilizando-se uma irrigação deficitária.

A maior EUA proporcionado pelo Biobaci provavelmente ocorreu pelo favorecimento do desenvolvimento do sistema radicular da cultura, permitindo uma maior absorção da água disponível no solo em comparação aos demais tratamentos. O crescimento do sistema radicular por *B. subtilis* pode ser induzido, devido a sua capacidade de regulação hormonal das plantas através da síntese de auxina, giberilina e citocinina (FERNANDES et al., 2014; BALBINOT, 2018). Além de propiciar aumento da área de absorção do sistema radicular, as *B. Subtillis* podem contribuir para a sanidade desse órgão, sendo relatadas como produtoras de metabólitos com potencial inibidor de fungos como *Fusarium spp.* e *Colletotrichum spp.* (KUMAR; DUBEY, 2012), *Cercospora sojina* (SIMONETTI et al., 2012).

## 5. CONCLUSÕES

O produto Biobaci se destacou nas maiores lâminas de irrigação, aumentando a produção de massa fresca vegetativa, a produção de espigas verdes e a eficiência de uso da água.

Sob estresse hídrico mais severo, os produtos Co+Mo e NoNema+Azokop proporcionaram melhor desempenho do milho verde em termos de crescimento, produção de fitomassa fresca e produção de espiga.

Os produtos testados têm potencial para atenuar o estresse hídrico no milho verde AG 1051, especialmente os produtos à base de bactérias promotoras do crescimento vegetal Biobaci e NoNema+Azokop com destaque para o Biobaci.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRITEMPO. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico: Estações meteorológicas para o estado de PB.** Disponível em <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Estacao/index.jsp?siglaUF=PB>. Acesso em: 15/12/2019.

ALLEN, R.G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

ALMEIDA, B.M. **Déficit e excesso hídrico na cultura do milho (*Zea mays L.*) em ambiente protegido**, ESALQ, 2016. 124p. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. Disponível em: [10.11606/T.11.2016.tde-28042016-113144](https://repositorio.usp.br/handle/11363-4/44444). Acesso em: 18 set. 2020.

ANGULO, V.C. et al. Caracterização de rizobactérias promotoras de crescimento em mudas de *Eucalyptus nitens*. **Jornal Argentino de Microbiologia**, v. 46, n. 4, p. 338-347, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0325754114700938>. Acesso em: 18 set. 2020.

ARAÚJO JÚNIOR, G.N. et al. Estresse hídrico em plantas forrageiras. **Editora MV Valero**, v.13, n.1, p.1-10, jan. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.31533/pubvet.v13n01a241.1-10>. Acesso em: 23 ago. 2020.

ARAÚJO, S.A.C. et al. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum Schum.*), em estresse hídrico. **Acta Scientiarum: Animal Sciences**, v.32, n.1, p.1-7, mar. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v32i1.8961>. Acesso em: 15 out. 2020.

BALBINOT, W.G. **Inoculação de *bacillus sp.* na cultura do milho (*Zea mays L.*) como promotor de crescimento**, UFSC, 2018. 48p. TCC (Bacharelado em Agronomia) - Campus Curitibanos, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, SC.

BARBOSA, N.A. et al. Carotenoid retention in minimally processed biofortified green corn stored under retail marketing conditions. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, n. 4, p. 363-371, jul./ago. 2015.

BARBOSA, W.S.S. **Milho cultivado sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada**, UFAL, 2017. 116p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL.

BATEMAN, H.; CURTIS, S.; MCADAM, K. **Dictionary of Agriculture**. Londres: A&C Black, 2006. 269 p.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2014. 85p.

CARVALHO, C.G. et al. Efeito de promotores de crescimento bacterianos em plântulas de milho crescidas em cultivo hidropônico com estresse induzido por polietilenoglicol. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 14., 2019, Sete Lagoas, 2019. **Anais**. Sete Lagoas, UNIFEMM, 2019.

CARVALHO, R.I. et al. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônomo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, n.17, p.969 - 985, 2016.

CAVALCANTE, E.G. **Necessidades hídricas das culturas milho e feijão caupi influenciadas pelas mudanças climáticas no semiárido nordestino**, UFRSA. 2015. 82p. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água), Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró - RN.

CAVALCANTI, F.J.A. et al. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. 2ª. aproximação. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, 2008.

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: Agricultural Experiment Station, 1942. 124p.

COELHO, M.A.; SONCIN, N.B. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Moderna, 1982. 368p.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira**. 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em: 14 nov 2020.

DUARTE, E.C.C. et al. Manejo de herbicidas no controle de plantas daninhas e sua influência no crescimento e produção do milho híbrido AG 1051. **AGROTEC**, v.37, n.1, p.71-80, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.25066/agrotec.v37i1.29718>. Acesso em: 13 jun. 2020.

FAO. **Statistical Databases**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 31 mar. 2020.

FERNANDES, R.H. et al. Pochonia chlamydosporia e *Bacillus subtilis* no controle de *Meloidogyne incognita* E *M. Javanica* em mudas de tomateiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.30, n.1, p.194-200, 2014.

FERREIRA, E.P.B.; KNUPP, A.M.; MARTIN-DIDONET, C.C.G.; Crescimento de cultivares de arroz influenciado pela inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.30, n.3, p.655-665. 2014.

FERREIRA, D.F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, Lavras, v.35, p.1039-1042, 2011.

FILGUEIRAS, L.M.B.; MENESES, C.H.S.G. Efeito das bactérias promotoras de crescimento de plantas na proteção contra o estresse hídrico. **Journal of Biology & Pharmacy**, Campina Grande, v.11, n.1, p.21-30, 2015.

GHYSELINCK, J. et al. Bioprospecting in potato fields in the Central Andean Highlands: screening of rhizobacteria for plant growth-promoting properties. **Systematic and Applied Microbiology**, v.36, n.2, p.116-127. 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23333025/>. Acesso em: 23 fev. 2020.

GUIMARÃES, V.F. et al. **Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal: da FBN à regulação hormonal, possibilitando novas aplicações**. In: ZAMBOM, M.A. et al. Ciências Agrárias: ética do cuidado, legislação e tecnologia na agropecuária. Presidente Prudente, UNIOESTE, 2017. p.192-212.

LUZ, J.M.Q. et al. Produtividade de genótipos de milho doce e milho verde em função de intervalos de colheita. **Horticultura Brasileira**, v.32, n.2, p.1-5. 2014. Disponível

em: <http://www.scielo.br/pdf/hb/v32n2/0102-0536-hb-32-02-00163.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2020.

IKEDA, M. et al. Genes offering the potential for designing yield-related traits in rice. **Current Opinion in Plant Biology**, v.16, n.2, p.213-220. 2013.

JESEN, M.E. **Water consumption by agriculture plantes**. In: KOZLOWSKI, T.T. et al. Vol.1. Water deficitrowth. New York, Academic Press, 1968. p.1-19

KAPPES, C. et al. Uso de reguladores de crescimento no desenvolvimento e produção de crotalária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.4, p.10-5216, 2011.

KAPPES, C. et al. Fontes e doses de nitrogênio na cultura do milho em sistema de semeadura direta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis, EPAGRI/SBCS, 2013. CD-ROM.

KASIM, W.A. et al. Control of Drought Stress in Wheat Using Plant-Growth-Promoting Bacteria. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.32, n.1, p.122-130. 2013.

KAVAMURA, V.N. **Bactérias Associadas às Cactáceas da Caatinga: promoção de crescimento de plantas sob estresse hídrico**, ESALQ, 2012. 246p. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, SP.

KUMAR, P.; DUBEY, R.C.; MAHESHWARI, D.K. Bacillus strains isolated from rhizosphere showed plant growth promoting and antagonistic activity against phytopathogens. **Microbiological Research**, v.167, n.8, p.493-499. 2012.

LANA, M.C.; DARTORA, J.; MARINI, D.; HANN, J.E.H. Inoculation with *Azospirillum*, associated with nitrogen fertilization in maize. **Revista Ceres**, v.59, p.399-405. 2012.

LIBÓRIO, P.H.S. Inoculação com *Azospirillum* brasileiro associada à adubação nitrogenada reduzida em híbridos de milho. **Nucleus**, v.13, n.2, p.241-252. 2016.

LIMA, F.F et al. *Bacillus subtilis* e adubação nitrogenada na produtividade do milho. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, p.657-661. 2011.

LIN, Y. et al. Influence of plant growth promoting rhizobacteria on corn growth under different fertility sources. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.49, p.1239–1255. 2018

LISAR, S.Y.S. et al. **Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses**. In: RAHMAN, I.M.M. *Water Stress.*, 2016. p.1-14.

MADABULA, F.P. et al. Rice genotypes for drought tolerance: morphological and transcriptional evaluation of auxin-related genes. **Bragantia**, Campinas, v.75, n.4, p.428- 434. 2016.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Princípios e aplicações Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2. ed., atual. e ampliada. Viçosa, MG: UFV, 2009. 355 p.

MARQUES, D.M. **Déficit hídrico e doses de nitrogênio na morfofisiologia e produção de genótipos de milho inoculados por *Azospirillum brasilense***, UFPA, 2019. 79p. Tese (Doutorado em Botânica Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MATOS, C.C. et al. Competitive Capacity and Rhizosphere Mineralization of Organic Matter During Soil-Herb Microbiota Interactions. **Planta Daninha**, v.37. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-83582019370100007>. Acesso em: 20 out. 2020.

MAZZUCHELLI, R. et al. inoculação de *bacillus subtilis* e *azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Colloquium Agrariae**, v.10, n.2, p.40-47. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5747/ca.2014.v10.n2.a106>. Acesso em: 14 de mai. 2020.

MONTEIRO J.G. et al. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.18-25. 2014

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Fixação biológica de nitrogênio atmosférico**. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. (2ª eds.). Microbiologia e Bioquímica do Solo, Lavras: Editora UFLA, 2006. p.449-542.

MORENO, A.L. **Crescimento do milho sob efeito da aplicação de rizobactérias e fertilizantes químicos**, UFA, 2019. 66p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, AC.

NAZIR, N. et al. Mechanism of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in enhancing plant growth-A Review. **International Journal of Management, Technology And Engineering**, v.8, p.709-721. 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/331876132\\_Mechanism\\_of\\_Plant\\_Growth\\_Promoting\\_Rhizobacteria\\_PGPR\\_in\\_enhancing\\_plant\\_growth-A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/331876132_Mechanism_of_Plant_Growth_Promoting_Rhizobacteria_PGPR_in_enhancing_plant_growth-A_Review). Acesso em: 20 jun. 2020.

NOVAIS et al. editores. **Fertilidade do solo**. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

PEREIRA FILHO, I.A. et al. **Milho Verde**. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fy779fnk02wx5ok0pvo4k3c1v9rbg.html>. Acesso em: 05 mai. 2020.

PINTER, I.F. et al. Characterization of the As (III) tolerance conferred by plant growth promoting rhizobacteria to in vitro-grown grapevine. **Applied Soil Ecology**. v.109, p.60-68. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.10.003>. Acesso em: 11 mai. 2020.

RIBEIRO, E.A.S. **Produção de Milho-verde Irrigado por Gotejamento em Teresina-PI**, UFPI, 2017. 82p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - UFPI-PI, Teresina, PI.

ROCHA, B.C.P. **Metabolismo do nitrogênio em cafeeiro submetido a déficit hídrico e doses de nitrato**, UFV, 2019. 28p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SAINI, R. et al. Beneficial effects of inoculation of endophytic bacterial isolates from roots and nodules in chickpea. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v.4, p.207-221. 2015.

SANTOS, M.X. et al. Selected and non-selected maize hybrids behavior for ASI under water stress in flowering and grain filling. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, p.71-81. 2017.

SANTOS, D. et al. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.836-842. 2018

SANTOS, W.O. et al. Coeficientes de cultivo e necessidades hídricas da cultura do milho verde nas condições do semiárido brasileiro. **Irriga, Botucatu**, Botucatu-SP, v. 19, n. 4, p.559-572, set. 2014.

SANTOS NETO, J.V. **Forma de aplicação do níquel, cobalto e molibdênio em sistema plantio direto na cultura da soja**, UFU, 2017. 72p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

SILVA, E.R. et al. Can co-inoculation of *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* alleviate adverse effects of drought stress on soybean (*Glycine max* L. Merrill.)? **Archives of Microbiology**, v.201, p.1-11. 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00203-018-01617-5>. Acesso em: 05 mai. 2020.

SILVA, G.C. et al. Desempenho de cultivares para produção de milho verde na agricultura familiar do sul de Roraima. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.14, n.2, p.273-282. 2015. Disponível em: [http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/562/pdf\\_425](http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/562/pdf_425). doi: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n2p273-282>. Acesso em: 10 mai. 2020

SILVA, R.A. et al. Características agronômicas de cultivares de milho verde submetidas a doses de Ribumin®. **Revista de Ciências Agrárias**, v.39, n.3, p.395-403 395. 2016.

SILVA, Y.F. **Evapotranspiração na cultura de citrus no noroeste paulista**, UNESP, 2017. 49p. TCC (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, SP.

SIMONETTI, E. et al. Evaluation of indigenous bacterial strains for biocontrol of the frog-eye leaf spot of soya bean caused by *Cercospora sojina*. **Letters in Applied Microbiology**, v.55, n.2, p.170-173. 2012.

SISDAGRO (Brasília). Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet. **Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária**. 2020. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/index>. Acesso em: 15 nov. 2020.

SOARES, E.V.L. et al. **Avaliação de parâmetros relacionados ao estresse hídrico**. In: BROETTO, F. et al. O Estresse das Plantas: teoria & prática. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2017. p.1-194.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TALUKDER, G.; SHARMA, A.; PALIT, S. Effects of Cobalt on Plants. **The Botanical Review**, vol.60, n.2. p.149 - 181 1994.

TEIXEIRA, A.H.C. et al. Distribuição espacial do requerimento hídrico da cultura do milho no Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. 18., Belém, 2014. **Anais**. Belém, EMBRAPA, 2014.

TIWARI, S. et al. Bacillus: Plant growth promoting bacteria for sustainable agriculture and environment. **Elsevier**, p.43-55. 2019.

TRINCA, V.F. et al. NECESSIDADE HÍDRICA DO MILHO IRRIGADO NO NOROESTE PAULISTA. Disponível em: <http://www.inovagri.org/biblioteca/iv-inovagri-meeting/res0340485>. Acesso em: 21 out. 2020.

VARDHARAJULA, S. et al. Droughttolerant plant growth promoting *Bacillus* spp.: effect on growth, osmolytes, and antioxidante status of maize under drought stress. **Journal of Plant Interactions**, London, v.6, n.1, p.1-14. 2011.

VARMA, P.K. et al. “**Endophytes: Role and Functions in Crop Health**.” In: SINGH, D.; SINGH, H.; PRABHA, R. (eds) Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives. **Springer**, Singapore, v.1, 291-310. 2017.

VELLOZO, E.P.; FISBERG, M. O impacto da fortificação de alimentos na prevenção da deficiência de ferro. **Revista Brasileira Hematologia Hemoterapia**, São Paulo, v. 32, n.2, p.134-139. Jun. 2010.

WAHYUDI, A.T. et al. Characterization of Bacillus sp. strains isolated from rhizosphere of soybean plants for their use as potential plant growth for promoting Rhizobacteria. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v.2, n.10, p.406-417. 2011.

WU, Y. et al. Growth and transpiration of maize and winter wheat in response to water deficits in pots and plots. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v.71, p.65–71. 2016.

ZAREI, T. et al. Melhorando o crescimento e o rendimento do milho doce (*Zea mays* L. var saccharata) usando a inoculação de *Pseudomonas fluorescens* sob regimes de rega variados. **Agricultural Water Management**, v. 226. 2019.

ZHANG, Y.F. et al. Characterization of ACC deaminase producing endophytic bacteria isolated from copper-tolerant plants and their potential in promoting the growth and copper accumulation of *Brassica napus*. **Chemosphere**, Amsterdam, v.83, n.1, p.57-62. 2011.

## APÊNDICE

**Tabela 1A.** Resumo da análise de variância para as variáveis índice de área foliar (IAF), altura de planta (ALT), altura de inserção da espiga (INSER) e diâmetro do colmo (DIAM) do milho verde.

FV	GL	Quadrados Médios			
		IAF	ALT	INSER	DIAM
Lâmina (L)	3	0,31 <sup>ns</sup>	4451,54 <sup>**</sup>	888,48 <sup>ns</sup>	3,46 <sup>ns</sup>
Erro 1	9	0,12	536,11	232,93	1,66
Produtos (P)	3	0,06 <sup>ns</sup>	240,17 <sup>ns</sup>	26,1 <sup>ns</sup>	2,18 <sup>ns</sup>
L x P	9	0,09 <sup>ns</sup>	153,57 <sup>ns</sup>	94,43 <sup>ns</sup>	2,46 <sup>ns</sup>
Erro 2	36	0,13	108,94	63,28	2,03
CV 1 (%)	-	11,34	16,46	17,20	5,94
CV 2 (%)	-	11,74	7,42	8,96	6,57

\*\* e ns: - Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste de t.

**Tabela 2A.** Resumo da análise de variância para as variáveis de produção de massa fresca de folhas (MFF), massa fresca de caule (MFC) e massa fresca vegetativa (MFV) do milho verde, sob influência de lâminas de irrigação e produtos atenuantes do estresse hídrico. Pombal, PB, 2019.

FV	GL	Quadrados Médios		
		MFF	MFC	MFV
Lâmina (L)	3	20663447,65 <sup>ns</sup>	34825706,09 <sup>*</sup>	109744734,66 <sup>**</sup>
Erro 1	9	8157155,04	8652580,12	9809724,27
Produtos (P)	3	5848895,26 <sup>ns</sup>	3591469,59 <sup>ns</sup>	2550605,63 <sup>ns</sup>
L x P	9	7695071,52 <sup>ns</sup>	1257639,05 <sup>ns</sup>	9886851,50 <sup>ns</sup>
Erro 2	36	7790655,35	4031488,29	9986011,75
CV 1 (%)	-	27,36	18,17	11,75
CV 2 (%)	-	26,74	12,40	11,86

\*\* , \* e ns: - Significativo ao nível de 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de t.

**Tabela 3A.** Resumo da análise de variância para diâmetro da espiga (DESP), comprimento da espiga (CESP), massa fresca da espiga sem palha (MFESP), massa da espiga com palha (MFEP) e percentagem de palha (PP) em função de lâminas de irrigação (% ETo) e produtos atenuantes do estresse hídrico em milho verde.

FV	GL	Quadrados Médios			
		DESP	CESP	MFEP	MESP
Lâmina (L)	3	37,974100**	7,162057 <sup>ns</sup>	10693076,83**	33766437,08**
Erro 1	9	4,366750	4,520986	1606644,13	3849340,01
Produtos (P)	3	2,991972 <sup>ns</sup>	9,258641 <sup>ns</sup>	1593108,48 <sup>ns</sup>	1650231,40 <sup>ns</sup>
L x P	9	1,960233 <sup>ns</sup>	4,994862 <sup>ns</sup>	582833,85 <sup>ns</sup>	1807150,33 <sup>ns</sup>
Erro 2	36	1,570223	5,788497	815802,52	2818245,13
CV 1 (%)	-	5,43	15,13	18,31	17,15
CV 2 (%)	-	3,26	17,12	13,05	14,68

\*\* e ns: - Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste de t.

**Tabela 4A.** Resumo da análise de variância para massa fresca total (MFT), percentagem de palha (PP) e eficiência de uso da água (EUA).

FV	GL	Quadrados Médios		
		PP	MFT	EUA
Lâmina (L)	3	102,618945*	234476035,51**	533977,37**
Erro 1	9	23,553104	21141904,27	10211,74
Produtos (P)	3	55,305153 <sup>ns</sup>	3906236,90 <sup>ns</sup>	772,180 <sup>ns</sup>
L x P	9	31,597187 <sup>ns</sup>	8593092,41 <sup>ns</sup>	1340,943 <sup>ns</sup>
Erro 2	36	30,125463	16920611,62	3497,48
CV 1 (%)	-	12,35	12,07	17,03
CV 2 (%)	-	13,97	10,80	9,96

\*\*, \* e ns: - Significativo ao nível de 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de t.