

LAURA COSTA OLIVEIRA

**SOBREVIVÊNCIA E ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB
DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS APÓS APLICAÇÃO DE *Bacillus*
licheniformis E *Bacillus subtilis* EM MUDAS PRÉ-BROTADAS**

Botucatu

2023

LAURA COSTA OLIVEIRA

**SOBREVIVÊNCIA E ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB
DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS APÓS APLICAÇÃO DE *Bacillus*
licheniformis E *Bacillus subtilis* EM MUDAS PRÉ-BROTADAS**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Almeida
Silva

Botucatu

2023

O48s	Oliveira, Laura Costa Sobrevivência e análise de crescimento de cana-de-açúcar sob diferentes regimes hídricos após a aplicação de <i>Bacillus licheniformis</i> e <i>Bacillus subtilis</i> em mudas pré-brotadas / Laura Costa Oliveira. -- Botucatu, 2023 108 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientador: Marcelo de Almeida Silva 1. Agricultura. 2. Cana-de-açúcar. 3. Ecofisiologia vegetal. I. Título.
------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: SOBREVIVÊNCIA E ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE CANA-DE-AÇÚCAR
SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS APÓS A APLICAÇÃO DE *Bacillus*
licheniformis E *Bacillus subtilis* EM MUDAS PRÉ-BROTADAS

AUTORA: LAURA COSTA OLIVEIRA

ORIENTADOR: MARCELO DE ALMEIDA SILVA

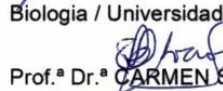
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia (Agricultura),
pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA (Participação Presencial)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu



Prof. Dr. PAULO EDUARDO RIBEIRO MARCHIORI (Participação Virtual)
Biologia / Universidade Federal de Lavras



Prof.ª Dr.ª CARMEN SILVIA FERNANDES BOARO (Participação Presencial)
Biodiversidade e Bioestatística / Instituto de Biociências de Botucatu UNESP

Botucatu, 31 de agosto de 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que tornaram possível a realização desta dissertação.

Em especial, aos meus queridos pais Geraldo e Giselle, que sempre estiveram ao meu lado, apoiando e incentivando cada passo que dei em direção aos meus sonhos.

Aos meus amados avós, tanto maternos José e Célia, quanto paternos Dionísio e Leonice, por toda demonstração de afeto e carinho, que sem dúvidas, foram fontes de força ao longo desta caminhada.

À minha madrinha Bianca e minha prima Luiza, por serem uma presença especial em minha vida, sempre me encorajando e me motivando a persistir em meus objetivos.

Ao meu noivo Vinícius, sou imensamente grata por ser meu pilar de força e confiança. Sua paciência e incentivo foram fundamentais para que eu pudesse superar os momentos mais difíceis e me manter focada em meus estudos. Não posso deixar de ressaltar sua família, Lourdes, Viviane, Matheus, Tamires e Miguel, que são minha principal rede de apoio em São Paulo.

À minha amiga Ana Luiza, obrigada por estar sempre presente mesmo longe, meu amor e gratidão por toda compreensão e apoio. Sua presença trouxe equilíbrio e alegria em meio aos desafios acadêmicos. Sua amizade é um tesouro que guardarei para sempre.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva, pelo incentivo, orientação e ensinamentos.

Às minhas colegas Lusiane e Carolina, agradeço por compartilhar não apenas os desafios acadêmicos, mas também os momentos de descontração e cumplicidade. Vocês tornaram essa jornada mais leve e enriquecedora.

Aos integrantes do Laboratório de Ecofisiologia Aplicada à Agricultura (LECA), em especial, Carlos Henrique, Hariane, Melina, Gustavo, Davi, Laura e Bruno.

Agradeço à Agrícola Rio Claro por ceder a área para a instalação do experimento, fornecer o material vegetal necessário e por toda a assistência oferecida ao longo do estudo.

Meus sinceros agradecimentos à equipe Ascana, em especial ao Sílvio e Agnaldo, pela valiosa contribuição prestada na execução das avaliações em campo e pelas análises laboratoriais realizadas.

E por fim, agradeço imensamente à CHR Hansen e à FMC por tornarem este trabalho possível.

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

RESUMO

O cultivo de cana-de-açúcar é responsável pela maior parte da produção mundial de açúcar e com grande participação na produção do biocombustível etanol. Convencionalmente, a propagação de cana-de-açúcar envolve o plantio de toletes. No entanto, devido ao elevado volume de material necessário, em 2012, pesquisadores brasileiros introduziram um novo método de propagação no cenário sulcroenergético, que consiste no plantio de mini-toletes previamente brotados e aclimatados em cultivo protegido, chamado de mudas pré-brotadas (MPB). Embora as MPB apresentem diversas vantagens em relação ao método convencional, são mais sensíveis em períodos de escassez hídrica, devido a menor quantidade de reservas. O uso de bactérias promotoras do crescimento vegetal, em especial do gênero *Bacillus* spp., tem demonstrado resultados positivos no que diz respeito ao incremento de tolerância ao déficit hídrico em várias culturas, inclusive na cana-de-açúcar. No entanto, não foram encontrados estudos utilizando as bactérias *Bacillus licheniformis* e *Bacillus subtilis* para promover a sobrevivência de MPB em condições hídricas restritas em campo. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar a sobrevivência, a eficiência do uso da água, o crescimento, os teores de nutrientes e a produção de cana-de-açúcar provenientes de viveiro de MPB inoculadas com as bactérias *Bacillus licheniformis* e *Bacillus subtilis* em diferentes regimes hídricos. Para isso, foi conduzido um experimento em campo em esquema fatorial duplo (2x4), que consistiu na presença e na ausência da inoculação em quatro regimes hídricos (0, 33, 66 e 100% da lâmina ideal para o estabelecimento das MPB em campo). Os resultados obtidos indicaram que as bactérias aumentaram a sobrevivência de MPB em campo e a eficiência do uso da água, assim como, resultaram em incremento de variáveis relacionadas ao crescimento radicular e parte aérea. Além disso, a inoculação promoveu maior absorção de nutrientes como N, P, Mn, Zn e Cu, e maior taxa de multiplicação para MEIOSI, concluindo que o uso dessas espécies é uma alternativa promissora no estabelecimento de MPB em campo em condições hídricas restritas.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; disponibilidade hídrica; bactérias promotoras do crescimento vegetal; *Bacillus* spp.; taxa de crescimento.

ABSTRACT

The cultivation of sugarcane is responsible for most of the world's sugar production and plays a significant role in the production of the biofuel ethanol. Conventionally, sugarcane propagation involves planting of stalks. However, due to the high volume of material required, in 2012, Brazilian researchers introduced a new propagation method to the sugarcane scenario, which consists of planting of mini-toletes previously sprouted and acclimated in protected cultivation, which received the name Pre-Sprouted Seedlings (PSS). Although the PSS present several advantages in relation to the conventional method, they are more sensitive in periods of water scarcity, due to the lower quantity of reserves. The use of plant growth promoting bacteria, especially of the genus *Bacillus* spp., has shown positive results regarding the increase of drought stress tolerance in several crops, including sugarcane. However, studies using *Bacillus licheniformis* and *Bacillus subtilis* bacterias to promotes survival of sugarcane PSS under restricted water conditions in the field were not found. Thus, the objective of the present study was to evaluate the survival, water use efficiency, growth, nutrient content, and yield of sugarcane from PSS treated with *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* bacterias under different water regimes. To this end, a field experiment was carried out in a double factorial design (2x4), consisting of the presence and absence of inoculation in four water regimes (0, 33, 66 and 100% of the ideal water level for establishing of PSS in the field. The results obtained reported that the bacteria promoted an increased the survival of PSS in the field and its water use efficiency, as well as increased in variables related to root and shoot growth. In addition, inoculation increased absorption of nutrients such as N, P, Mn, Zn e Cu, and promoted a higher multiplication rate for MEIOSI, concluding that the use of these species is a promising alternative in the establishment of PSS in the field under restricted conditions.

Keywords: *Saccharum* spp.; water availability; plant growth promoting bacteria; *Bacillus* spp.; growth rate.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Precipitação (mm), temperaturas média, máxima e mínima (°C) e irradiância solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) de agosto de 2021 a abril de 2022.....	39
Figura 2 - Sobrevivência de MPB em campo em diferentes regimes hídrico aos 30 DAT.....	48
Figura 3 - Sobrevivência de MPB em campo com e sem inoculação com <i>Bacillus</i> spp. aos 30 DAT.....	48
Figura 4 – Eficiência do uso da água aos 63 DAT em diferentes regimes hídricos, sem e com inoculação.....	49
Figura 5 - Interação dos fatores inoculação e regime hídrico para a variável número de folhas por perfilho (NFP) aos 63 DAT	52
Figura 6 - Interação dos fatores inoculação e regime hídrico para a variável número de folhas por touceira (NFT) aos 126 DAT.....	55
Figura 7 – Massa Seca Total (MST) ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com <i>Bacillus</i> spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D) 100%.....	58
Figura 8 – Partição (%MST) de acúmulo de biomassa de folhas e colmos ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com <i>Bacillus</i> spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D) 100%.....	59
Figura 9 – Área Foliar (AF) ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com <i>Bacillus</i> spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D) 100%.....	60
Figura 10 – Taxa de crescimento absoluto (TCA) ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com <i>Bacillus</i> spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D) 100%.....	61

Figura 11 – Taxa de crescimento relativo (TCR) ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com <i>Bacillus</i> spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D) 100%.....	62
Figura 12 – Taxa assimilatória líquida (TAL) ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com <i>Bacillus</i> spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D) 100%.....	63
Figura 13 – Razão de área foliar (RAF) ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com <i>Bacillus</i> spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D)100%.....	64
Figura 14 – Área foliar específica (AFE) ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com <i>Bacillus</i> spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D) 100%.....	65
Figura 15 – Peso específico da folha (PEF) ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com <i>Bacillus</i> spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D) 100%.....	66
Figura 16 – Interação dos fatores inoculação e regime hídrico para teor foliar de nitrogênio aos 63 DAT.....	67
Figura 17 – Interação dos fatores inoculação e regime hídrico para teor foliar de (A) manganês e (B) zinco aos 63 DAT.....	70
Figura 18 – Interação dos fatores inoculação e regime hídrico para número de colmos por metro (NC) ao final do experimento.....	75
Figura 19 – Interação dos fatores inoculação e regime hídrico para A) toneladas de colmos por hectare (TCH) e B) taxa de multiplicação da Meiosi ao final do experimento.....	76
Figura 20 – Correlação linear de Pearson entre as variáveis que foram influenciadas pela inoculação.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise química do solo da área experimental.....	39
Tabela 2 – Interpretação do coeficiente de correlação.....	47
Tabela 3 – <i>p</i> -Valor obtido pela análise de variância para as variáveis altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), número de perfilhos (NP) e número de folhas por perfilho (NPF) obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) e interação (I x RH) em diferentes dias após o transplântio (DAT).....	50
Tabela 4 – Médias das variáveis altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), número de perfilhos (NP) e número de folhas por perfilho (NPF) obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) em diferentes dias após o transplântio (DAT).....	51
Tabela 5 – <i>p</i> -Valor obtido pela análise de variância para as variáveis comprimento de folhas (CF), largura de folhas (LF), número de folhas por touceira (NFT) e área foliar (AF) obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) e interação (I x RH) em diferentes dias após o transplântio (DAT).....	53
Tabela 6 – Médias das variáveis comprimento de folhas (CF), largura de folhas (LF), número de folhas por touceira (NFT) e área foliar (AF) obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) em diferentes dias após o transplântio (DAT).....	54
Tabela 7 – <i>p</i> -Valor obtido pela análise de variância para as variáveis massa seca de folha (MSF), massa seca de colmo (MSC) e massa seca total (MST) para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) e interação (I x RH) em diferentes dias após o transplântio (DAT).....	56
Tabela 8 – Médias das variáveis massa seca de folha (MSF), massa seca de colmo (MSC) e massa seca total (MST) obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) em diferentes dias após o transplântio (DAT).....	57

Tabela 9 – <i>p</i> -Valor obtido pela análise de variância para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) aos 63 DAT para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) e interação (I x RH).....	67
Tabela 10 – Médias dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) aos 63 DAT obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) em diferentes dias após o transplântio (DAT).....	67
Tabela 11 – <i>p</i> -Valor obtido pela análise de variância para o acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas folhas aos 63 DAT para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) e interação (I x RH).....	68
Tabela 12 – Médias do acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas folhas aos 63 DAT obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) em diferentes dias após o transplântio (DAT).....	68
Tabela 13 – <i>p</i> -Valor obtido pela análise de variância para os teores de boro (B), manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu) aos 63 DAT para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) e interação (I x RH).....	69
Tabela 14 – Médias os teores de boro (B), manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu) aos 63 DAT obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) em diferentes dias após o transplântio (DAT).....	69
Tabela 15 – <i>p</i> -Valor obtido pela análise de variância para o acúmulo de boro (B), manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu) nas folhas aos 63 DAT para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) e interação (I x RH).....	70
Tabela 16 – Médias do acúmulo de boro (B), manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu) nas folhas aos 63 DAT obtidas para os fatores Inoculação (I) e	

Regime hídrico (RH) em diferentes dias após o transplante (DAT).....	71
--	----

Tabela 17 – <i>p</i> -Valor obtido pela análise de variância para as variáveis comprimento de raízes (CR), área superficial (AS), projeção de área (PA), volume de raízes (VR), diâmetro médio (DM), número de bifurcações (Nbif) para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) e interação (I x RH) nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm.....	72
--	----

Tabela 18 – Médias das variáveis comprimento de raízes (CR), área superficial (AS), projeção de área (PA), volume de raízes (VR), diâmetro médio (DM), número de bifurcações (Nbif) obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm.....	73
---	----

Tabela 19 – <i>p</i> -Valor obtido para as variáveis comprimento do colmo (CC), diâmetro do colmo (DC), número de nós (NN), comprimento de entrenós (CE), número de colmos (NC), massa de 10 colmos (M10), toneladas de colmos por hectare (TCH) e taxa de multiplicação (TM) ao final do experimento para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) e interação I x RH.....	74
--	----

Tabela 20 – Médias das variáveis comprimento do colmo (CC), diâmetro do colmo (DC), número de nós (NN), comprimento de entrenós (CE), número de colmos (NC), massa de 10 colmos (M10), toneladas de colmos por hectare (TCH) e taxa de multiplicação (TM) obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) ao final do experimento.....	75
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF	Área Foliar
AFE	Área Foliar Específica
ANOVA	Análise de Variância
APX	Ascorbato-peroxidase
AS	Área Superficial radicular
BPCV	Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal
CAT	Catalase
CE	Comprimento de entrenós
CF	Comprimento de folha
CR	Comprimento radicular
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
CV	Coeficiente de Variação
DAT	Dias após o transplântio
DBC	Delineamento em Blocos Casualizados
DC	Diâmetro do colmo
DM	Diâmetro médio de raízes
EUA	Eficiência do uso da água
ET	Evapotranspiração
GL	Graus de Liberdade
I	Inoculação
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
I x RH	Interação entre os fatores
Kc	Fator de conversão da evapotranspiração
LB	Lâmina Bruta
LF	Largura de folha
M10	Massa de 10 colmos
MEIOSI	Método Interrotacional Ocorrendo Simultaneamente
MO	Matéria Orgânica
MPB	Mudas Pré-Brotadas
MSC	Massa Seca dos Colmos
MSF	Massa Seca das Folhas

MST	Massa Seca Total da Parte Aérea
n	Turno de rega
Nbif	Número de bifurcações radiculares
NC	Número de colmos por metro
NN	Número de nós
NFP	Número de folhas por perfilho
NFT	Número de folhas por touceira
NI	Número inicial de plantas
NP	Número de perfilhos
PA	Projeção de área radicular
PEF	Peso Específico da Folha
pH	Potencial hidrogeniônico
QM	Quadrados Médios
RAF	Razão de Área Foliar
RH	Regimes Hídricos
RL	Regressão Linear
S	Número de plantas que sobreviveram
SB	Soma de Bases
SOD	Superóxido dismutase
SP	Sobrevivência de plantas
SQ	Soma de Quadrados
TAL	Taxa Assimilatória Líquida
TCA	Taxa de Crescimento Absoluto
TCH	Tonelada de colmos por hectare
TCR	Taxa de Crescimento Relativo
TM	Taxa de Multiplicação para MEIOSI
V%	Saturação por Bases
VR	Volume de raízes

LISTA DE SÍMBOLOS

R^2	coeficiente de determinação
%	Porcentagem
°C	graus celsius
m	Metro
dm	Decímetro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
g	Grama
kg	Quilograma
t	Tonelada
ha	Hectare
UFC	unidades formadoras de colônia
CO ₂	gás carbônico
N	Nitrogênio
P	Fósforo
K	Potássio
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
S	Enxofre
Al ³⁺	Alumínio
Cu	Cobre
Fe	Ferro
Mn	Manganês
Zn	Zinco
B	Boro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	REVISÃO DE LITERATURA	28
2.1	A cultura da cana-de-açúcar	28
2.2	Mudas pré-brotadas (MPB).....	29
2.3	Disponibilidade hídrica	31
2.4	Bactérias promotoras do crescimento vegetal – gênero Bacillus spp.....	32
3	MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1	Local, delineamento experimental, material vegetal e tratamentos.....	36
3.2	Condução do experimento	38
3.3	Avaliações.....	39
3.3.1	Sobrevivência de plantas	39
3.3.2	Eficiência do uso da água	39
3.3.3	Variáveis morfológicas da parte aérea	40
3.3.4	Análise de crescimento	41
3.3.5	Variáveis nutricionais	42
3.3.6	Variáveis morfológicas do sistema radicular	43
3.3.7	Produção.....	44
3.4	Análise dos dados.....	44
4	RESULTADOS.....	46
4.1	Sobrevivência de plantas	46
4.2	Eficiência do uso da água	47
4.3	Variáveis morfológicas da parte aérea	47
4.4	Análise de Crescimento.....	56
4.5	Variáveis nutricionais	64
4.5.1	Macronutrientes	64

4.5.2	Micronutrientes	66
4.6	Variáveis biométricas do sistema radicular	69
4.7	Produção	72
4.8	Correlação de Pearson	75
5	DISCUSSÃO.....	77
6	CONCLUSÕES.....	86
	REFERÊNCIAS	87
	APÊNDICE A - Coeficientes de variação (%)	104
	APÊNDICE B - Fórmulas de ajuste das variáveis área foliar (AF) e massa seca total (MST) para análise de crescimento	107
	APÊNDICE C – Análise de variância para a variável Sobrevivência	108

1 INTRODUÇÃO

A cana de açúcar (*Saccharum* spp.) possui grande relevância no setor agrícola mundial (FAO, 2023). A alta concentração de sacarose em seus colmos supre majoritariamente a demanda do setor sucroenergético (Rodrigues et al., 2018). Estima-se que 80% da produção mundial de açúcar seja proveniente da cana-de-açúcar, e para a produção de etanol é a segunda matéria-prima mais utilizada, atrás apenas do milho (Waclawovsky et al., 2010; FAO, 2023). Atualmente, o Brasil ocupa posição de destaque na produção da cultura, com cerca de 610,13 milhões de toneladas de colmos produzidos na safra 2022/23, sendo reconhecido como o maior produtor mundial. Nessa produção, o estado de São Paulo tem grande participação, respondendo por 51% de toda a cana-de-açúcar produzida nacionalmente (CONAB, 2023).

A cana-de-açúcar tem sido reconhecida como uma cultura bioenergética importante devido ao seu rápido crescimento e elevado balanço energético, representando relevante alternativa na produção de biocombustíveis, que substitui o uso de combustíveis fósseis e minimiza o impacto antrópico no planeta (Tilman et al., 2011; Popp et al., 2011; Jungner et al., 2014; Legg, 2021).

Desde o início do cultivo de cana-de-açúcar, a instalação de canaviais ocorreu através do plantio de toletes contendo gemas que proporcionam a brotação de novas plantas (Pinto, 1965; Dinardo-Miranda et al., 2008; Rodrigues et al., 2018). Entretanto, para garantir brotação adequada é necessário grande volume de toletes, que poderiam estar sendo destinados para a produção de açúcar e etanol (Landell et al., 2012). Considerando o grande volume de toletes utilizado no plantio e o aumento da demanda de açúcar e etanol, em 2012, o método de plantio de mudas pré-brotadas (MPB) foi lançado no mercado. Esse método consiste na individualização de gemas em bandejas, com o objetivo de obter a emergência dos brotos antes do plantio, reduzindo em 90% a quantidade de colmos utilizada por área de implantação ou renovação (Landell et al., 2012; Teixeira et al., 2020; Fraga, 2021).

A utilização de MPB para produção de material de propagação tem se destacado pela eficiência promovida pela garantia varietal e melhores condições de sanidade (Landell et al., 2012; Braga et al., 2019; Fluminhan; Fluminhan, 2020; Macan et al., 2020). Com destaque na associação com o sistema de MEIOSI (Método

Interrotacional Ocorrendo Simultaneamente), devido à menor escala de produção e grande vantagem operacional (Barcelos, 1984; Gazola et al., 2017).

No entanto, as MPB possuem menores reservas de nutrientes e água quando comparado ao método convencional de plantio, o que provoca maior sensibilidade a estresses ambientais, em especial à deficiência hídrica (Martins et al., 2015). Assim, no transplante de MPB dos viveiros para o campo é recomendado a suplementação hídrica, sendo que na ausência de irrigação é relatado alta mortalidade de plantas em épocas com baixa pluviosidade (Martins et al., 2015; Teixeira et al., 2020; Otto et al., 2022).

Adicionalmente, devido à permanência em campo durante todo o ano, a cultura da cana-de-açúcar está susceptível as adversidades ambientais durante seu ciclo. A deficiência hídrica é a principal causa de perdas de produtividade da cana-de-açúcar (Taiz; Zeigher, 2017; Rodrigues et al., 2018; CONAB, 2021), sendo o início do desenvolvimento o período mais sensível a escassez hídrica (Silva et al., 2012). Portanto, há grande interesse em agregar soluções ao manejo por meio de tecnologias que amenizem os problemas relacionados à falta de água e aumentem a tolerância de plantas à deficiência hídrica, permitindo a formação de novos canaviais que atendam a demanda de açúcar, biocombustíveis e subprodutos mesmo sob disponibilidade limitada de recursos (Mancosu et al., 2015).

Uma alternativa que tem apresentado resultados positivos é a utilização de bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV). Dentre tantas espécies conhecidas e ainda não descobertas, as mais abundantes são pertencentes ao gênero *Bacillus* (Lamizadeh et al., 2016; Saxena et al., 2020; Michavila et al., 2022). Muitas dessas bactérias apresentaram eficiência em produzir fitohormônios, enzimas antioxidantes e sideróforos, além de agirem na mineralização de nutrientes, fixação de nitrogênio e solubilização de fosfatos (Glick et al., 2007; Vurukonda et al., 2016; Radhakrishnan et al., 2017; Tiwari et al. 2017; Ferreira et al., 2018; Saied et al., 2018; Hashem et al., 2019; Gupta et al., 2022) induzindo tolerância a estresses ambientais, como a deficiência hídrica (Gupta et al., 2022; Fonseca et al., 2022; Lim; Kim, 2013).

Fonseca et al. (2022) demonstraram que a inoculação com *Bacillus subtilis* em cana-de-açúcar resultou em maior concentração de nutrientes como N, P, Mg e S nas plantas, além de maior taxa fotossintética líquida, eficiência no uso da água e desenvolvimento do sistema radicular, o que influenciou diretamente na potencialização do perfilhamento, massa e concentração de sacarose no colmo em

condições de déficit hídrico controlado em casa de vegetação. A resistência ao estresse hídrico também foi induzida por *Bacillus licheniformis* em milho devido ao aumento da eficiência do uso da água, regulação positiva da enzima catalase e maior produção de ACCdeaminase (Akhtar et al., 2020).

A associação de duas espécies de *Bacillus* é uma abordagem promissora na melhoria do crescimento vegetal, dada as particularidades presentes em cada espécie e o aumento do campo de ação e especificidade (Vekataramappa et al., 2022; Brandi et al., 2018). Porém, estudos utilizando a bactéria *Bacillus licheniformis* em conjunto com *Bacillus subtilis* em cana-de-açúcar propagada por MPB em campo não foram encontrados.

Dada a importância da busca pela tolerância de plantas ao estresse hídrico, ao avanço na utilização de MPB na formação de novos canaviais, aos mecanismos biológicos de atuação desses microrganismos em específico, e ao potencial da associação de duas espécies do gênero de *Bacillus*, a hipótese dessa pesquisa é que a aplicação de bactérias *Bacillus licheniformis* e *Bacillus subtilis* durante a formação de MPB no viveiro irá aumentar os índices de sobrevivência e o crescimento das mudas após o transplante no campo, assim como melhorar o status nutricional, resultando em maiores taxas de multiplicação para MEIOSI sob distintos regimes hídricos.

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar a sobrevivência, o crescimento, os teores de nutrientes e a produção de plantas de cana-de-açúcar provenientes de viveiro de MPB tratadas com as bactérias *Bacillus licheniformis* linhagem FMCH001 (DSM32154) e *Bacillus subtilis* linhagem FMCH002 (DSM32155) em diferentes regimes hídricos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), na classificação botânica, pertence à família *Poaceae*. Seu centro de origem é a ilha de Nova Guiné, localizada no oceano Pacífico. A cultura foi introduzida no Brasil pelos colonizadores portugueses por volta de 1520, e permanece até os dias de hoje devido a sua adaptação as condições edafoclimáticas brasileiras e a sua importância econômica e social (RODRIGUES et al., 2018).

A cana de açúcar (*Saccharum* spp.) é uma cultura com grande importância na agricultura mundial (FAO, 2023), em especial no Brasil, que é responsável pela maior parte da produção desta cultura (CONAB, 2023). O interesse na cana-de-açúcar se dá pela alta concentração de sacarose em seus colmos (Blackburn, 1984; Rahman et al., 2016), que possibilita, principalmente, a produção de açúcar e etanol. O açúcar é amplamente utilizado na alimentação humana e na indústria farmacêutica, enquanto o etanol atua no setor de biocombustíveis, com grande demanda no mercado nacional e internacional, principalmente por representar fonte de energia renovável (Matsuoka et al., 2009; Danelon et al., 2023). Além destes produtos, o setor sucroenergético possui capacidade de aproveitar a palha derivada da colheita, o bagaço, o melaço e a vinhaça (Sindhu et al., 2016; Friedrichsen et al., 2023).

O setor sucroenergético influencia aspectos socioeconômicos no país, principalmente nas regiões produtoras de cana-de-açúcar. Essa influência está diretamente ligada à geração de empregos e consequente aumento das receitas municipais e estaduais, sendo fundamental para o crescimento e movimentação da economia brasileira (Gilio et al., 2016).

A disponibilidade hídrica é fator limitante para o crescimento e desenvolvimento de cana-de-açúcar. Por ser uma cultura semi-perene e permanecer em campo durante todo o ano, a cana-de-açúcar fica suscetível a estresse pertinentes a sazonalidade das estações. Em regiões onde a disponibilidade de água é escassa ou irregular é fundamental entender os mecanismos de resposta da planta à falta de água e desenvolver estratégias para mitigar seus efeitos negativos. Nesse sentido, bactérias promotoras do crescimento vegetal podem proporcionar resistência a estresses ambientais como a deficiência hídrica. Várias espécies têm sido amplamente

estudadas em cana-de-açúcar demonstrando resultados promissores no aumento da produtividade e na promoção de resistência a estresses.

A propagação comercial da cana-de-açúcar é assexuada, ou seja, é realizada mediante o uso do colmo cortado em pedaços, chamados de toletes. Estes toletes contêm gemas que permitem a brotação e posterior desenvolvimento da planta. Cada gema possui o potencial de formar um colmo principal de uma touceira (Dillewijn, 1960).

A propagação feita com o uso de toletes dispõe de ótima brotação em condições favoráveis. Porém, em condições inadequadas, a brotação é prejudicada, trazendo muitas falhas para o canavial. Buscando impedir que ocorram as falhas, há a necessidade de maior quantidade de colmos, que poderiam ser utilizados na produção de açúcar e álcool. Considerando a grande demanda de colmos no plantio, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) desenvolveu um método que consiste na multiplicação de mudas previamente brotadas em viveiro (Landell et al., 2012).

2.2 Mudanças pré-brotadas (MPB)

O método de mudas pré-brotadas começou a ser desenvolvido em 2009, por pesquisadores do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), e foi lançado no mercado em 2012. O método consiste na multiplicação das plantas de cana-de-açúcar através do uso de gemas individualizadas, de modo que cada gema saudável origine uma nova planta em campo, que será capaz de emitir perfilhos de forma satisfatória.

Nesse método, a demanda de colmos pode reduzir de 12-20 para 2 t ha⁻¹ (Landell et al., 2012). Além da menor demanda por colmos, o sistema MPB apresenta outras vantagens em relação ao plantio convencional de toletes. Dentre elas, o alto padrão de fitossanidade, maior uniformidade e rápida propagação. As plantas obtidas neste sistema podem ser utilizadas tanto na implantação de viveiros, quanto na renovação e expansão de áreas comerciais (Gomes, 2013).

Para a produção de MPB, as gemas utilizadas devem passar pelos procedimentos fitossanitários rigorosos como nos viveiros tradicionais, com atenção a presença de patógenos e mistura varietal. Portanto, as etapas da produção de MPB são realizadas com critério, objetivando a obtenção de mudas com garantia sanitária. É indicado a utilização de colmos originados de viveiros básicos com 6 a 10 meses de idade. A coleta do material deve ocorrer de forma manual para evitar a danificação

das gemas, a ferramenta de corte deve ser desinfetada com produtos à base de amônia quaternária e a despalha deve ocorrer em local isolado, evitando o transporte de pragas para o viveiro. Após a colheita do material, a primeira etapa é o corte e o preparo dos rebolos. Nesta etapa, os colmos são cortados com guilhotina de lâmina dupla, também frequentemente desinfetada, resultando em minirrebolos de aproximadamente 3 cm. Esse processo permite a seleção das melhores gemas, através da eliminação dos minirrebolos com algum dano ou sintoma de origem patogênica (Landell et al., 2012).

Após o preparo, os minirrebolos passam por tratamento térmico como na instalação de viveiros básicos e por tratamento químico com produtos à base de Azoxistrobina ou Pyraclostrobin a 0,1% na solução. Além desse tratamento, nesta etapa pode-se utilizar promotores do enraizamento, como bactérias rizosféricas, objetivando melhorias no vigor e na sanidade do material. Logo, com o material tratado e desinfetado, a próxima etapa é a fase de brotação (Landell et al., 2012).

Comumente, caixas plásticas são utilizadas com substrato adequado na fase de brotação. As gemas devem estar voltadas para cima e cobertas por substrato. As caixas são mantidas em casa de vegetação a 32°C em um período de 7 a 10 dias, a depender da variedade utilizada (Landell et al., 2012).

Em seguida, as mudas que obtiveram sucesso na brotação são individualizadas e colocadas em tubetes. Os minirrebolos que não emitirem brotação são descartados. Então esse material é mantido em casa de vegetação por 21 dias. Nos primeiros sete dias, recomenda-se o uso de sombrite de 50%. Ao final desta fase, realiza-se a primeira poda foliar para amenizar as perdas de água por transpiração e estimular o desenvolvimento radicular. Em um período anterior ao plantio, as mudas são aclimatadas em pleno solo para melhor adaptação as condições de campo (Pinto et al., 2016). Nesse período, são realizadas podas regularmente para que no momento do plantio, as mudas apresentem baixa área foliar para evitar altas taxas de transpiração (May et al., 2018).

Quando se considera que no momento do plantio em campo, as mudas apresentam pequena área foliar, cutícula fina e baixa disponibilidade de reservas, a sensibilidade ao déficit hídrico é agravado (Sandrini et al., 2021). E como o plantio de MPB pode ocorrer em épocas do ano com baixa pluviosidade (TEIXEIRA et al., 2020), pequenos períodos em restrição hídrica podem levar a morte de mudas, gerando um estande desuniforme e eventual necessidade de replantio, causando maior

investimento e menores produtividades. Portanto, até o momento, no início do estabelecimento de MPB em campo, é indispensável o suprimento hídrico.

2.3 Disponibilidade hídrica

A água possui características singulares que a tornam um solvente de amplo espectro capaz de ser facilmente distribuído por toda a planta. Em grande parte, essas características resultam da sua capacidade de estabelecer ligações de hidrogênio e da natureza polar da molécula da água. Aliado a isso, as paredes celulares possibilitam às células vegetais desenvolverem a pressão de turgor. Essa pressão hidrostática interna é essencial para vários processos fisiológicos, incluindo a expansão celular, abertura estomática e os processos de transporte através de membranas (Barlett et al., 2012; Ali et al., 2022).

Apesar da sua grande demanda pelos vegetais, cerca de 97% da água absorvida pelas raízes é transpirada através da superfície foliar, apenas uma pequena porção permanece na planta para sustentar o crescimento e ser utilizada em reações bioquímicas da fotossíntese e em outros processos metabólicos (Taiz; Zeigher, 2017). Portanto, o processo de transpiração desempenha papel fundamental no funcionamento e na sobrevivência das plantas, permitindo a regulação da temperatura, a absorção e transporte de nutrientes, o processo fotossintético e a integridade estrutural (Gates, 1968; Vadez et al., 2014).

Plantas sob estresse hídrico fecham seus estômatos para evitar a perda de água por transpiração, o que impede a assimilação de CO₂, gera aumento da temperatura foliar que, quando um patamar acima do ótimo para a planta, afeta os fotossistemas e atividades metabólicas, consequentemente interfere na síntese orgânica (Embiale et al., 2016; Shukla et al., 2018).

A água é fundamental em várias reações essenciais, podendo agir como reagente ou substrato. O processo mais afetado pela disponibilidade hídrica é a expansão celular. Na maioria das plantas, a redução do suprimento de água inibe o crescimento do caule e a expansão das folhas, e estimula alongamento das raízes (Smith et al., 2005; Taiz; Zeigher, 2017).

Uma reação imprescindível é a fotólise da água, ponto inicial do processo fotossintético, e influencia diretamente no balanço de carbono. Além disso, ela também é responsável pela hidrólise do amido e de outros açúcares solúveis,

tornando possível o processo de respiração noturna quando não ocorre a produção de carboidratos pela fotossíntese, impedindo a paralisação do crescimento. Outro fator indispensável é a manutenção da turgescência celular, que regula a abertura estomática e possibilita aumento do volume celular, atuando no crescimento vegetal (Kramer; Boyer, 1995).

Por todas essas funções, a disponibilidade hídrica está altamente correlacionada com a produtividade das culturas (Taiz; Zeiguer, 2017), em especial, a cana-de-açúcar. Estima-se que para produzir 1 tonelada de matéria fresca, são necessários no mínimo 188.680 litros de água (Robertson et al., 1997).

Devido seu longo ciclo de crescimento, a cana-de-açúcar permanece em campo durante todo ano e por isso está sujeita a restrições hídricas que impactam seu crescimento e desenvolvimento (Kumar et al., 2021). Períodos de estresse hídrico nas fases iniciais do ciclo da cana-de-açúcar podem causar perdas, chegando a atingir valores maiores que 35% na produção de fitomassa (Inman-Bamber, Smith, 2005). Porém, os estádios de perfilhamento e grande crescimento foram considerados os períodos críticos de demanda de água (Ramesh, 2000).

2.4 Bactérias promotoras do crescimento vegetal – gênero *Bacillus* spp.

As comunidades microbianas que sobrevivem na rizosfera do solo se associam com as plantas e possuem potencial em aumentar a produtividade das culturas e fornecer resistência ao estresse (Glick et al., 2007; Yang et al., 2009). As BPCV representam grande parcela das comunidades microbianas do solo, e têm apresentado resultados no aumento da tolerância à escassez hídrica (Yang et al., 2009; Dimpka et al., 2009; Grover et al., 2010). As principais espécies de BPCV são microrganismos do solo pertencentes aos gêneros: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Actinobacterium*, entre outras (Numan et al., 2018).

As BPCV atuam na resistência ao estresse através de diferentes mecanismos, dentre eles a solubilização de fosfatos minerais, produção de hormônios vegetais, fixação de nitrogênio, mineralização de nutrientes, produção de enzimas antioxidantes e aumento da absorção pelas raízes (Ferreira et al., 2018; Wang et al., 2020).

As BPCV se originam da população residente de plantas epifíticas ou endofíticas e não causam danos às plantas hospedeiras (Sarkar; Reinhold-Hurek, 2014; Pieterse et al., 2016; Basu et al., 2017). Atualmente, muitas delas são utilizadas

visando a promoção do crescimento no tratamento de sementes, em mudas micropropagadas, estacas, tubérculos e raízes. Podem ser utilizadas através da pulverização na parte aérea ou incorporadas ao substrato de plantio (Silva, 2010).

O nível de interação das bactérias promotoras de crescimento depende de vários fatores relacionados com as plantas e com o ambiente de cultivo. Em relação às plantas, pode-se citar o estágio fenológico, a sanidade dos indivíduos e o aspecto nutricional. Já em relação ao ambiente de cultivo, o tipo de solo, o pH e a umidade, além da altitude e a temperatura da região (Santoyo et al., 2021).

Estudos relacionados com os aspectos genômicos das bactérias estão desvendando potenciais fatores genéticos, que deve facilitar a compreensão do seu modo de ação. Além da ação das bactérias na promoção do crescimento vegetal na agricultura, elas possuem potencial de participação em estratégias de limpeza ambiental, ou seja, na fitorremediação (Hardoim et al., 2015).

As bactérias pertencentes ao gênero *Bacillus* estão entre as mais abundantes BPCV no solo e há relatos de que várias espécies desse gênero são tolerantes a restrição hídrica (Pereira et al., 2019; Shukla et al., 2023). Elas contribuem para o equilíbrio hormonal das plantas agindo positivamente nas respostas ao estresse (Tiwari et al., 2017). Hormônios como as auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico, brassinosteroides, ácido salicílico, jasmonatos e etileno, desempenham papel fundamental na regulação de processos de desenvolvimento e atuam na sinalização para a obtenção de respostas contra algum estresse abiótico (Rodrigues et al., 2018).

A inoculação de plantas de milho com *Bacillus* spp. resultou em aumento do comprimento da parte aérea e acúmulo de matéria seca em comparação com plantas não-inoculadas, em condição de estresse hídrico (Vardharajula et al., 2011). Maior acúmulo de matéria seca também foi relatado em plantas de sorgo tratadas com *Bacillus* spp. sujeitas a estresse hídrico (Grover et al., 2014).

Timmusk et al. (2014) relataram que plantas de trigo tratadas com *Bacillus thurigiensis* apresentaram pelos radiculares três vezes mais longos, além de maior densidade de raízes laterais quando submetidas ao estresse hídrico. O aumento no comprimento da raiz pode estar relacionado com maior concentração de auxina em plantas tratadas com BPCV (Contesto et al., 2010).

A resistência ao estresse hídrico foi induzida por *Bacillus licheniformis* em pimenta, devido a produção da enzima ACCdesanimase que foi capaz de reduzir a

concentração de etileno na planta, possibilitando um crescimento normal, o que evidencia a eficiência da espécie em aumentar a tolerância a estresses hídricos nesta cultura (Lim; Kim, 2013).

Foi observado maior acúmulo do aminoácido prolina em mudas de arroz inoculadas com *B. amyloliquefaciens*, submetidas a diferentes tipos de estresse (Tiwari et al., 2017). Normalmente, a constatação do aumento de teores de prolina leva a uma atenuação dos efeitos do estresse hídrico, pela sua capacidade auxiliar no ajuste osmótico das folhas (Filippou et al., 2014). Aumento nos níveis de prolina em condições de estresse hídrico pode ser relacionado com tolerância à seca (Sankar et al., 2007).

A indução do sistema antioxidante está diretamente atrelada com o grau de tolerância à seca (Guo et al., 2006). Aumento na concentração de enzimas antioxidantes como APX, SOD e CAT foram observados em plantas de batata inoculadas com *Bacillus pumilus* e *Bacillus firmus* (Gururani et al., 2012).

Plantas de milho em que as sementes foram inoculadas com *B. licheniformis* apresentaram melhora na eficiência do uso da água, comprovando seu promissor uso como bioestimulante para o aumento da produtividade das culturas em condições de restrição hídrica (Akhtar et al., 2018).

A espécie *Bacillus subtilis* age retardando a senescência ao acumular clorofila, estimulando o desenvolvimento e alongamento das raízes, formando pelos radiculares, e contribuindo para iniciação e expansão foliar (Vurukonda et al., 2016). Ferreira et al. (2018) relataram aumento no teor de água na folha de plantas inoculadas com a bactéria *B. subtilis*, possivelmente pelo incentivo à expansão celular resultante do acúmulo de água. O tratamento com *B. subtilis* juntamente com *B. amyloliquefaciens* na cultura da batata diminuiu o tempo de emergência, aumentou o crescimento das plantas e o rendimento dos tubérculos (Uysal; Kantar, 2019).

Fonseca et al. (2022) relataram que a inoculação com *Bacillus subtilis* pode aprimorar a tolerância de cana-de-açúcar ao estresse hídrico, através da avaliação de variáveis nutricionais, fisiológicas e de crescimento. Plantas inoculadas sob estresse hídrico, em casa de vegetação, apresentaram maiores teores de N, P, Mg e S nas folhas, além de maior concentração de clorofila e taxa fotossintética líquida, o que resultou em maior eficiência do uso da água. A alteração nesses parâmetros resultou em maior desenvolvimento radicular, perfilhamento, massa do colmo e concentração de sacarose no colmo.

A inoculação com *Bacillus* spp. melhorou significativamente as taxas de sobrevivência de mudas micropropagadas em casa de vegetação durante a fase de aclimação. Para o estudo, foram isoladas várias cepas de rizobactérias da rizosfera de cana-de-açúcar, e de acordo com suas características promotoras do crescimento, cepas de *Bacillus* e *Pseudomonas* foram selecionadas. A cepa de *Bacillus* selecionada para o estudo foi capaz de solubilizar fosfatos, produzir fitohormônios e sideróforos (Michavila et al., 2022).

Di et al. (2023) estudaram o efeito de uma cepa de *Bacillus subtilis* em seis variedades de cana-de-açúcar, e observaram que para a maioria das variedades, com exceção de uma, a inoculação com *Bacillus subtilis* foi capaz de aumentar o comprimento do primórdio foliar e radicular de mudas provenientes de gemas em todas as variedades testadas. Os pesquisadores identificaram que a cepa de *B. subtilis* estudada produziu vários ácidos orgânicos, sendo eles: ácido acético, ácido propiônico, ácido málico e ácido cítrico, além disso, foram eficientes na produção de fitohormônios como auxina e giberelina.

Com base nos resultados encontrados por diversos pesquisadores em todo o mundo, fica claro que a inoculação com bactérias do gênero *Bacillus* spp. é relevante no estabelecimento bem-sucedido de plantas em campo, especialmente em condições estressantes às quais a maioria das culturas é exposta. Portanto, a inoculação com duas espécies de *Bacillus* spp. (*Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis*) que já demonstraram potencial de incremento de tolerância, em MPB é uma abordagem promissora no aumento da sobrevivência das plantas no campo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local, delineamento experimental, material vegetal e tratamentos

O experimento foi conduzido em campo, em uma área localizada em Lençóis Paulista, SP, Brasil (22° 47' 03" Sul, 48° 47' 56" Oeste), situada a 687 metros acima do nível do mar.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a IACSP01-5503 por ser considerada rústica e adaptada a ambientes de produção restritivos, e apresentar ganhos industriais em torno de 15% quando comparada com a variedade mais cultivada no Centro-Sul do Brasil (IAC, 2021). O método de propagação utilizado foi o método de mudas pré-brotadas (MPB), produzidas por meio do plantio de gemas extraídas dos colmos em bandejas contendo 54 alvéolos. As mudas estavam com 45 dias e após 7 dias em rustificação, foi realizado o transplante para a área experimental.

As bactérias utilizadas foram *Bacillus licheniformis* linhagem FMCH001 (DSM32154) (mínimo de $1,0 \times 10^{11}$ Unidades Formadoras de Colônia g^{-1}) e *Bacillus subtilis* linhagem FMCH002 (DSM32155) (mínimo de $1,0 \times 10^{11}$ UFC g^{-1}). Nos tratamentos com bactérias a inoculação ocorreu no viveiro com a aplicação através de um regador da solução contendo as bactérias na dosagem de 0,324 g do produto comercial em 1,35 L de volume de calda por bandeja.

O volume de calda foi definido com base no ponto de saturação dos alvéolos das bandejas que correspondeu a 25 mL, e a dose do produto foi estipulada de acordo com a dose recomendada em bula de 200 g ha^{-1} e o espaçamento de plantio, o que possibilitou delimitar a área que cada planta ocuparia em campo.

O solo da área de plantio foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (Santos et al., 2018), e o ambiente de produção como E2 (Prado et al., 2008; Barbosa et al., 2021). A análise granulométrica demonstrou 73,9% de areia, 19,5% de argila e 6,6% de silte, caracterizando um solo de textura média, de acordo com o triângulo de classes texturais (Santos et al., 2018). Foi realizada análise química para as profundidades de 00-20 cm e 20-40 cm antes da instalação do experimento (Tabela 1).

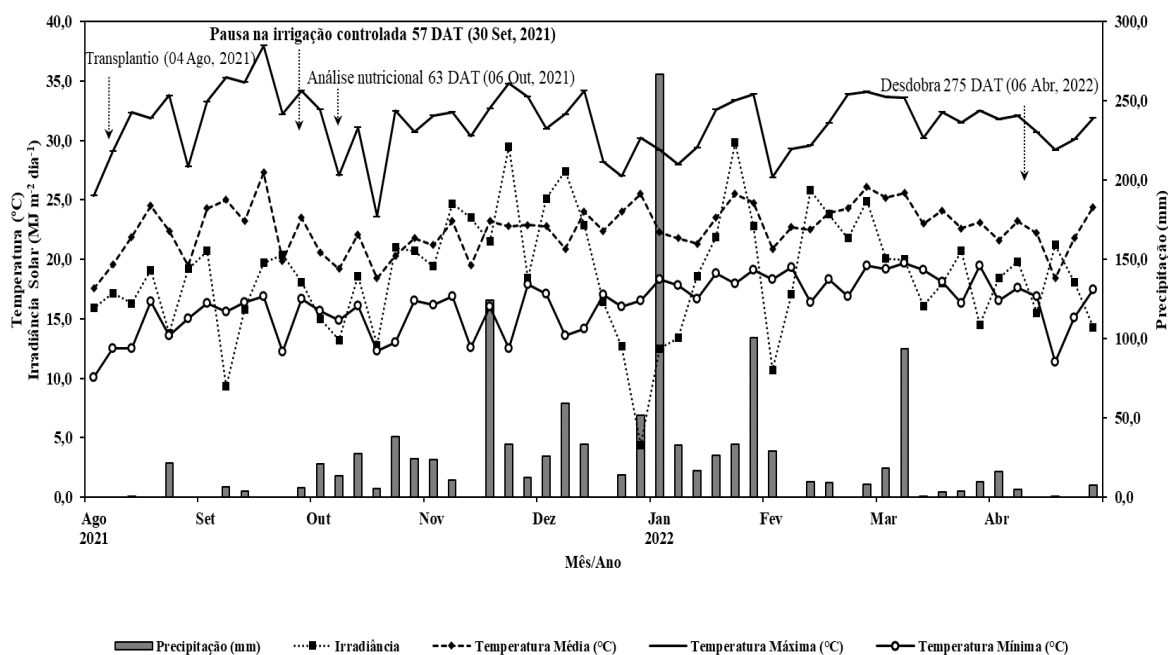
Tabela 1 - Análise química do solo da área experimental

Prof.	pH	MO	Al ³⁺	H ⁺ A	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	P _{re}	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
cm	Ca Cl ₂	gdm ⁻³				mmolcdm ⁻³				%				mg dm ⁻³			
00-20	4,8	12,8	0	20,5	2,3	10	4	16,3	37	43	22	9	0,4	64	6,1	0,4	0,28
20-40	4,6	9,9	0	17,9	2,1	7	3	12,1	30	40	12	7	0,3	63	5,1	0,3	0,31

pH (potencial hidrogeniônico); MO (matéria orgânica); SB (soma de bases); CTC (capacidade de troca catiônica); V% (saturação por bases).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) em faixas (split-block) utilizando um esquema fatorial duplo (2x4), constituído por duas condições de inoculação, com e sem as bactérias *Bacillus licheniformis* e *Bacillus subtilis*, e quatro regimes hídricos (0%, 33%, 66% e 100% da lâmina de irrigação ideal para o estabelecimento e desenvolvimento inicial) até aos 57 DAT, em 4 repetições.

Segundo Köppen, o clima da região é classificado como temperado com inverno seco e verão quente (Cwa). Apresentou uma temperatura média de 22,3 °C e o volume total de precipitação durante o período do experimento foi de 1.059 mm (Figura 1).

Figura 1 - Precipitação (mm), temperaturas média, máxima e mínima (°C) e irradiância solar (MJ m⁻² dia⁻¹) de agosto de 2021 a abril de 2022

Fonte: Dados Meteorológicos – Estação São Manuel-SP

Em relação ao regime hídrico, a quantidade de água ofertada foi definida de acordo com a evapotranspiração estimada da cultura da cana-de-açúcar em estágio inicial, baseando-se na equação 1:

$$\text{Lâmina Bruta (LB)} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{ETci}}{\text{eficiência}} \quad (1)$$

Em que:

LB: lâmina bruta;

n: turno de rega;

ETci: EToi x Kc;

EToi: evapotranspiração obtida em base de dados;

Kc: fator de conversão da cultura em estágio inicial.

Os dados referentes a evapotranspiração (EToi) foram obtidos pela Estação Meteorológica da Estação Experimental de São Manuel – UNESP e o Kc foi utilizado foi 0,79 segundo Marin et al. (2020). Após a determinação da lâmina bruta necessária, eram feitas as proporções respectivas para cada tratamento (0, 33, 66 e 100%). **A oferta de água ocorreu até o dia 30 setembro 2021, isto é, 57 DAT, coincidindo com o início da precipitação frequente (Figura 1).**

3.2 Condução do experimento

A área do experimento foi previamente preparada com uma aração, uma subsolagem e uma gradagem niveladora.

Cada parcela teve as dimensões de 12,5 m de comprimento, com 10 m úteis, e duas linhas espaçadas em 0,5 m, baseando-se nos princípios do Método Interrotacional Ocorrendo Simultaneamente (MEIOSI) (Barcelos, 1984). O transplântio ocorreu no dia 04 de agosto de 2021, com o auxílio de uma plantadora manual, em um espaçamento de 0,6 m entre plantas. As mudas apresentavam quatro folhas totalmente desenvolvidas, sendo que as extremidades foram cortadas mantendo um padrão de 30 cm de comprimento por folha. Essa prática é comum com o objetivo de reduzir a perda de vapor de água por transpiração (Landell et al., 2012).

De acordo com as recomendações de Vitti et al. (2015) para a cultura da cana-de-açúcar e os dados obtidos em análise de solo (Tabela 1), a adubação de plantio

foi realizada com 30 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O, correspondendo a 150 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado 08-40-08, 26 kg ha⁻¹ de ureia e 48 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio. A adubação suplementar de cobertura foi realizada aos 60 DAT com 60 kg ha⁻¹ de N, correspondendo a 130 kg ha⁻¹ de ureia segundo Cantarella et al. (2022).

O manejo de plantas daninhas ocorreu periodicamente de forma manual. E em relação ao manejo de pragas e doenças, não houve a incidência de nenhum patógeno a nível de controle que demandasse a aplicação de defensivos agrícolas.

A colheita ocorreu aos 245 DAT, no dia 06 de abril de 2022, quando as plantas apresentavam uma taxa de multiplicação de 1:8, com a média de 11 gemas por colmo e 10 colmos por metro (CTC, 2017).

3.3 Avaliações

3.3.1 Sobrevivência de plantas

A sobrevivência de plantas (SP) foi avaliada 30 dias após o transplântio (DAT). O número de plantas vivas por parcela no momento da avaliação atrelado ao número total de mudas transplantadas em cada parcela (32 plantas por parcela) possibilitou o cálculo percentual de plantas sobreviventes. Qualquer planta com pelo menos uma folha verde ereta foi considerada sobrevivente e contabilizada para calcular a sobrevivência de planta de acordo com a seguinte equação:

$$Sobrevivência (\%) = \frac{S}{NI} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

S: número de plantas que sobreviveram

NI: número inicial de plantas

3.3.2 Eficiência do uso da água

A eficiência do uso da água foi determinada ao final da oferta de água controlada, aos 63 DAT. Foi definida pela relação entre a produção de matéria seca total neste período (MST) e a quantidade de água aplicada por irrigação somada da precipitação (L), expressa em $g\ m^{-3}$. A equação seguinte foi utilizada no cálculo da EUA:

$$EUA\ (g/m^3) = \frac{MST\ (g)}{L} \quad (3)$$

Em que:

EUA: eficiência do uso da água

MST: massa seca total aos 63 DAT

L: quantidade de água ofertada até 63 DAT + precipitação

3.3.3 Variáveis morfológicas da parte aérea

As avaliações biométricas como altura de colmo (AC), diâmetro de colmo (DC), número de perfilhos (NP), número de folhas por touceira (NFT), número de folhas por perfilho (NFP), comprimento de folha (CF), largura de folha (LF) e área foliar (AF) ocorreram em cinco plantas por parcela a cada 21 dias, em média, após o transplântio. A massa seca total da parte aérea (MST) também foi determinada a cada 21 dias, porém a unidade amostral foram duas plantas escolhidas com base nas variáveis AC e DC.

A AC foi avaliada com o auxílio de fita métrica, medindo-se da base do colmo primário até a inserção da bainha da folha +1, de acordo com a numeração sugerida por Kuijper (Dillewijn, 1952). O DC foi mensurado através de um paquímetro digital (Meter Mall, leitura de 150 mm e 0.1 mm, Marysville, OH, EUA), e as medições foram realizadas no terço inferior do colmo. O NP e NFT foi realizado por meio de contagem direta por touceira. O NFP é resultado da divisão do NFT pelo NP. O CF e a LF foram avaliados com o auxílio de fita métrica na folha +3, de acordo com a numeração sugerida por Kuijper (Dillewijn, 1952). Para MST, as plantas coletadas foram separadas em folhas (MSF) e colmos (MSC) e então submetidas à secagem em estufa a 65 °C até atingirem massa constante e então pesadas em balança (Balmak,

ELC-6/15/30, Santa Barbara d'Oeste, SP, Brasil), com resultados expressos em gramas por planta.

3.3.4 Análise de crescimento

As avaliações para análise de crescimento ocorreram de 27 até 231 DAT, com coletas realizadas a cada 21 dias até o momento da desdobra.

Para fins de análise de crescimento (Radford, 1967), a área foliar (AF) e massa seca (MS) foram avaliadas. A área foliar foi estimada através de medições de comprimento (CF), largura (LF) realizadas na folha +3 e número de folhas verdes (NFT), utilizando a equação 3 (Hermann; Câmara, 1999):

$$AF = LF \times CF \times 0,75 \times (NFT + 2) \quad (4)$$

Para determinação da matéria seca de folhas (MSF), colmos (MSC) e parte aérea total (MST), inicialmente, as plantas foram separadas em folhas (+bainhas) e colmos. Esse material foi submetido à secagem em estufa a 65°C até atingirem massa constante e então pesadas em balança (Balmak, ELC-6/15/30, Santa Barbara d'Oeste, SP, Brasil), com resultados expressos em gramas por planta.

Os dados de MSF, MSC, MST e AF foram utilizados para determinar a taxa de crescimento absoluto (TCA, g dia⁻¹, equação 5), taxa de crescimento relativo (TCR, g g⁻¹ dia⁻¹, equação 6), taxa de assimilação líquida (TAL, g dm⁻² dia⁻¹, equação 7), razão de área foliar (RAF, dm² g⁻¹, equação 8), área foliar específica (AFE, dm² g⁻¹, equação 9) e peso específico da folha (PEF, g dm⁻², equação 10). Os dados de matéria seca e área foliar foram ajustados com o auxílio do programa Anacres (Portes; Castro Junior, 1991) com as fórmulas de ajuste expostas no Apêndice B.

$$TCA = \frac{(MS2 - MS1)}{ND} \quad (5)$$

$$TCR = \frac{(\ln MS2 - \ln MS1)}{ND} \quad (6)$$

$$TAL = \left(\frac{MS2 - MS1}{ND} \right) * \left(\frac{\ln AF2 - \ln AF1}{ND} \right) \quad (7)$$

$$RAF = \frac{AF}{MST} \quad (8)$$

$$AFE = \frac{AF}{MSF} \quad (9)$$

$$PEF = \frac{1}{AFE} \quad (10)$$

Em que:

MS1 e MS2: massa de matéria seca na primeira e segunda época de avaliação;

lnMS1 e lnMS2: logaritmo neperiano da massa de matéria seca da primeira e segunda época de avaliação;

AF: área foliar total da planta;

lnAF1 e lnAF2: logaritmo neperiano da área foliar na primeira e segunda época de avaliação;

MST: matéria seca total da parte aérea;

MSF: matéria seca de folhas;

ND: número de dias entre as avaliações

3.3.5 Variáveis nutricionais

Aos 63 DAT, foram coletadas as folhas de cana-de-açúcar para avaliação nutricional das plantas. Após a lavagem, a porção mediana da folha +1 foi retirada, descartando-se a nervura central da folha, e o material amostrado foi levado para uma estufa de circulação forçada a 65°C até atingir massa constante e, em seguida, triturado em moinho tipo Willey. Os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e boro (B) foram determinados pela metodologia de Malavolta et al. (1997). Os teores de N foram obtidos pelo método de Kjeldahl; P e B foram obtidos por espectrofotometria, K por fotometria de chama; Ca, Mg, Cu, Mn, Zn e Fe foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica; e o S por turbidimetria (Malavolta et al.,1997).

O acúmulo de nutrientes nas folhas foi realizado para todos os nutrientes em que foi determinada a concentração, de acordo com a equação 11.

$$\text{Acúmulo de nutrientes} = \text{MSF (kg)} * \text{Concentração do nutriente (g kg}^{-1}\text{)} \quad (11)$$

Em que:

MSF: Massa Seca das Folhas aos 63 DAT

3.3.6 Variáveis morfológicas do sistema radicular

Aos 243 DAT foi realizada a coleta de raízes para realização de análise de atributos morfológicos. Para isso, foi utilizada a sonda amostradora de raízes, fabricada em aço inox, com as seguintes dimensões: 120 cm de comprimento e 5,08 cm de diâmetro interno, com volume de coleta de aproximadamente 405 cm³ a cada 20 cm de profundidade de sondagem. As sondagens ocorreram paralelamente às linhas de plantio, nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, em duplicata na projeção da linha da cultura e suas laterais, em uma distância de 20 cm das plantas.

As amostras de solo obtidas foram peneiradas em malha de 2 mm, removendo o solo e isolando as raízes por meio da lavagem em água corrente. Para separar as impurezas, o material resultante da lavagem foi colocado em água, e com o auxílio de uma pinça as raízes foram coletadas. As raízes lavadas foram armazenadas em frascos contendo solução de etanol 70%, para evitar sua desidratação. Para análise de morfologia do sistema radicular, as raízes foram dispostas em uma cuba de acrílico de 15 cm de largura por 25 cm de comprimento contendo água, e foram submetidas ao sistema WinRHIZO Pro, 2017 (Regent Inst. Inc) acoplado a um scanner (Perfection V700 Photo, EPSON) para estimativa do comprimento radicular (CR), área superficial (AS), projeção de área (PA), volume de raízes (VR), diâmetro médio (DM) e número de bifurcações (NBif) em quatro profundidades (00-20, 20-40, 40-60, 60-80).

3.3.7 Produção

Para a estimativa de produção, foram mensurados a comprimento do colmo (CC), o diâmetro do colmo (DC), o número de nós (NN), comprimento de entrenós (CE), massa de 10 colmos (M10) e o número de colmos por metro (NC), no momento da colheita, aos 245 DAT. O número de colmos por metro foi contabilizado em dez metros centrais de cada parcela e a massa de 10 colmos foi aferida por balança de célula de carga (STC-02, Tomate, Brasil).

A produtividade de colmos, expressa em toneladas de colmo por hectare (TCH), foi estimada pela metodologia proposta por Landell e Silva (2004), utilizando-se a equação 11, em que d: diâmetro (cm); h: altura (cm); C: colmos por metro; E: espaçamento (m):

$$TCH = (0,007854 \times d^2 \times h \times C) E^{-1} \quad (12)$$

Além disso, também foi determinada a taxa de multiplicação (TM) para plantio manual da MEIOSI de acordo com os fatores de desenvolvimento: número de gemas por colmos e colmos por metro conforme recomendação descrita no Manual técnico de plantio de cana-de-açúcar em MEIOSI (CTC, 2019).

3.4 Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com o teste F. Na presença de diferença estatística, os dados pertinentes ao fator qualitativo (presença e ausência da inoculação com BPCV) foram submetidos ao Teste T ($p \leq 0,05^*$ e $p \leq 0,01^{**}$) e os pertinentes ao fator quantitativo (regimes hídricos) foram submetidos a análise de regressão ($p \leq 0,05^*$ e $p \leq 0,01^{**}$) através do software AgroEstat (AgroEstat, versão 2015, Jaboticabal, SP, Brasil).

Foi realizada análise de coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis que foram influenciadas pela inoculação pelo software R. Com os valores da correlação de Pearson, cada valor de R foi interpretado dentro das seguintes faixas:

Tabela 2 – Interpretação do coeficiente de correlação

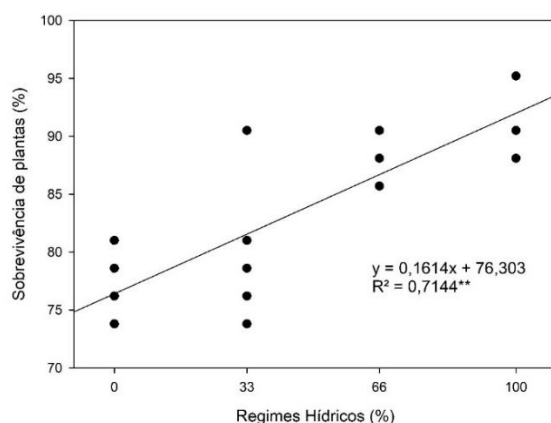
Valor de R (+ ou -)	Interpretação
0,0 a 0,25	Correlação fraca
0,26 a 0,50	Correlação moderada
0,51 a 0,75	Correlação forte
0,76 a 0,89	Correlação muito forte

4 RESULTADOS

4.1 Sobrevivência de plantas

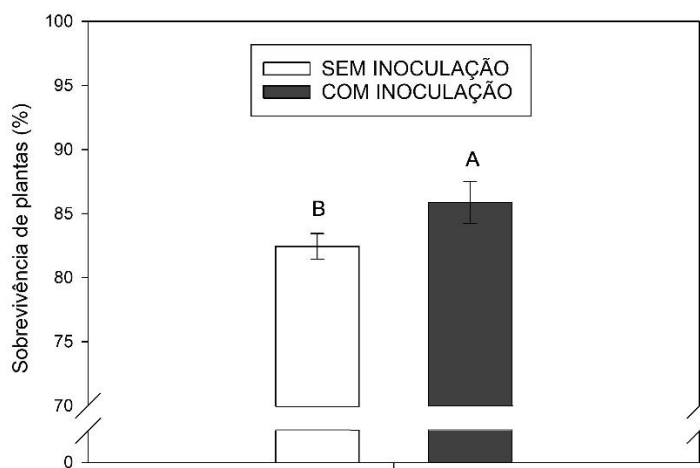
Os diferentes regimes hídricos e a inoculação com BPCV afetaram a SP aos 30 DAT. A oferta de água influenciou o percentual de sobrevivência de MPB em campo, com regressão linear positiva ($p \leq 0,01$, $R^2 = 0,7144$) (Figura 2). A inoculação com BPCV aumentou em 3,13% a sobrevivência de MPB em condições de campo ($p \leq 0,05$) (Figura 3). Não ocorreu interação entre os fatores para essa variável, indicando que houve um ajuste linear altamente significativo com os regimes hídricos em ambas as condições de inoculação.

Figura 2 – Sobrevivência de MPB em campo em diferentes regimes hídrico aos 30 DAT



Letras diferentes indicam diferença entre os tratamentos pelo Teste de T.

Figura 3 – Sobrevivência de MPB em campo com e sem inoculação com *Bacillus* spp. aos 30 DAT

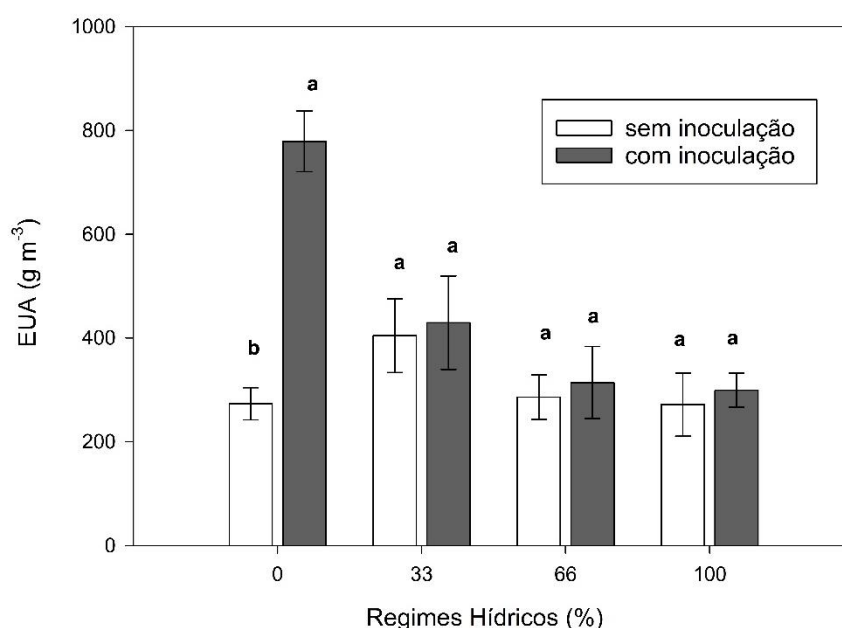


*significativo a 5%; **significativo a 1%.

4.2 Eficiência do uso da água

Houve interação entre os fatores para a eficiência do uso da água. A inoculação foi responsável por aumentar significativamente a EUA na ausência da oferta inicial de água. Nos demais regimes, apesar de maiores médias nominais, não houve diferença significativa.

Figura 4 – Eficiência do uso da água aos 63 DAT em diferentes regimes hídricos, sem e com inoculação



Letras diferentes indicam diferença entre os tratamentos pelo Teste de T.

4.3 Variáveis morfológicas da parte aérea

A análise de variância indicou que o regime hídrico influenciou a AC aos 63, 83 e 145 DAT (Tabela 3). Em todos esses períodos, as médias apresentaram regressão linear significativa com os diferentes regimes (Tabela 4). A inoculação promoveu incremento de 22,24% para altura dos colmos ($p \leq 0,01$) aos 63 DAT, sem influência nas demais avaliações (Tabelas 3 e 4).

Houve efeito dos regimes hídricos sobre DC aos 28, 63, 83, 145, 175 e 231 DAT resultando em ajuste representado por regressão linear (Tabelas 3 e 4). Enquanto a inoculação não influenciou nessa variável (Tabela 3).

Os diferentes regimes hídricos influenciaram o número de perfilhos por planta em diferentes períodos de avaliação, isto é, 63, 83, 105, 175 e 192 DAT, com ajuste

linear significativo ($p \leq 0,01$) (Tabelas 3 e 4). Embora em todos os períodos o número de perfilhos na presença da inoculação tenha sido superior, apenas aos 105 e 145 DAT a diferença foi significativa, com incremento de 13,80% e 25,61%, respectivamente (Tabela 4).

Os regimes hídricos influenciaram o NFP aos 63, 83, 192 e 211, com ajuste linear inversamente proporcional, justamente pelo maior número de perfilhos em condições de maior disponibilidade hídrica inicial (Tabelas 3 e 4). Aos 63 DAT, a interação entre os fatores foi significativa (Tabela 3), indicando efeito do regime hídrico somente na ausência da inoculação, e efeito da inoculação no regime hídrico de 0%, que pelo menor número de perfilhos, plantas não-inoculadas apresentaram maior NFP (Figura 5).

Tabela 3 – p -Valor obtido pela análise de variância para as variáveis altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), número de perfilhos (NP) e número de folhas por perfilho (NPF) obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) e interação (I x RH) em diferentes dias após o transplântio (DAT)

Fontes de Variação	DAT									
	45	63	83	105	126	145	175	192	211	231
AP										
I	0,883	0,003**	0,432	0,168	0,365	0,950	0,325	0,962	0,740	0,770
RH	0,098	0,007**	0,010**	0,276	0,004**	0,039*	0,157	0,120	0,670	0,293
I x RH	0,120	0,090	0,645	0,110	0,170	0,562	0,059	0,382	0,336	0,671
DC										
I	0,610	0,236	0,963	0,588	0,411	0,378	0,069	0,664	0,173	0,498
RH	0,409	0,001**	0,002**	0,074	0,211	0,012*	0,005**	0,277	0,655	0,712
I x RH	0,424	2,810	0,231	0,346	0,059	0,308	0,475	0,868	0,971	0,850
NP										
I	0,213	0,239	0,859	0,045*	0,137	0,031*	0,115	0,258	0,193	0,412
RH	0,126	0,006**	0,008**	0,032*	0,206	0,997	0,003**	0,009**	0,673	0,866
I x RH	0,975	0,227	0,192	0,056	0,171	0,938	0,557	0,188	0,455	0,136
NFP										
I	0,131	0,453	0,116	0,983	0,033*	0,817	0,170	0,780	0,797	0,503
RH	0,428	0,028*	$\leq 0,001^*$	0,072	0,290	0,394	0,111	$\leq 0,001^*$	0,048*	0,021*
I x RH	0,826	0,018*	0,102	0,358	0,165	0,324	0,186	0,393	0,767	0,710

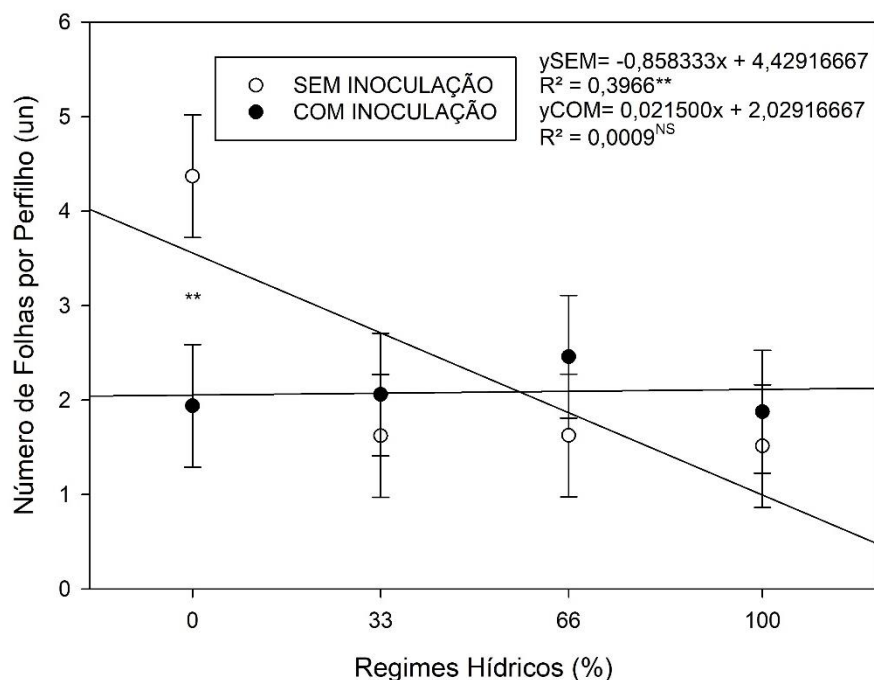
*significativo a 5%; **significativo a 1%. I: inoculação; R: regime hídrico; IxR: interação entre inoculação e regime hídrico.

Tabela 4 – Médias das variáveis altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), número de perfilhos (NP) e número de folhas por perfilho (NFP) obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime hídrico (RH) em diferentes dias após o transplântio (DAT).

Tratamentos	45	63	83	105	126	145	175	192	211	231
I	AP (cm)									
Sem	6,10	7,74 ^B	13,05	21,53	25,74	42,50	84,38	105,00	117,19	134,56
Com	6,16	9,63 ^A	13,55	20,21	27,27	42,34	75,56	105,44	114,88	131,63
RH										
0%	5,68	6,63	9,94	20,25	23,68	38,56	71,75	98,50	113,25	130,90
33%	6,23	9,68	13,29	21,11	26,74	44,63	78,13	100,00	118,75	132,54
66%	6,38	9,01	14,31	20,25	27,58	40,63	79,50	112,13	109,38	124,36
100%	6,23	9,41	15,65	21,88	29,53	45,88	90,50	110,25	122,75	144,58
R ² - RL	NS	0,14*	0,39**	NS	0,27**	0,12*	NS	NS	NS	NS
I	DC (mm)									
Sem	4,93	6,72	9,84	12,47	19,14	19,20	26,95	28,41	29,71	30,07
Com	5,10	7,30	9,80	12,06	19,64	20,22	27,48	28,28	30,48	30,87
RH										
0%	4,80	5,48	8,44	12,90	18,59	18,72	26,38	26,76	28,98	30,49
33%	4,85	7,07	9,65	11,49	18,87	19,11	26,21	28,87	30,49	30,30
66%	5,10	7,48	9,76	11,52	19,66	18,74	26,10	27,18	30,08	29,99
100%	5,33	8,00	11,44	13,16	20,45	22,26	30,15	30,57	30,84	31,11
RL – R ²	NS	0,46**	0,28**	NS	NS	0,18*	0,21**	NS	NS	NS
I	NP (un planta ⁻¹)									
Sem	2,25	4,25	9,13	10,00 ^B	11,50	12,69 ^B	10,00	9,75	6,69	8,31
Com	2,69	3,94	10,50	11,38 ^A	13,19	15,94 ^A	11,25	10,88	7,88	8,94
RH										
0%	2,25	2,38	8,75	10,13	10,75	14,13	8,75	9,00	7,25	8,38
33%	2,50	4,38	9,25	10,00	12,13	14,38	10,50	9,88	6,88	8,38
66%	2,25	4,50	9,50	10,25	13,50	14,38	11,88	10,88	7,25	8,63
100%	2,88	5,13	11,75	12,38	13,00	14,38	11,38	11,50	7,75	9,13
RL – R ²	NS	0,46**	0,28**	NS	NS	0,18*	0,21**	NS	NS	0,15*
I	NFP (un perfilho ⁻¹)									
Sem	2,61	2,28	2,44	3,72	3,80 ^A	3,57	3,75	4,16	6,68	4,65
Com	1,81	2,08	2,57	3,72	3,42 ^B	3,42	4,01	4,08	6,49	4,55
RH										
0%	2,15	3,16	2,01	3,45	3,38	3,07	3,73	5,19	7,17	5,00
33%	2,35	1,84	1,82	3,59	3,57	3,33	3,78	4,38	6,69	4,87
66%	2,44	2,04	3,37	4,41	3,46	3,80	3,66	3,78	6,49	4,13
100%	1,90	1,69	2,82	3,43	4,03	3,78	4,35	3,13	5,99	4,37
RL – R ²	NS	0,15*	0,32**	NS	NS	NS	NS	0,62**	0,13*	NS

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste T. *significativo a 5%; **significativo a 1%; NS não significativo; I: inoculação; RH: regime hídrico; IxR: interação entre inoculação e regime hídrico; RL: regressão linear; R²: coeficiente de determinação.

Figura 5 – Interação dos fatores inoculação e regime hídrico para a variável número de folhas por perfilho (NFP) aos 63 DAT



Barras de erro representam a diferença mínima significativa. **significativo a 1%; ^{NS}não significativo.

Os regimes hídricos influenciaram o comprimento de folhas aos 63, 83, 126 e 145 DAT, com ajuste linear significativo (Tabelas 5 e 6). Enquanto a inoculação influenciou aos 45 DAT, com maior comprimento de folha na presença da inoculação com BPCV (Tabelas 5 e 6).

Assim como no comprimento, os regimes influenciaram a largura das folhas aos 63, 83, 126, 145, 175, 192 e 211 DAT com ajuste linear em relação a oferta de água inicial (Tabelas 5 e 6).

A maior oferta de água resultou em maior NFP, com ajuste linear significativo de $p \leq 0,01$ aos 45, 63, 83 e 175 DAT e de $p \leq 0,05$ aos 105, 126 e 192 DAT (Tabelas 5 e 6).

Inicialmente, aos 45 DAT, a inoculação com BPCV promoveu maior NF (Tabelas 5 e 6). Assim como o número de perfilhos, a inoculação resultou em maiores médias no decorrer do ciclo, entretanto foi detectada significância aos 175 e 211 DAT. Aos 105 DAT, a interação entre os fatores foi significativa, demonstrando que apesar da inoculação ter resultado em maiores médias para todos os regimes estudados, somente nos regimes 33 e 100% o aumento foi significativo (Tabela 5 e Figura 6). O efeito dos

regimes foi semelhante na ausência e na presença da inoculação, com as menores médias para a menor oferta de água inicial (Figura 6).

A AF é resultante das variáveis anteriores, portanto como os regimes hídricos exerceram influência nas variáveis biométricas foliares, a AF resultou em ajuste linear significativo até os 192 DAT (Tabelas 5 e 6). Embora a inoculação tenha influenciado as variáveis biométricas foliares em outros períodos durante o ciclo, no caso da AF, somente aos 45 DAT a influência da inoculação foi significativa, resultando em maior AF na presença da BPCV (Tabelas 5 e 6).

Tabela 5 – *p*-Valor obtido pela análise de variância para as variáveis comprimento de folhas (CF), largura de folhas (LF), número de folhas por touceira (NFT) e área foliar (AF) obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) e interação (I x RH) em diferentes dias após o transplântio (DAT)

Fontes de Variação	DAT									
	45	63	83	105	126	145	175	192	211	231
CF										
I	0,032*	0,645	0,300	0,559	0,980	0,630	0,219	0,792	0,214	0,337
RH	0,824	0,039*	0,045*	0,637	0,137	0,189	0,102	0,227	0,275	0,387
I x RH	0,471	0,307	0,522	0,861	0,533	0,272	0,626	0,851	0,386	0,297
LF										
I	0,120	0,778	0,288	0,406	0,706	0,107	0,117	0,534	0,608	0,109
RH	0,914	≤0,001*	0,068	0,525	0,033*	0,007**	≤0,001*	≤0,001*	≤0,001**	0,160
I x RH	0,411	0,240	0,312	0,792	0,312	0,138	0,555	0,641	0,752	0,755
NFT										
I	0,017*	0,391	0,088	0,087	0,559	0,115	0,011*	0,199	0,029*	0,250
RH	≤0,001*	0,002**	≤0,001*	≤0,001**	0,020*	0,016*	≤0,001*	0,022*	0,271	0,505
I x RH	0,515	0,873	0,082	0,0371*	0,877	0,213	0,303	0,254	0,553	0,423
AF										
I	0,011*	0,542	0,172	0,056	0,635	0,217	0,026*	0,130	0,171	0,094
RH	0,245	≤0,001*	≤0,001*	0,013	0,004*	0,005**	0,007**	0,897	0,876	0,570
I x RH	0,263	0,657	0,116	0,599	0,924	0,221	0,546	0,273	0,542	0,542

*significativo a 5%; **significativo a 1%. I: inoculação; RH: regime hídrico; IxR: interação entre inoculação e regime hídrico.

Tabela 6 – Médias das variáveis comprimento de folhas (CF), largura de folhas (LF), número de folhas por touceira (NFT) e área foliar (AF) obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) em diferentes dias após o transplante (DAT)

(continua)

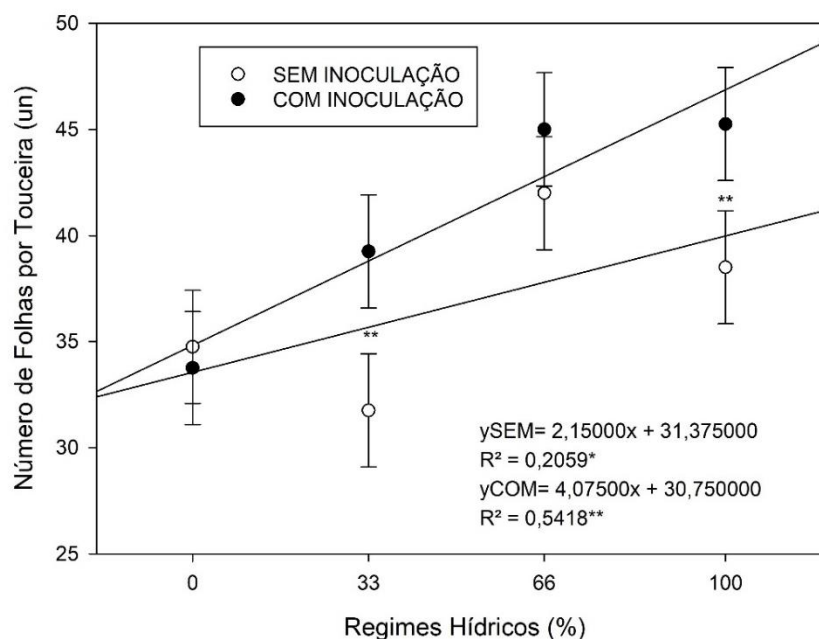
Tratamentos	45	63	83	105	126	145	175	192	211	231
I	CF (cm)									
Sem	35,34 ^B	54,71	67,47	82,28	100,17	107,31	129,06	138,48	147,69	142,80
Com	40,27 ^A	56,04	70,91	84,44	100,03	112,38	125,25	138,00	142,53	145,75
RH										
0%	36,70	50,01	59,50	83,50	90,31	102,75	123,50	138,69	146,13	142,90
33%	37,86	51,70	67,38	82,44	101,25	110,13	125,75	140,53	150,44	144,75
66%	37,60	58,79	71,88	81,88	98,53	103,38	121,63	132,06	137,38	143,65
100%	39,07	61,00	78,00	85,63	110,31	123,13	137,75	141,69	146,50	142,90
R ² - RL	NS	0,28**	0,39**	NS	0,20*	NS	0,13*	NS	NS	NS
I	LF (cm)									
Sem	1,19	1,56	1,71	2,02	2,33	2,57	3,01	2,95	3,54	3,99
Com	1,24	1,54	1,78	2,06	2,38	2,74	3,20	3,01	3,54	3,73
RH										
0%	1,21	1,28	1,46	2,01	2,20	2,53	2,88	2,73	3,15	3,61
33%	1,19	1,48	1,83	2,01	2,29	2,48	2,88	2,80	3,69	3,79
66%	1,22	1,71	1,85	2,09	2,45	2,69	3,04	3,03	3,31	4,04
100%	1,24	1,75	1,85	2,04	2,46	2,93	3,64	3,38	4,03	4,00
RL - R ²	NS	0,63**	0,20**	NS	0,15*	0,25*	0,32**	0,41**	0,30**	NS
I	NFT (un touceira ⁻¹)									
Sem	5,08 ^A	6,94	22,63	36,75	42,75	42,63	37,38 ^B	39,19	43,50 ^B	37,06
Com	4,75 ^B	7,25	26,81	40,94	44,75	52,88	45,00 ^A	42,94	50,06 ^A	41,88
RH										
0%	4,33	6,00	17,00	34,25	36,13	41,75	32,13	45,63	51,00	42,00
33%	5,04	7,13	16,88	35,50	42,38	45,75	40,25	41,63	45,25	40,75
66%	4,96	7,63	31,50	43,75	46,88	49,75	43,13	41,13	46,50	35,63
100%	5,33	7,63	33,50	41,88	49,63	53,75	49,25	35,88	44,38	39,50
RL - R ²	0,34**	0,27**	0,52**	0,32*	0,17*	0,19*	0,36**	0,26*	NS	NS
I	AF (dm ²)									
Sem	2,25 ^B	5,88	2,30.10 ¹	4,84.10 ¹	8,03.10 ¹	9,36.10 ¹	1,19.10 ²	1,25.10 ²	2,10.10 ²	1,66.10 ²
Com	2,51 ^A	6,15	2,84.10 ¹	5,62.10 ¹	8,71.10 ¹	1,29.10 ²	1,46.10 ²	1,40.10 ²	2,33.10 ²	1,79.10 ²

Tabela 6 – Médias das variáveis comprimento de folhas (CF), largura de folhas (LF), número de folhas por touceira (NFT) e área foliar (AF) obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) em diferentes dias após o transplante (DAT)

Tratamentos	(conclusão)									
	45	63	83	105	126	145	175	192	211	231
0%	2,09	3,84	1,28.10 ¹	4,57. 10 ¹	5,75.10 ¹	8,55.10 ¹	9,09.10 ¹	1,35.10 ²	2,13.10 ²	1,71.10 ²
33%	2,36	5,25	1,78. 10 ¹	4,74. 10 ¹	7,83.10 ¹	9,74.10 ¹	1,16.10 ²	1,29.10 ²	2,22.10 ²	1,75.10 ²
66%	2,38	7,25	3,30. 10 ¹	5,87.10 ¹	9,13.10 ¹	1,06.10 ²	1,27.10 ²	1,29.10 ²	2,18.10 ²	1,63.10 ²
100%	2,69	7,72	3,91.10 ¹	5,76.10 ¹	1,08.10 ¹	1,55.10 ²	1,95.10 ²	1,35.10 ²	2,32.10 ²	1,81.10 ²
RL – R ²	0,20*	0,61**	0,58**	0,19*	0,26**	0,30**	0,44**	NS	NS	NS

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste T. *significativo a 5%; **significativo a 1%; NS não significativo; RL: regressão linear; R²: coeficiente de determinação.

Figura 6 – Interação dos fatores inoculação e regime hídrico para a variável número de folhas por touceira (NFT) aos 105 DAT



Barras de erro representam a diferença mínima significativa. *significativo a 5%; **significativo a 1%.

A diferentes ofertas hídricas no início do ciclo influenciaram a MSF aos 63, 105 e 175 DAT com ajuste linear significativo ($p \leq 0,01$) (Tabelas 7 e 8). Enquanto a MSC apresentou ajuste linear em todos os períodos até os 192 DAT ($p \leq 0,01$), o que interferiu diretamente na MST, demonstrando que os regimes hídricos influenciaram a MST (Tabelas 7 e 8). A inoculação resultou em maior MSF aos 145 e 211 DAT ($p \leq 0,05$), e em

maior MSC aos 45 e 231 DAT. Em relação a MST, apenas aos 45 DAT, a inoculação promoveu incremento significativo (Tabelas 7 e 8).

Tabela 7 – *p*-Valor obtido pela análise de variância para as variáveis massa seca de folha (MSF), massa seca de colmo (MSC) e massa seca total (MST) para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) e interação (I x RH) em diferentes dias após o transplântio (DAT)

Fontes de Variação	DAT									
	45	63	83	105	126	145	175	192	211	231
MSF										
I	0,094	0,180	0,458	0,126	0,359	0,351*	0,071	0,238	0,029*	0,091
RH	0,476	0,006**	0,648	≤0,001**	0,371	0,066	0,006**	0,513	0,106	0,555
I x RH	0,955	0,605	0,233	0,314	0,822	0,340	0,063	0,681	0,475	0,805
MSC										
I	0,049*	0,360	0,826	0,233	0,868	0,452	0,263	0,546	0,144	0,039*
RH	0,002**	0,045*	≤0,001**	0,018*	0,001**	0,001* *	0,002**	0,001* *	0,519	0,556
I x RH	0,504	0,581	0,691	0,196	0,788	0,976	0,408	0,257	0,221	0,687
MST										
I	0,038*	0,203	0,239	0,190	0,503	0,181 0,002*	0,115	0,85 0,001*	0,053	0,539
RH	0,226	0,005**	0,091	0,003**	0,004**	* 0,002**	0,002**	* 0,001*	0,349	0,017*
I x RH	0,969	0,608	0,307	0,216	0,732	0,545	0,079	0,297	0,386	0,805

*significativo a 5%; **significativo a 1%.

Tabela 8 – Médias das variáveis massa seca de folha (MSF), massa seca de colmo (MSC) e massa seca total (MST) obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) em diferentes dias após o transplântio (DAT)

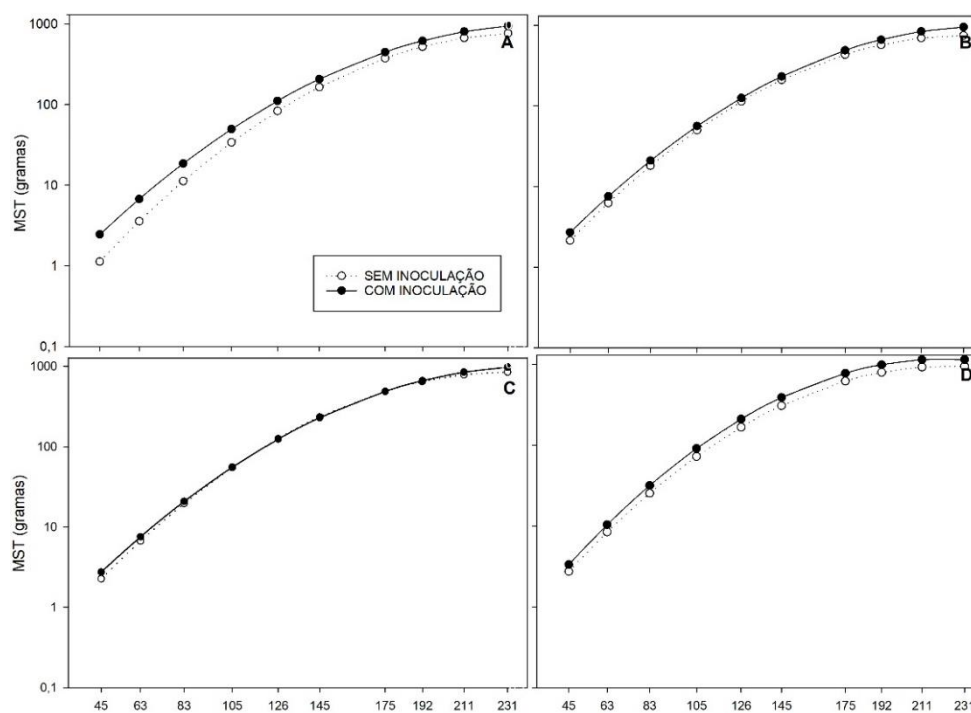
Tratamentos	45	63	83	105	126	145	175	192	211	231
I	MSF (g)									
Sem	0,74	1,65	4,57	13,03	29,70	90,56	127,38 ^B	148,77	192,00	135,97 ^B
Com	0,83	2,32	5,75	15,28	37,72	99,56	155,89 ^A	181,14	223,81	195,43 ^A
RH										
0%	0,65	1,72	3,20	12,35	25,06	85,38	131,42	130,64	194,50	149,51
33%	0,67	1,86	5,17	14,52	28,25	91,63	133,63	151,90	194,75	148,62
66%	0,86	1,97	5,20	13,74	27,44	94,63	133,60	159,16	218,38	177,54
100%	0,97	2,38	7,08	16,03	54,09	108,63	167,89	218,14	224,00	187,11
R ² - RL	NS	0,28**	NS	0,33**	0,34**	NS	0,40**	NS	NS	NS
I	MSC (g)									
Sem	0,38 ^B	1,18	3,72	39,50	74,25	104,37	170,01	367,99	764,64	802,96 ^B
Com	0,54 ^A	1,48	3,97	51,73	76,63	120,75	200,28	412,36	632,09	924,61 ^A
RH										
0%	0,23	1,03	1,52	25,55	52,00	75,38	136,47	282,84	651,56	202,96
33%	0,44	1,21	3,01	43,68	60,63	98,40	140,70	341,71	667,03	209,60
66%	0,46	1,57	3,88	43,61	63,63	105,20	182,58	352,55	667,85	223,30
100%	0,69	1,50	6,97	69,63	125,50	171,26	280,83	583,59	817,03	240,29
RL – R ²	0,28* *	0,13*	0,54**	0,31*	0,41**	0,47**	0,39**	0,36**	NS	NS
I	MST (g)									
Sem	2,01 ^B	5,75	16,75	69,21	164,81	231,76	318,42	559,99	768,06	1006,31
Com	2,86 ^A	7,23	19,26	89,45	176,19	276,63	381,42	636,17	960,06	1159,34
RH										
0%	1,92	4,23	13,87	50,61	137,38	206,80	267,11	477,34	801,08	998,66
33%	2,31	6,38	17,54	71,93	152,25	232,03	292,60	536,47	805,65	1016,76
66%	2,42	6,77	17,62	71,05	158,25	238,80	341,74	570,93	845,39	1068,76
100%	3,07	8,58	23,00	123,72	234,13	339,14	498,96	807,59	1004,14	1247,69
RL – R ²	0,17*	0,30**	0,20*	0,34**	0,37**	0,40**	0,49**	0,34**	NS	NS

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste T. *significativo a 5%; **significativo a 1%;
^{NS} não significativo; RL: regressão linear; R²: coeficiente de determinação.

4.4 Análise de Crescimento

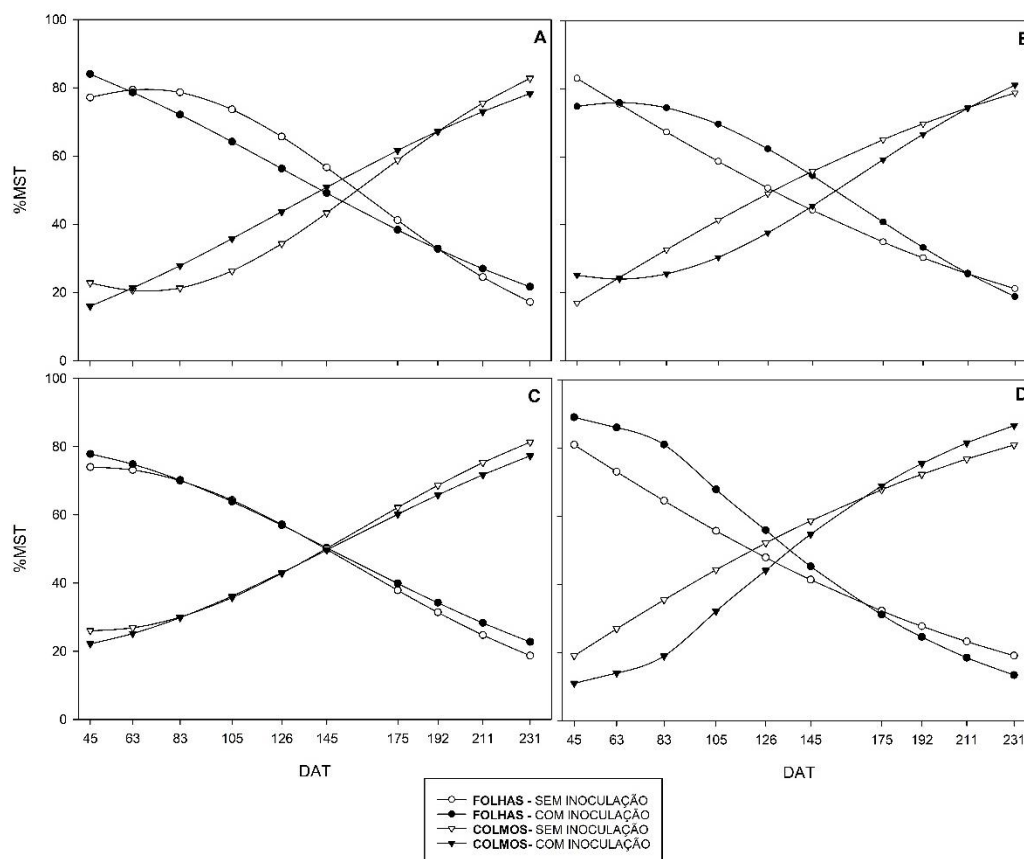
A massa seca total é parâmetro básico para a determinação dos índices morfofisiológicos da análise de crescimento. Demonstrar como foi o comportamento dessa variável ao longo do ciclo traz respostas para interpretação dos resultados associados a esses índices. Vale ressaltar que os resultados exibidos nesse item foram corrigidos pelas fórmulas de ajuste contidas no Apêndice B. A figura 7 demonstra um comparativo entre a presença e a ausência da inoculação nos diferentes regimes de água inicialmente fornecidos. Observa-se uma maior biomassa inicial até os 83 DAT na presença da inoculação em todos os regimes analisados. A predominância da maior biomassa na presença da inoculação persiste até o final do experimento para os regimes de 0%, 33% e 100%. Entretanto, no regime de 66%, não se observa diferença entre os tratamentos após 83 DAT (Figura 7C). Destaca-se que, no regime de 0%, a disparidade entre as condições de inoculação torna-se mais evidente em comparação com os demais regimes.

Figura 7 – Massa Seca Total (MST) ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com *Bacillus* spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D) 100%



A Figura 8 ilustra a distribuição percentual da biomassa entre folhas e colmos ao longo do experimento, em porcentagem. Em termos gerais, a mudança na alocação de recursos das folhas para os colmos ocorreu em média por volta de 126 a 145 DAT. Nos regimes 33% e 100%, essa inversão ocorreu alguns dias mais cedo para as plantas não-inoculadas, enquanto as plantas inoculadas mantiveram maior alocação para as folhas por um período adicional. Esta alocação prolongada para as folhas resultou em uma maior proporção de biomassa destinada aos colmos ao final do experimento (231 DAT). Inicialmente, aos 45 DAT, as plantas apresentaram uma proporção, em média, de 80/20 para folhas. No entanto, nos regimes 0%, 66% e 100%, as plantas inoculadas direcionaram maior porcentagem de assimilados para as folhas em comparação com as plantas não inoculadas. No regime de 66%, não foram observadas diferenças contrastantes entre a presença e a ausência da inoculação (Figura 8C).

Figura 8 – Partição (%MST) de acúmulo de biomassa de folhas e colmos ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com *Bacillus* spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D) 100%

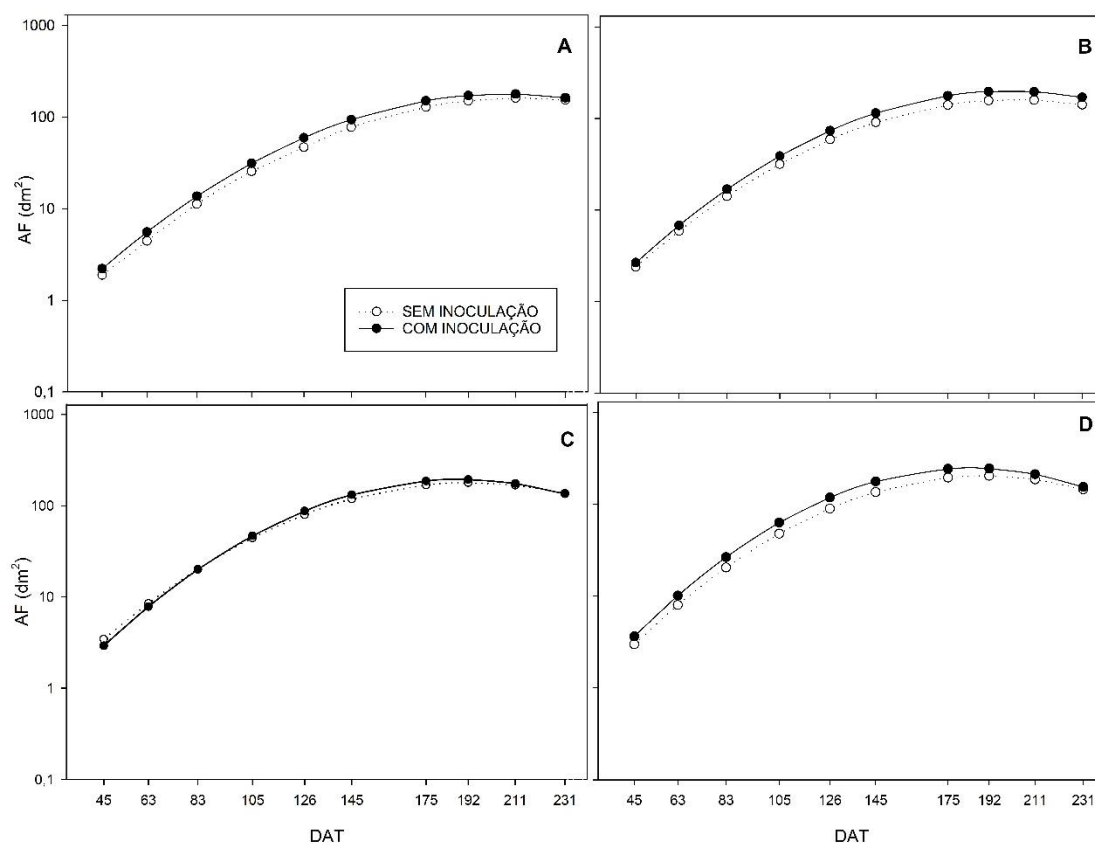


Assim como a MST, a AF é parâmetro básico para a determinação dos índices morfofisiológicos. Portanto, conhecer o comportamento dessa variável auxilia na interpretação dos índices obtidos pela análise de crescimento.

Observou-se curvas com padrão de comportamento semelhante para os tratamentos. No entanto, destaca-se que as plantas inoculadas sobressaíram ligeiramente em relação as não-inoculadas

Na última avaliação, todas as plantas apresentavam dimensões de área foliar semelhantes, com exceção no regime de 33%, que as plantas inoculadas se mantiveram sobressaindo em relação as não-inoculadas.

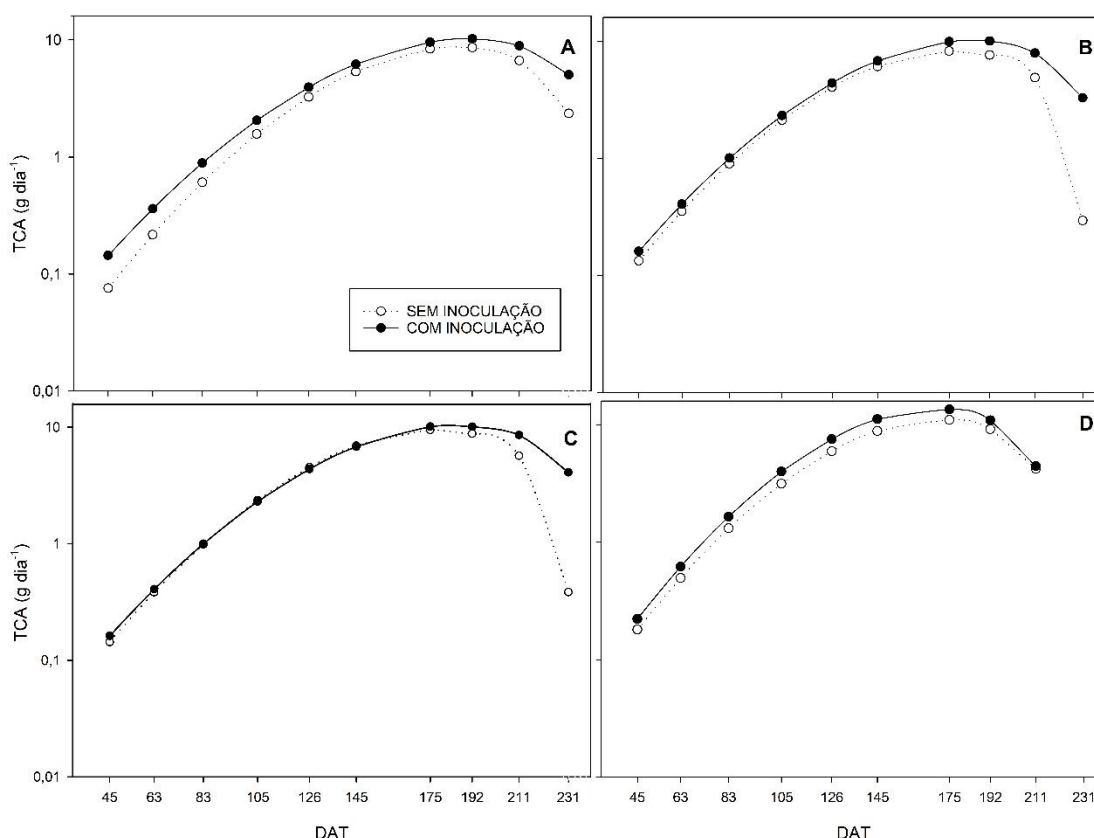
Figura 9 – Área Foliar (AF) ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com *Bacillus* spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D) 100%



De acordo com TCA, a máxima taxa de crescimento da cultura, em geral, ocorreu aproximadamente aos 180 DAT (Figura 10). No regime com ausência e 33% da irrigação inicial, observa-se que a inoculação com as bactérias do gênero *Bacillus* spp. promoveu maior TCA durante todo o período do experimento (Figura 10A e 10B), com maior diferença aos 192 DAT, quando no regime de 0%, as plantas inoculadas

atingiram $10,21 \text{ g dia}^{-1}$, e as plantas sem inoculação $8,60 \text{ g dia}^{-1}$, e no regime de 33%, com incremento de $2,42 \text{ g dia}^{-1}$ aos 192 DAT na presença da inoculação. No regime inicial de 66%, a inoculação resultou em maior TCA a partir de 145 DAT (Figura 10C). Enquanto para o regime hídrico inicial adequado (100%), a inoculação promoveu maior TCA até aos 211 DAT, seguido de decréscimo acentuado nesse parâmetro aos 231 DAT, tanto na presença quanto na ausência da inoculação. Todos os tratamentos decresceram a velocidade de crescimento aos 211 DAT, com decréscimo mais acentuado para plantas não-inoculadas nos regimes de 33% e 66%.

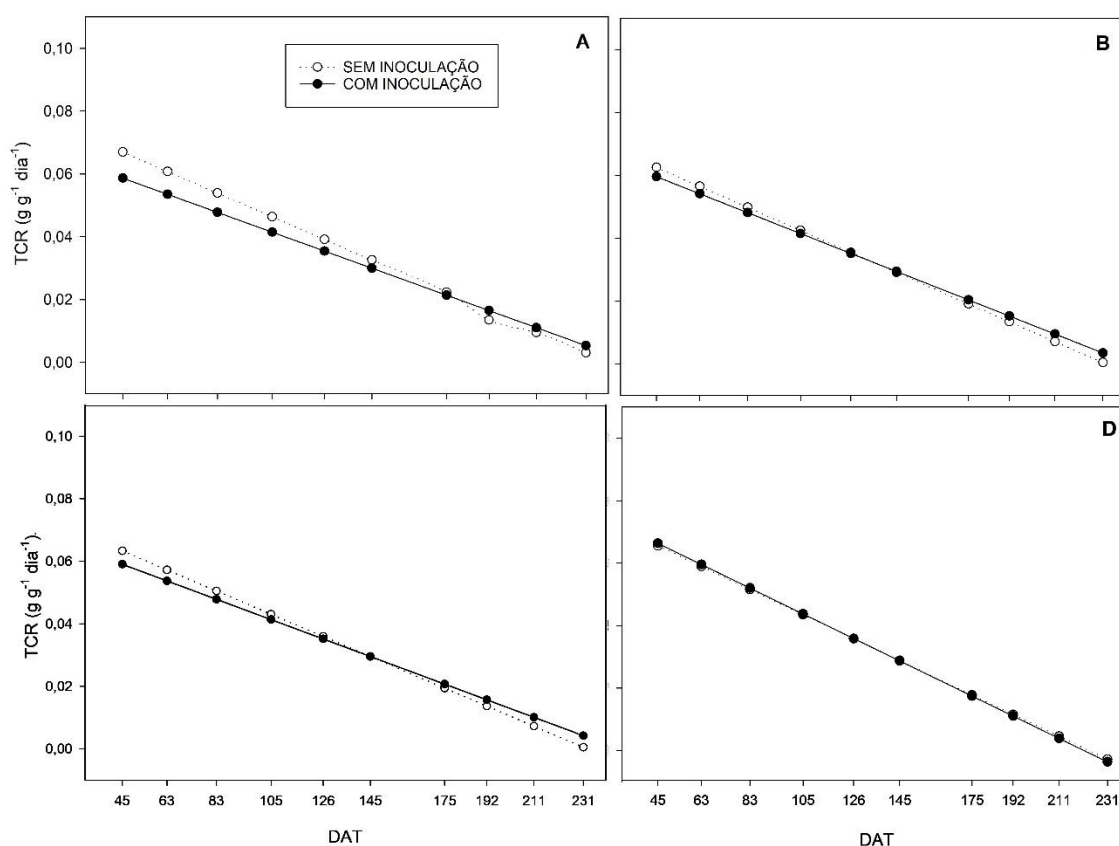
Figura 10 – Taxa de crescimento absoluto (TCA) ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com *Bacillus* spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D) 100%



A TCR demonstra o quanto a planta cresceu a partir da quantidade de massa seca já existente. Para esse parâmetro, nota-se comportamento decrescente ao longo do experimento para todos os tratamentos. Comparando os regimes, observa-se aproximação entre as curvas que representam a inoculação à medida que a oferta

hídrica inicial é aumentada. No regime de 0% as plantas não inoculadas apresentaram maior TCR até 192 DAT, neste momento há uma inversão e as plantas inoculadas apresentam maior TCR até 231 DAT (Figura 11A). O mesmo comportamento ocorreu no regime de 33%, entretanto a inversão ocorreu aos 175 DAT (Figura 11B). Já no regime de 66%, não é possível observar diferença nítida entre a presença e a ausência da inoculação até 175 DAT, quando a partir daí as plantas inoculadas se sobressaem (Figura 11C). E no regime de 100% nota-se valores muito próximos no que diz respeito a ausência e presença da inoculação (Figura 1D).

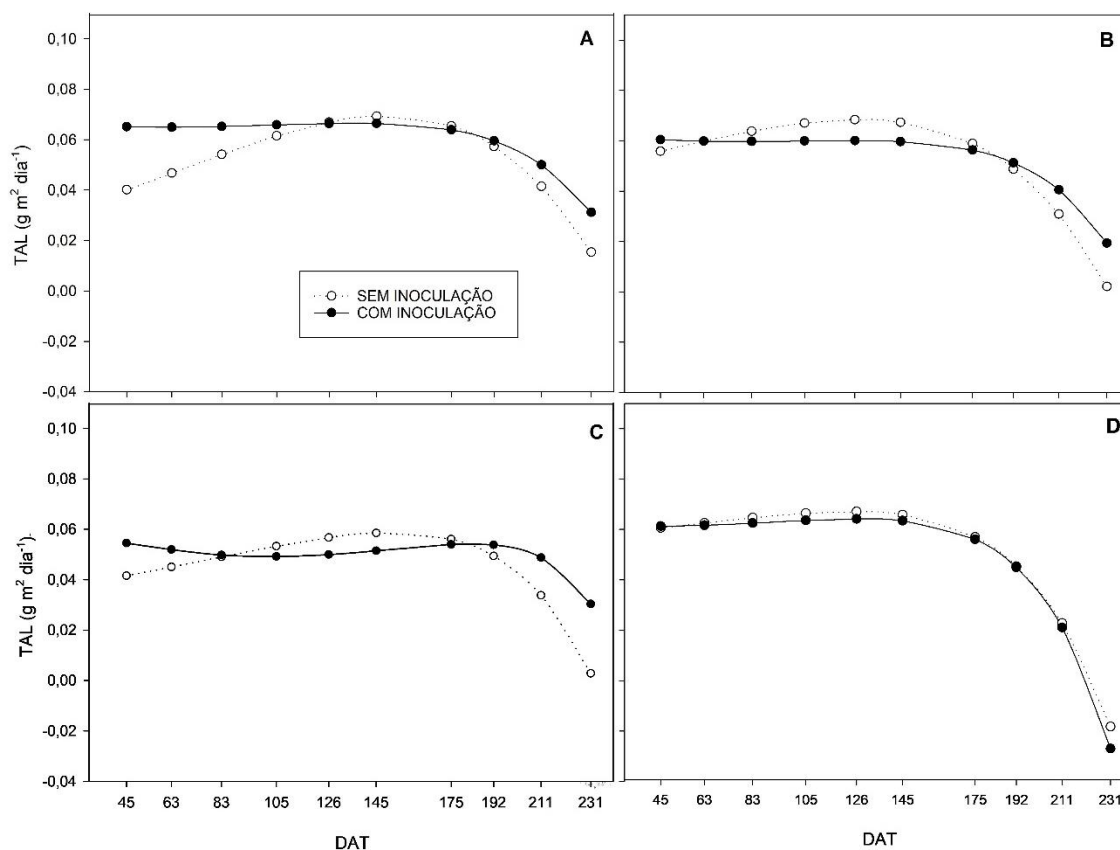
Figura 11 – Taxa de crescimento relativo (TCR) ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com *Bacillus* spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D) 100%



Em relação à TAL, houve comportamentos diferentes entre os regimes hídricos. No regime hídrico de 0%, houve maior assimilação nas plantas inoculadas durante todo o ciclo. Nota-se um decréscimo acentuado na ausência da inoculação, enquanto na presença das BPCV este decréscimo foi atenuado (Figura 12A). No regime hídrico

de 33%, houve comportamento semelhante para as plantas inoculadas. Nesse regime hídrico, nota-se que aos 83 DAT, as plantas sem inoculação resultaram em maior TAL até aos 192 DAT, quando a TAL passou a ser maior nas plantas inoculadas (Figura 12B). Sob regime hídrico de 66%, as plantas inoculadas resultaram em maior TAL em relação às não inoculadas, entretanto com o início da precipitação frequente e paralisação dos tratamentos relacionados a água, as plantas não inoculadas atingiram maiores valores de TAL até os 175 DAT, quando ocorreu um decréscimo acentuado nesse parâmetro na ausência da inoculação, enquanto na presença, o decréscimo foi atenuado (Figura 12C). Em condições hídricas iniciais adequadas (100%) as plantas com e sem inoculação apresentaram comportamento muito semelhante, com acentuado decréscimo ao final do ciclo (Figura 12D).

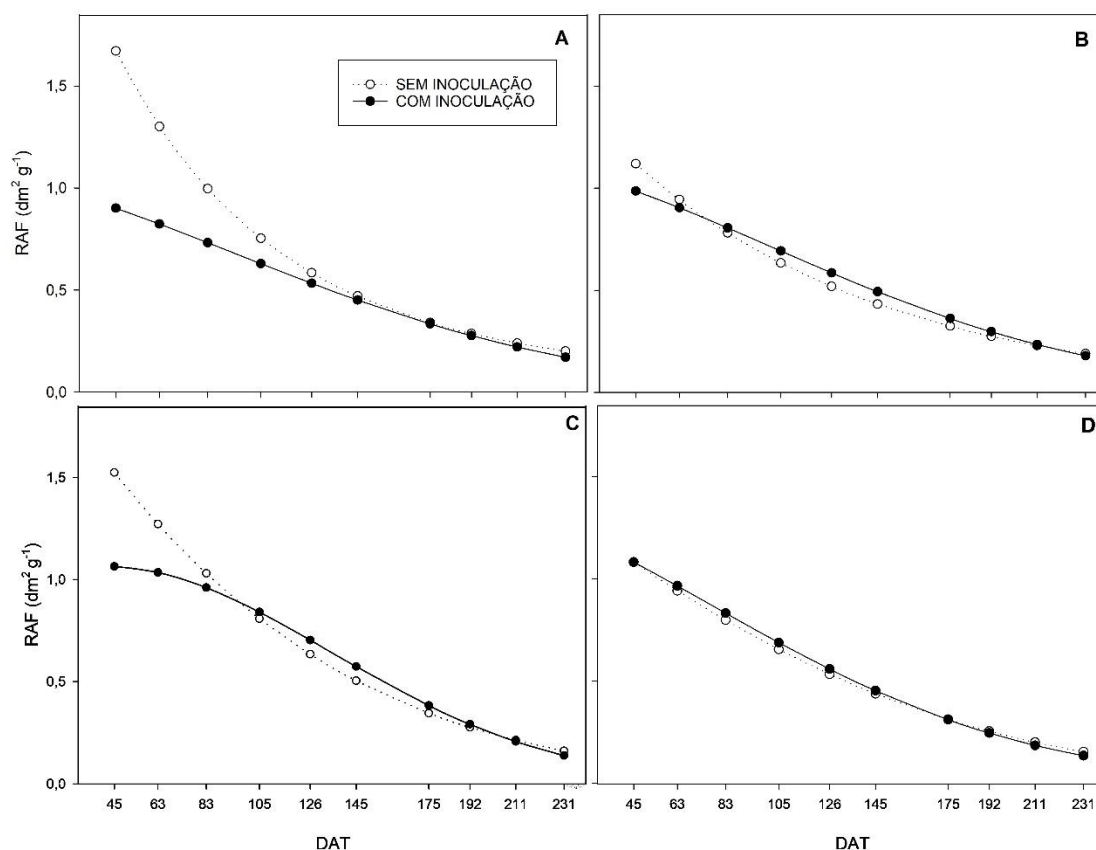
Figura 12 – Taxa assimilatória líquida (TAL) ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com *Bacillus* spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D) 100%



Em termos de RAF, o desempenho foi semelhante para todos os regimes (Figura 13). No entanto, nota-se que para as lâminas 0, 33 e 66%, as plantas não inoculadas apresentaram maiores valores quando a irrigação era controlada. Esse

comportamento permaneceu até 175 DAT no regime de 0% (Figura 13A), e até 83 DAT nos regimes de 33% e 66% (Figura 13B e 13C). Enquanto sob disponibilidade adequada de água, não houve diferença referente a inoculação durante todo o experimento (Figura 13D).

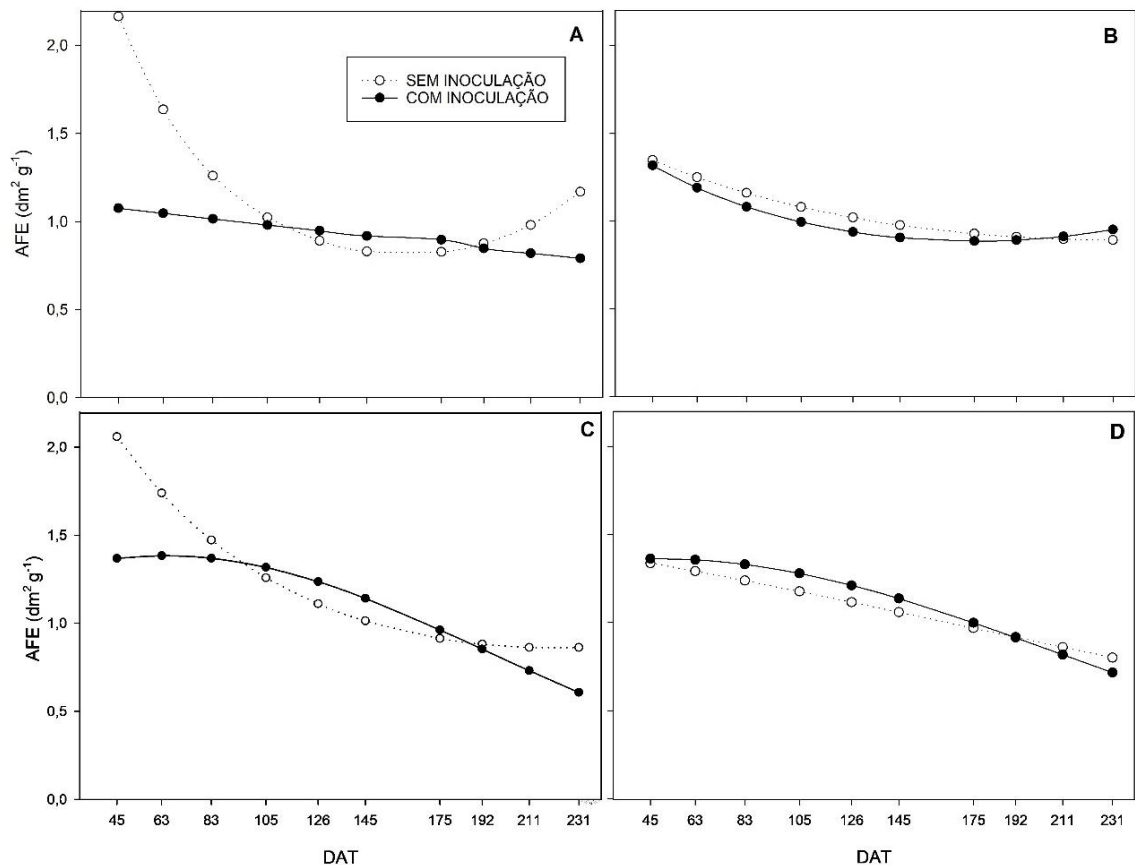
Figura 13 – Razão de área foliar (RAF) ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com *Bacillus* spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D) 100%



No que diz respeito a AFE, no regime inicial de 0%, as plantas não inoculadas apresentam maiores valores até os 105 DAT, quando as curvas se encontram e se mantém assim até 211 DAT, quando as plantas não inoculadas sobressaem novamente (Figura 14A). No regime hídrico de 33%, a ausência e a presença da inoculação não interferiram significativamente nos valores de AFE, apesar de plantas não inoculadas apresentarem maior AFE até aos 211 DAT, a partir de quando as plantas inoculadas tiveram maior AFE, (Figura 14B). Sob regime inicial de 66%, as curvas apresentaram comportamento semelhante ao regime de 0%, porém ambas apresentaram maiores valores durante todo o ciclo de experimento (Figura 14C). Enquanto para o regime hídrico inicial adequado, as curvas não tiveram grandes

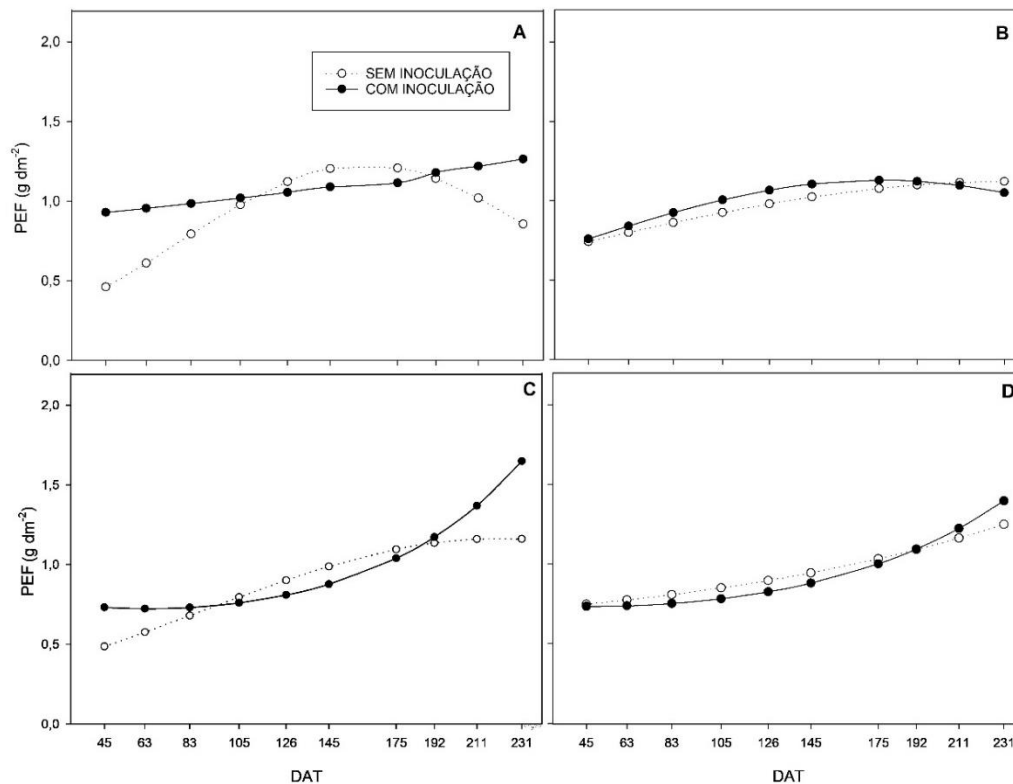
diferenças durante o crescimento das plantas de cana-de-açúcar, embora as plantas inoculadas tenham apresentado maiores valores até os 175 DAT.

Figura 14 – Área foliar específica (AFE) ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com *Bacillus* spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D) 100%



O PEF apresentou comportamento inverso a RAF e AFE. Neste caso, deduz que as plantas inoculadas apresentaram maior espessura foliar no início do ciclo para os regimes hídricos 0, 33 e 66%, e no final do ciclo para o regime de 100% (Figura 15).

Figura 15 – Peso específico da folha (PEF) ao longo de 231 DAT, com e sem inoculação com *Bacillus* spp. nos regimes hídricos iniciais: A) 0%; B) 33%; C) 66% e D) 100%



4.5 Variáveis nutricionais

4.5.1 Macronutrientes

Aos 63 DAT, a análise nutricional revelou influência dos regimes hídricos nos teores dos nutrientes N, P e Ca, resultando em ajuste linear significativo para esses nutrientes (Tabela 9 e 10). A inoculação influenciou no teor de P, resultando em aumento de 10,84% na presença da inoculação (Tabela 10). No caso do N, houve interação entre os fatores, de modo que o incremento no teor de N foi significativo nos regimes de 0 e 100% (Figura 16).

Tabela 9 – *p*-Valor obtido pela análise de variância para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) aos 63 DAT para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) e interação (I x RH)

Fontes de Variação	N	P	K	Ca	Mg	S
	<i>p</i> -valor					
I	0,010*	0,002**	0,583	0,607	0,973	0,293
RH	≤0,001**	≤0,001**	0,200	0,100	0,759	0,510
I x RH	0,007*	0,1036	0,692	0,052	0,111	0,347

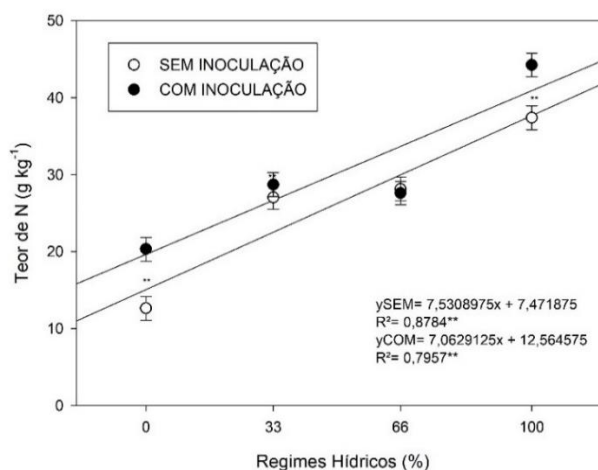
*significativo a 5%; **significativo a 1%.

Tabela 10 – Médias dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) aos 63 DAT obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) em diferentes dias após o transplântio (DAT)

Tratamentos		N	P	K	Ca	Mg	S
		g kg ⁻¹					
Inoculação	Sem	26,30 ^B	3,32 ^B	22,74	3,58	2,48	1,43
	Com	30,22 ^A	3,68 ^A	22,27	3,55	2,48	1,34
Regimes Hídricos	0%	16,49	2,32	22,47	3,51	2,42	1,33
	33%	27,87	2,91	21,53	3,60	2,51	1,41
	66%	27,87	4,32	23,43	3,53	2,44	1,38
	100%	40,81	4,46	22,57	3,63	2,53	1,41
R ² - RL		0,80**	0,88**	NS	NS	NS	NS

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste T. *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{NS}não significativo; RL: regressão linear; R²: coeficiente de determinação.

Figura 16 – Interação dos fatores inoculação e regime hídrico para teor foliar de nitrogênio aos 63 DAT



Barras de erro representam a diferença mínima significativa.

**significativo a 1%.

Os regimes hídricos influenciaram o acúmulo foliar de todos os nutrientes estudados (Tabela 11), com ajuste linear significativo ($p \leq 0,01$), com maiores coeficientes de determinação para N e P ($R = 0,56^{**}$ e $R = 0,59^{**}$) (Tabela 12).

Tabela 11 – p -Valor obtido pela análise de variância para o acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas folhas aos 63 DAT para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) e interação (I x RH)

Fontes de Variação	N	P	K	Ca	Mg	S
	p -valor					
I	0,228	0,166	0,210	0,177	0,158	0,194
RH	$\leq 0,001^{**}$	$\leq 0,001^{**}$	0,005 **	0,005 **	0,016 *	0,002 **
I x RH	0,808	0,921	0,559	0,603	0,584	0,734

*significativo a 5%; **significativo a 1%.

Tabela 12 – Médias do acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas folhas aos 63 DAT obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) em diferentes dias após o transplante (DAT)

Tratamentos		N	P	K	Ca	Mg	S
		mg planta ⁻¹					
Inoculação	Sem	138,01	16,68	103,68	16,46	11,34	6,25
	Com	179,94	21,72	127,16	20,46	14,38	7,71
Regimes Hídricos	0%	59,68	7,73	70,71	11,24	7,79	3,99
	33%	142,52	15,08	109,95	18,64	12,93	7,18
	66%	145,80	22,60	122,00	18,39	12,65	7,18
	100%	287,91	31,39	159,01	25,58	18,08	9,58
R ² - RL		0,56 **	0,57 **	0,32 **	0,29 **	0,28 **	0,35 **

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste T. **significativo a 1%; RL: regressão linear; R²: coeficiente de determinação.

4.5.2 Micronutrientes

A análise de regressão aos 63 DAT, resultou em ajuste linear positivo significativo para Mn, Zn e Fe em resposta aos diferentes regimes hídricos, indicando que quanto maior a oferta de água inicial, maior os teores desses nutrientes (Tabela 13). Enquanto a inoculação com BPCV resultou em maiores teores de Mn e Zn, com incremento significativo de 17% para ambos (Tabela 14). Houve interação entre os

fatores para Mn, quando a inoculação resultou em maiores médias nos regimes de 66 e 100% (Figura 17). Em relação ao Zn, também se constatou interação entre os fatores, de maneira que na presença das BPCV os regimes hídricos não influenciaram no teor Zn, enquanto houve influência na ausência de BPCV (Figura 17). Quanto à inoculação, verificou-se que a presença de BPCV resultou em maiores médias de teores de Zn para todos os regimes, no entanto, o efeito significativo foi constatado apenas na ausência de irrigação inicial.

Tabela 13 – *p*-Valor obtido pela análise de variância para os teores de boro (B), manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu) aos 63 DAT para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) e interação (I x RH)

Fontes de Variação	B	Mn	Zn	Fe	Cu
	<i>p</i> -valor				
I	0,948	0,006**	0,008*	0,900	0,600
RH	0,883	≤0,001**	0,022*	0,002**	0,041*
I x RH	0,605	0,006**	0,020*	0,379	0,121

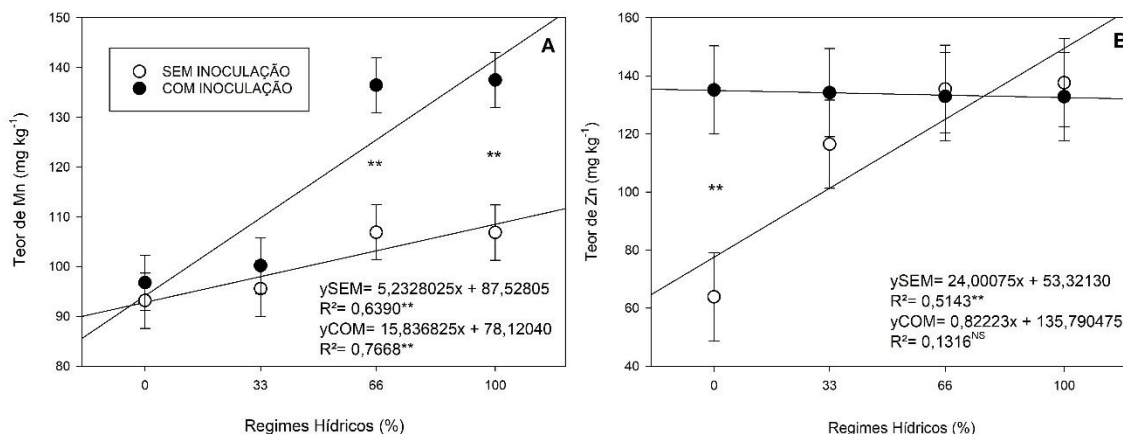
*significativo a 5%; **significativo a 1%.

Tabela 14 – Médias os teores de boro (B), manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu) aos 63 DAT obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) em diferentes dias após o transplântio (DAT)

Tratamentos		B	Mn	Zn	Fe	Cu
		mg kg ⁻¹				
Inoculação	Sem	25,92	100,61 ^B	113,32 ^B	35,58	7,35
	Com	26,02	117,71 ^A	133,73 ^A	36,17	7,05
Regimes hídricos	0%	25,40	94,96	99,49	35,23	7,88
	33%	25,54	97,88	125,31	35,56	7,64
	66%	26,36	121,64	134,15	36,45	6,11
	100%	26,58	122,16	135,17	36,25	7,17
R ² - RL		NS	0,46**	0,21**	0,47**	0,11*

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste T. **significativo a 1%; ^{NS}não significativo; RL: regressão linear; R²: coeficiente de determinação.

Figura 17 – Interação dos fatores inoculação e regime hídrico para teor foliar de (A) manganês e (B) zinco aos 63 DAT



Barras de erro representam a diferença mínima significativa. **significativo a 1%; ^{NS}não significativo.

Assim como ocorreu com os macronutrientes, os regimes hídricos influenciaram fortemente o acúmulo de micronutrientes (Tabela 15), com ajuste linear significativo ($p \leq 0,01$) (Tabela 16). A inoculação com bactérias do gênero *Bacillus* spp. influenciou no acúmulo de Cu (Tabela 15), com incremento de 27,17% na presença das bactérias (Tabela 16).

Tabela 15 – p-Valor obtido pela análise de variância para o acúmulo de boro (B), manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu) nas folhas aos 63 DAT para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) e interação (I x RH)

Fontes de Variação	B	Mn	Zn	Fe	Cu
	p-valor				
I	0,213	0,067	0,152	0,335	0,048*
RH	0,013*	0,002**	0,003**	≤0,001**	0,010*
I x RH	0,362	0,839	0,493	0,678	0,429

*significativo a 5%; **significativo a 1%.

Tabela 16 – Médias do acúmulo de boro (B), manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu) nas folhas aos 63 DAT obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) em diferentes dias após o transplântio (DAT)

Tratamentos		B	Mn	Zn	Fe	Cu
		mg planta ⁻¹				
Inoculação	Sem	0,12	0,47	0,58	1,64	1,73 ^B
	Com	0,15	0,69	0,77	1,98	2,20 ^A
Regimes hídricos	0%	0,09	0,31	0,39	1,00	0,02
	33%	0,13	0,50	0,66	1,64	0,04
	66%	0,14	0,64	0,70	1,71	0,03
	100%	0,19	0,87	0,96	2,91	0,02
R ² - RL		0,29**	0,41**	0,30**	0,42**	0,27**

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste T. **significativo a 1%; RL: regressão linear; R²: coeficiente de determinação

4.6 Variáveis biométricas do sistema radicular

Não houve interação dos fatores sobre as variáveis do sistema radicular, independente das profundidades. Embora, o volume, a projeção de área e área superficial das raízes foram influenciados pela inoculação com BPCV na profundidade de 00-20 cm ($p \leq 0,05$), nas demais profundidades não houve interferência da inoculação (Tabela 17).

Na profundidade de 00-20 cm, a inoculação com BPCV proporcionou incremento de 15,79% e 13,67% no VR e na AS de raízes, respectivamente, com ausência de interação com os regimes (Tabela 18).

Os regimes influenciaram o CR, AS, PA e Nbif na profundidade de 60-80 cm, sem interação com a inoculação (Tabela 17). Ambos apresentaram regressão linear significativa proporcionalmente indireta com os regimes, demonstrando que quanto maior a oferta de água inicial menor o CR, AS, PA e Nbif (Tabela 18).

Tabela 17 – *p*-Valor obtido pela análise de variância para as variáveis comprimento de raízes (CR), área superficial (AS), projeção de área (PA), volume de raízes (VR), diâmetro médio (DM), número de bifurcações (Nbif) para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) e interação (I x RH) nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm

Variáveis	Fontes de Variação	Profundidades (cm)			
		0-20	20-40	40-60	60-80
CR	I	0,321	0,241	0,259	0,200
	RH	0,769	0,282	0,451	0,003**
	I x RH	0,619	0,108	0,562	0,340
AS	I	0,014*	0,760	0,327	0,240
	RH	0,825	0,061	0,453	0,007**
	I x RH	0,667	0,107	0,250	0,402
PA	I	0,014*	0,575	0,327	0,444
	RH	0,825	0,069	0,453	0,005**
	I x RH	0,667	0,083	0,250	0,762
VR	I	0,043*	0,338	0,527	0,416
	RH	0,607	0,230	0,344	0,456
	I x RH	0,642	0,358	0,196	0,447
DM	I	0,588	0,186	0,660	0,265
	RH	0,896	0,075	0,243	0,508
	I x RH	0,488	0,084	0,273	0,770
Nbif	I	0,243	0,271	0,286	0,138
	RH	0,300	0,319	0,613	0,005**
	I x RH	0,668	0,109	0,640	0,450

*significativo a 5%; **significativo a 1%.

Tabela 18 – Médias das variáveis comprimento de raízes (CR), área superficial (AS), projeção de área (PA), volume de raízes (VR), diâmetro médio (DM), número de bifurcações (Nbif) obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm

(continua)

Variáveis	Tratamentos		0-20	20-40	40-60	60-80
CR (cm cm ⁻³)	Inoculação	Sem	3,49	1,16	0,38	0,30
		Com	3,84	1,66	0,52	0,45
	Regimes Hídricos	0%	3,87	1,86	0,59	0,67
		33%	3,81	1,25	0,40	0,33
		66%	3,70	1,31	0,44	0,28
		100%	3,26	1,22	0,38	0,22
	R ² - RL		NS	NS	NS	0,33**
AS (cm ² cm ⁻³)	Inoculação	Sem	0,40 ^B	0,21	0,07	0,04
		Com	0,45 ^A	0,22	0,09	0,07
	Regimes Hídricos	0%	0,47	0,32	0,10	0,10
		33%	0,39	0,18	0,09	0,05
		66%	0,43	0,16	0,06	0,04
		100%	0,41	0,21	0,07	0,03
	RL – R ²		NS	NS	NS	0,26**
PA (cm ² cm ⁻³)	Inoculação	Sem	0,13 ^B	0,06	0,02	0,02
		Com	0,14 ^A	0,07	0,03	0,02
	Regimes Hídricos	0%	0,15	0,10	0,03	0,03
		33%	0,13	0,06	0,03	0,02
		66%	0,14	0,05	0,02	0,01
		100%	0,13	0,07	0,02	0,01
	RL – R ²		NS	NS	NS	0,25**
VR (cm ³ cm ⁻³)	Inoculação	Sem	3,7.10 ^{-4B}	4,4.10 ⁻⁴	1,1.10 ⁻⁴	7,2.10 ⁻⁴
		Com	4,3.10 ^{-4A}	2,5.10 ⁻⁴	0,0015	9,0.10 ⁻⁵
	Regimes Hídricos	0%	4,5.10 ⁻⁴	7,3.10 ⁻⁴	1,7.10 ⁻⁴	1,2.10 ⁻⁴
		33%	3,4.10 ⁻⁴	2,0.10 ⁻⁴	1,9.10 ⁻⁴	1,4.10 ⁻³
		66%	4,1.10 ⁻⁴	1,6.10 ⁻⁴	6,0.10 ⁻⁵	6,0.10 ⁻⁵
		100%	4,2.10 ⁻⁴	2,8.10 ⁻⁴	1,0.10 ⁻⁴	4,0.10 ⁻⁵
	RL – R ²		NS	NS	NS	NS
DM (cm)	Inoculação	Sem	1,8.10 ⁻⁴	1,3.10 ⁻⁴	1,2.10 ⁻⁴	1,0.10 ⁻⁴
		Com	1,9.10 ⁻⁴	1,1.10 ⁻⁴	1,3.10 ⁻⁴	1,1.10 ⁻⁴
	Regimes Hídricos	0%	1,9.10 ⁻⁴	1,4.10 ⁻⁴	1,3.10 ⁻⁴	1,2.10 ⁻⁴
		33%	1,7.10 ⁻⁴	1,1.10 ⁻⁴	1,5.10 ⁻⁴	1,0.10 ⁻⁴
		66%	1,8.10 ⁻⁴	1,0.10 ⁻⁴	9,0.10 ⁻⁵	1,0.10 ⁻⁴
		100%	1,9.10 ⁻⁴	1,3.10 ⁻⁴	1,3.10 ⁻⁴	1,1.10 ⁻⁴
	RL – R ²		NS	NS	NS	NS

Tabela 18 – Médias das variáveis comprimento de raízes (CR), área superficial (AS), projeção de área (PA), volume de raízes (VR), diâmetro médio (DM), número de bifurcações (Nbif) obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm

(conclusão)

Variáveis	Tratamentos		0-20	20-40	40-60	60-80
NBif (un cm³)	Inoculação	Sem	24,56	8,16	2,65	1,88
		Com	27,68	11,88	4,04	3,45
	Regimes Hídricos	0%	26,39	12,86	4,37	4,65
		33%	31,00	8,74	3,09	2,66
		66%	25,94	10,00	3,27	1,97
		100%	21,14	8,48	2,64	1,39
	RL – R²		NS	NS	NS	0,27*

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste T. *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{NS}não significativo; RL: regressão linear; R²: coeficiente de determinação.

4.7 Produção

Houve interação dos fatores inoculação e regimes hídricos sobre a variável NC (Tabela 19). O NC teve influência das BPCV nos regimes 33 e 100%, com incremento de 9,78% e 18,10%, respectivamente (Figura 18), e consequentemente houve efeito sobre a TCH e a TM (Tabela 19), isto é, a inoculação resultou em maiores TCH nos regimes hídricos de 33 e 100%, justamente devido aos maiores número de perfilhos por metro (Figura 19A), enquanto para TM, a inoculação promoveu acréscimo somente no regime inicial de 33% (Figura 19B).

Os diferentes regimes proporcionaram regressão linear significativa no CE e no NN, sendo que os maiores regimes proporcionaram menor quantidade de nós, porém resultaram em entrenós com maiores comprimentos (Tabelas 19 e 20).

Tabela 19 – *p*-Valor obtido para as variáveis comprimento do colmo (CC), diâmetro do colmo (DC), número de nós (NN), comprimento de entrenós (CE), número de colmos (NC), massa de 10 colmos (M10), toneladas de colmo por hectare (TCH) e taxa de multiplicação (TM) ao final do experimento para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) e interação (I x RH)

Fontes de Variação	CC	DC	NN	CE	NC	M10	TCH	TM
	<i>p</i> -valor							
I	0,305	0,923	0,061	0,324	0,005**	0,183	0,122	0,258
RH	0,080	0,357	0,009**	0,0002**	0,002**	0,126	0,097	0,025*
I x RH	0,196	0,088	0,059	0,134	0,021*	0,229	0,013*	0,006**

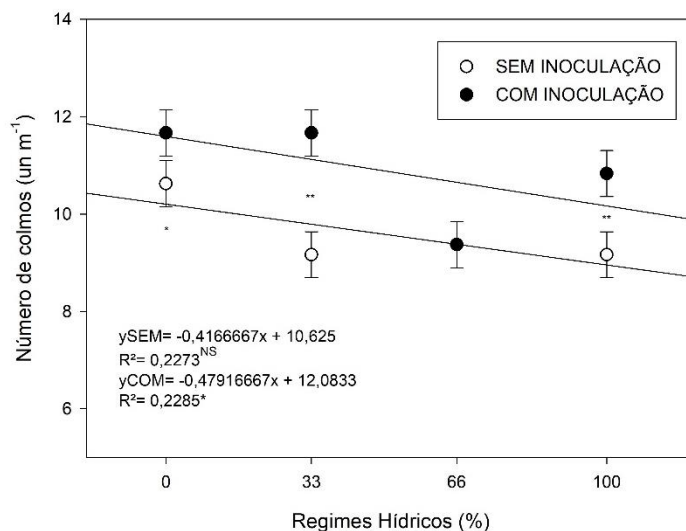
*significativo a 5%; **significativo a 1%.

Tabela 20 – Médias das variáveis comprimento do colmo (CC), diâmetro do colmo (DC), número de nós (NN), comprimento de entrenós (CE), número de colmos (NC), massa de 10 colmos (M10), toneladas de colmos por hectare (TCH) e taxa de multiplicação (TM) obtidas para os fatores Inoculação (I) e Regime Hídrico (RH) ao final do experimento

Tratamentos		CC	DC	NN	CE	NC	M10	TCH	TM
		m	Mm	un colmo ⁻¹	cm	un m ⁻¹	kg	t ha ⁻¹	-
Inoculação	Sem	1,21	27,80	11,46	10,65	9,58 ^B	7,58	69,93	1:9,15
	Com	1,17	27,82	10,75	10,97	10,89 ^A	7,31	77,89	1:9,87
Regimes hídricos	0%	1,11	26,67	11,09	9,99	11,15	7,77	68,58	1:10,50
	33%	1,20	28,70	12,01	9,95	10,42	7,59	81,35	1:10,30
	66%	1,18	27,41	11,27	10,61	9,38	6,81	63,46	1:8,75
	100%	1,27	28,47	10,05	12,70	10,00	7,61	82,25	1:8,50
R ² - RL		NS	NS	0,12*	0,44**	0,16*	NS	NS	0,24*

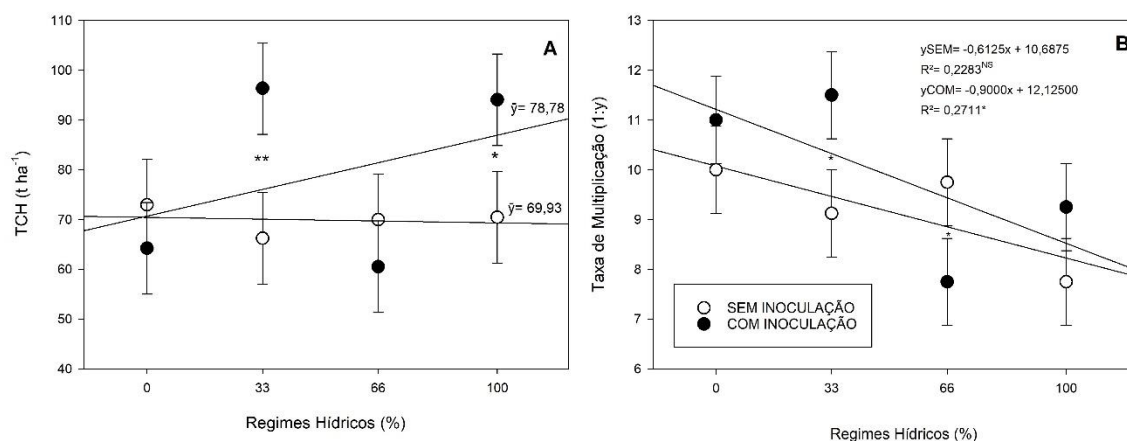
Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste T. *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{NS} não significativo; RL: regressão linear; R²: coeficiente de determinação

Figura 18 – Interação dos fatores inoculação e regime hídrico para número de colmos por metro (NC) ao final do experimento



Barras de erro representam a diferença mínima significativa. *significativo a 5%; ^{NS}não significativo.

Figura 19 – Interação dos fatores inoculação e regime hídrico para A) toneladas de colmos por hectare (TCH) e B) taxa de multiplicação da Meiosi ao final do experimento



Barras de erro representam a diferença mínima significativa. *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{NS}não significativo.

4.8 Correlação de Pearson

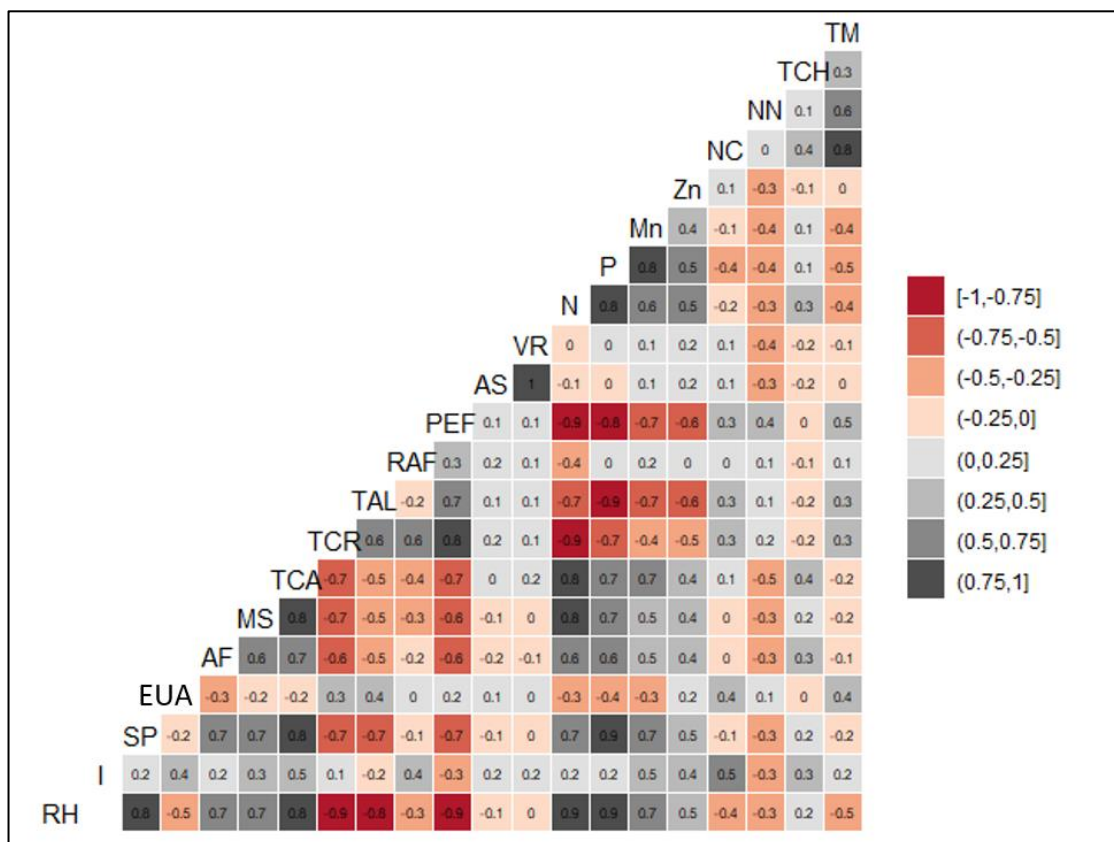
A sobrevivência de plantas apresentou alta correlação com a Área Foliar, Massa Seca Total, Taxa de Crescimento Absoluto e com os teores de N, P, Mn e Zn, sendo fortemente influenciada pelos regimes hídricos ($R^2 = 0,8$). Ambas as variáveis citadas apresentaram considerável correlação entre si, demonstrando que estão interligadas.

Os teores nutricionais de N, P e Mn correlacionaram fortemente entre si e moderadamente com o teor de Zn.

As variáveis relacionadas com a análise do crescimento (TCA, TCR, TAL e PEF) demonstraram alta correlação com as variáveis Área Foliar e Massa Seca Total, TCA de forma positiva ($R^2 = 0,8$ com MS e $R^2 = 0,7$ com AF). As demais correlacionaram negativamente. Assim como correlacionaram negativamente com os teores nutricionais.

A variáveis de produção de gemas (NC, NN e TM) correlacionaram entre si, de modo que o número de colmos por metro e o número de nós afetaram diretamente a taxa de multiplicação.

Figura 20 – Correlação linear de Pearson entre as variáveis que foram influenciadas pela inoculação



RH: regime hídrico; I: inoculação; SP: sobrevivência de plantas; EUA: eficiência do uso da água; AF: área foliar; MS: massa seca; TCA: taxa de crescimento absoluto; TCR: taxa de crescimento relativo; TAL: taxa assimilatória líquida; RAF: razão de área foliar; PEF: peso específico da folha; AS: área superficial radicular; VR: volume de raízes; N: teor de nitrogênio; P: teor de fósforo; Mn: teor de manganês; Zn: teor de zinco; NC: número de colmos por metro; NN: número de nós; TCH: toneladas de colmos por hectare; TM: taxa de multiplicação.

5 DISCUSSÃO

O método de estabelecimento utilizando MPB está em desenvolvimento no Brasil (Otto et al., 2022). A expansão desse método está associada ao crescimento significativo do sistema de produção MEIOSI (Oliveira et al., 2022; Rossetto et al., 2022). O sistema MEIOSI consiste no plantio de linhas principais de cana-de-açúcar em consórcio com outras culturas de interesse econômico, e após a colheita das culturas nas entrelinhas, as plantas de cana-de-açúcar presentes nas linhas principais servem como material de propagação para o restante da área (Barcelos, 1984; Gazola et al., 2017; CTC, 2019). A busca por material de propagação que apresente garantia varietal e melhores condições de sanidades impulsiona a expansão do plantio de MPB nesse sistema de produção. Além disso, as plantas de cana-de-açúcar propagadas por este método demonstram características nutricionais e de perfilhamento semelhantes ao método convencional (Otto et al., 2022).

No entanto, apesar das garantias varietais e sanitárias, bem como da redução do volume de material de propagação para as linhas principais da MEIOSI, as MPB quando são transplantadas para o campo apresentam baixas reservas de água e nutrientes, sistema radicular pouco desenvolvido e baixa área foliar (Martins et al., 2015), o que torna a suplementação hídrica indispensável para favorecer o estabelecimento das plantas (Sandrini et al., 2021; Oliveira et al., 2022). A ausência de irrigação promove alta mortalidade de plantas e necessidade de replantio (Otto et al., 2022). Em nosso estudo, demonstramos que o uso de bactérias promotoras do crescimento do gênero *Bacillus* spp. pode auxiliar nessa problemática. A inoculação das bactérias resultou em um incremento de 3,4% na sobrevivência de plantas em campo aos 30 DAT (Figura 2). Esse resultado sugere que as plantas inoculadas foram influenciadas pelos vários mecanismos biológicos já relatados para as espécies utilizadas, isto é, *Bacillus licheniformis* (Gutiérrez-Mañero et al., 2001; Lim; Kim, 2013; Zhou et al., 2017; Akhtar et al., 2020; James et al., 2023) e *Bacillus subtilis* (Gagne-Bourque et al., 2015; Tahir et al., 2017; Zubair et al., 2019; Chandra et al., 2021, Mahapatra et al. 2022; Di et al., 2023). Na ausência da inoculação, o percentual de sobrevivência foi de 82,44%, o que está de acordo com o percentual de sobrevivência de MPB em campo encontrado por Almeida Neto et al. (2020). Embora não existam estudos que avaliaram especificamente a sobrevivência de MPB em campo na presença de microrganismos, alguns estudos relataram a ação de BPCV em outras

variáveis como maior enraizamento e melhoria nos aspectos nutricionais (Gírio et al., 2015; Santos et al., 2019; Rossetto et al., 2021; Abes et al., 2021; Cipriano et al., 2021). A suplementação adequada de água é essencial para o estabelecimento bem-sucedido de MPB (Landell et al., 2012; Teixeira et al., 2020; Otto et al., 2022). Portanto, os diferentes regimes hídricos exerceram influência significativa na sobrevivência das plantas aos 30 DAT.

A inoculação de duas espécies do gênero *Bacillus* pode ser uma abordagem promissora na melhoria do crescimento vegetal (Brandi et al., 2018; Reis et al., 2020; Chandra et al., 2021). As particularidades pertinentes a cada espécie proporcionam maior espectro de ação sobre vias de sinalização, solubilização de nutrientes, produção de fitohormônios, entre outros. De fato, a inoculação dupla com espécies *Bacillus*, neste trabalho resultou em maior altura de plantas aos 63 DAT. Brandi et al. (2018) também relataram maior altura de plantas de cana-de-açúcar com a associação de duas bactérias do gênero *Bacillus*, e a inoculação individual de cada espécie não resultou em aumento de altura.

Os diferentes regimes hídricos aplicados no início do ciclo tiveram impacto significativo na altura das plantas aos 63, 83, 126 e 145 DAT. De fato, na maioria das plantas, a redução do suprimento de água inibe o crescimento do caule e estimula o alongamento de raízes (Inman-Bamber; Smith, 2005; Taiz; Zeigher, 2017). No entanto, após esse período, os regimes hídricos não tiveram mais influência nessa variável, indicando que os efeitos da disponibilidade de água inicial ocorreram até os 145 DAT.

A inoculação promoveu incremento no número de perfilhos por planta aos 126 e 145 DAT. Cipriano et al. (2021), ao estudarem a inoculação de cinco BPCV na eficiência do uso do nitrogênio em cana-de-açúcar, avaliaram o número de perfilhos por planta aos 30 e 45 DAT e não observaram incremento nessa variável. Em relação ao diâmetro, a inoculação com as bactérias não promoveu diferença significativa. Resultados semelhantes foram encontrados por Chauan et al., (2012) e Wang et al. (2019) que não observaram influência das BPCV no diâmetro de cana-de-açúcar.

Os diferentes regimes hídricos apresentaram relevante influência sobre as variáveis morfológicas de parte aérea das plantas. Os dados das variáveis AP, DC e MST apresentaram diferenças quando submetidos a diferentes lâminas de irrigação. Sabe-se que a água é indispensável para o desenvolvimento das plantas e está envolvida em inúmeros processos metabólicos, por isso a diminuição da oferta hídrica

infere direta e indiretamente sobre vários processos relacionados ao crescimento e desenvolvimento vegetal (Santos; Carlesso, 1998; Machado et al., 2009; Taiz; Zeigher, 2017).

As curvas referentes a taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de assimilação líquida (TAL) condiz com os resultados encontrados por Pedula et al. (2016) que demonstraram incremento destes índices a partir da aplicação de cinco bactérias diazotróficas. Neste estudo, a inoculação promoveu maior TCA no pico de desenvolvimento para todos os regimes hídricos estudados. A TCA mede a variação de massa seca com o tempo e neste estudo observamos que o máximo acúmulo de massa seca por dia foi aproximadamente aos 180 DAT. Entre 130 e 180 dias após o plantio realizado em meados de agosto/setembro, as plantas de cana-de-açúcar se encontram no auge do seu desenvolvimento devido as condições favoráveis de temperatura e precipitação (Rodrigues et al., 2018), isto justifica a maior taxa de assimilação líquida que ocorreu neste período para todos os tratamentos.

A taxa de crescimento relativo é o aumento de massa seca por unidade de massa seca original em um intervalo de tempo. Ela representa a eficiência da planta na produção de novos materiais (Portes; Castro Júnior, 1991). O comportamento da TCR diferiu pouco entre os tratamentos, porém nota-se nítida inversão das curvas pertencentes a ausência e a presença da inoculação nos diferentes regimes. As plantas inoculadas iniciam o ciclo com menor TCR nos regimes de 0 e 33% e maior nos regimes de 66 e 100%. No fim do ciclo do experimento, o inverso ocorre quando nos regimes de 0% e 33%, as plantas inoculadas apresentaram maiores valores de massa por massa pré-existente em comparação com as plantas não-inoculadas. Estima-se que 40% dos assimilados produzidos pelas plantas são destinados a produção de exsudatos pelo sistema radicular (Whipps, 1990). Os exsudatos liberados pelas raízes das plantas possuem o papel de manutenção e interação com os microrganismos rizosféricos (Aerts, 1999), por ser a principal fonte de carbono orgânico no processo de rizodeposição (Nguyen, 2003).

Claramente, a exsudação das raízes representa custo significativo de carbono para a planta (Brunn et al., 2022). No início do ciclo, em condições restritas, as plantas podem ter particionado parte dos seus assimilados para a manutenção das bactérias inoculadas, o que possivelmente afetou a produção carboidratos. Isso possibilitou que as colônias fossem instaladas e se desenvolvessem na rizosfera das plantas e promovessem a inversão da curva ao final do ciclo. Em condições mais próximas da

adequada em relação ao fornecimento de água necessária (lâminas de 66 e 100%), a partição para a produção de exsudatos provavelmente não influenciou o bastante para interferir na produção de matéria seca por material pré-existente.

Um fator relevante e que deve ser levado em consideração na observação de todos os resultados obtidos é a que os tratamentos relacionados ao regime hídrico ocorreram somente até os 57 DAT após isso todas as plantas ficaram sujeitas a precipitação natural. Considerando o relativamente longo período da cultura em campo (231 DAT) e tendo em vista o período de irrigação controlada (57 DAT), provavelmente ao final das avaliações, os componentes de produção de massa seca e área foliar tenham se nivelado para todos os regimes.

A TAL considera a área foliar como a superfície capaz de produzir carboidratos. Para esta variável, nota-se que, ao contrário do que ocorreu para TCR, as plantas inoculadas apresentaram maiores valores no início do ciclo, indicando que os fotoassimilados resultantes da maior taxa de assimilação das plantas inoculadas estavam sendo particionados para outros recursos que não a produção de massa seca da parte aérea, como o aprimoramento do sistema radicular (Naveed et al., 2014; Akhtar et al., 2020). Estes recursos podem ter auxiliado a maior produção de massa seca após os 145 DAT demonstrados pelas curvas de TCA e TCR na presença das bactérias.

A razão de área foliar é interpretada como a razão entre a superfície assimilatória e o material assimilado pela referida superfície. Assim, menores valores na presença da inoculação indicam a ação das bactérias sobre a eficiência de produção, já que deduz que as plantas inoculadas produziram mais assimilados por unidade de superfície assimilatória (Portes; Castro Júnior, 1991).

Já a área foliar específica indica a razão entre a área foliar e a massa somente das folhas, e o peso foliar específico representa o inverso. Ambos os índices nos possibilitam analisar a espessura das folhas, quanto maior a AFE, menor a espessura da folha, e quanto maior o PEF, maior a espessura da folha. Assim, a inoculação resultou em folhas mais espessas no início do ciclo para os regimes hídricos 0, 33 e 66%. Para o regime hídrico 0%, a espessura das folhas se igualou por volta dos 110 DAT. Maior espessura das folhas promovida pela inoculação explica a maior taxa de assimilação líquida ocorrida nesse período na presença da inoculação. De fato, o PEF correlacionou positivamente com a TAL ($R^2 = 0,70$).

Estes resultados demonstram o potencial das BPCV em promover tolerância a estresses relacionados à falta de água. Já que na ausência ou diminuição do recurso hídrico no início do desenvolvimento, elas possibilitaram maior espessura das folhas, e, portanto, maior taxa assimilatória e maior acúmulo de biomassa no início do crescimento das MPBs.

Em relação aos atributos morfológicos radiculares, a inoculação promoveu maior volume, projeção de área e área superficial de raízes na profundidade de 20 cm ao final do experimento, independente do regime hídrico. Vários autores relataram a influência de bactérias do gênero *Bacillus* no enraizamento (Glick, 1995) de cana-de-açúcar (Fonseca et al., 2022; Michavila et al., 2022; DI et al., 2023). Um dos artifícios de promoção de tolerância em plantas exercidos pelas BPCV é a atuação em vias de sinalização que promovem maior partição de assimilados para o sistema radicular (Naveed et al., 2014; Akhtar et al., 2020).

Zhang et al (2010) demonstraram que *B. subtilis* tem a capacidade de regular a homeostase de auxina em *A. thaliana*, resultando em níveis de auxina mais elevados no sistema radicular. Além disso, espécies do gênero *Bacillus* spp. são capazes de sintetizar auxinas, giberelinas, citocininas e espermidinas, o que aumenta a divisão e o alongamento das células da raiz (Xie et al., 2014). Maior enraizamento resulta em incremento na absorção de água e nutrientes, possibilitando que as plantas se tornem mais tolerantes quando expostas aos estresses (Santos; Carlesso, 1998, Bengoug et al., 2011, Taiz; Zeigher, 2017). De fato, nesse estudo, a inoculação proporcionou maior absorção dos nutrientes N, P, Mn, Fe e Zn aos 63 DAT.

Os diferentes regimes hídricos influenciaram no número de ramificações, no comprimento radicular e na área superficial do sistema radicular na profundidade de 60-80 cm. Nota-se que quanto maior a restrição hídrica, maior o número de ramificações e área superficial das raízes na profundidade de 60-80 cm. De fato, o déficit hídrico estimula a expansão do sistema radicular para zonas mais profundas do perfil do solo (Hoogenbomm et al., 1987; Pimentel et al., 2004; Marchiori et al., 2017; Xiong et al., 2021). A emissão de pelos radiculares aumenta a área superficial e conseqüentemente maximiza a absorção de água (Taiz; Zeigher, 2017).

Neste estudo, foi verificada forte influência dos diferentes regimes hídricos sobre os teores dos nutrientes N, P, Ca, Mn, Zn e Fe. A entrada de água no xilema das plantas interfere diretamente na concentração de íons nos tecidos foliares. Quando há restrição hídrica, a absorção de nutrientes tende a diminuir pela redução

na transpiração, que decresce o fluxo de massa. No entanto, com menor aumento da matéria seca resultante da restrição hídrica, a diminuição da absorção pode ter pequeno efeito na concentração dos elementos no tecido (Kramer; Boyer, 1995). Dessa forma, a concentração final de nutrientes nos tecidos depende da relação entre a redução na absorção e a redução no acúmulo de matéria seca. Se a diminuição na absorção foi maior do que a diminuição no acúmulo de matéria seca, a concentração dos elementos nos tecidos será afetada de maneira mais significativa (Hopmans et al., 2002). Neste trabalho, verificamos que os diferentes regimes hídricos não influenciaram nos teores de K, Mg, S, B e Cu, provavelmente pelo decréscimo no acúmulo de matéria seca. Entretanto, o acúmulo desses nutrientes nas folhas, quando se considera a matéria seca, foi bastante influenciado pelos regimes hídricos (Tabela 12 e 16).

As BPCV detêm vários mecanismos que contribuem para a promoção de maior enraizamento (Lugtenberg; Kamilova, 2009; Babalola, 2010; HASSAN et al., 2019; HASHEM et al, 2019). Nosso trabalho confirma que as espécies *B. subtilis* e *B. lincheniformis* associadas potencializam o enraizamento. A potencialização do desenvolvimento do sistema radicular pode ter interferido na absorção de nutrientes, como N, P, Mn, Zn e Cu.

Ao verificar o potencial de rizobactérias fixadoras de nitrogênio, constatou que espécies de *Bacillus* isoladas do sistema radicular de plantas de cana-de-açúcar foram capazes de produzir amônia e apresentaram alta atividade de nitrogenase (Kuan et al., 2016; Singh et al., 2020). O que explica a promoção da absorção de nitrogênio por cana-de-açúcar através da aplicação de *Bacillus* relatada por diversos autores (Elkoca et al., 2007; Hossain et al., 2020; Fonseca et al., 2022), bem como encontrado nesse estudo.

Bacillus spp. está profundamente associada à solubilização de fósforo (Rodríguez et al., 2006; Saied et al., 2018; Santos et al., 2022; Zeng et al., 2022; FERRARO et al., 2023), principalmente pela produção de ácidos orgânicos, que acidifica o ambiente circundante para facilitar a conversão de fosfato inorgânico em fosfato livre (Kang et al., 2015; Saied et al., 2018). O fosfato desempenha papel crucial no metabolismo de ácidos nucleicos, fosfolipídios e trifosfato de adenosina (ATP), além de participar de outras vias metabólicas em células vegetais (Raghothama; Karthikeyan, 2005; Taiz; Zeigher, 2017; Malhotra et al., 2018; Han et al., 2022). Os resultados obtidos em nossa pesquisa corroboram com os achados anteriores que

evidenciam a potencialização da solubilização de fosfatos promovidas por espécies do gênero *Bacillus*.

A absorção de íons metálicos é um fator limitante para o crescimento das plantas (Dalcorso et al., 2014). As rizobactérias desempenham um papel essencial na dinâmica da ciclagem ambiental e contribuem para a solubilização de metais, convertendo-os em formas disponíveis para a absorção das plantas (Kamram et al., 2017). A produção de sideróforos é um dos mecanismos de promoção de crescimento em plantas exercidos pelas rizobactérias (Bashan; Bashan, 2005). O Fe é um desses íons metálicos, e estudos revelaram que *B. subtilis* foi capaz de aumentar o teor de Fe nas plantas (Esitken et al., 2010; Freitas et al., 2015, He et al., 2020). Isso ocorre principalmente pela capacidade de bactérias do gênero *Bacillus* em produzir sideróforos, que possuem a capacidade de quelatizar esse íon e o tornar disponível para absorção pelas plantas (Zhang et al., 2009). Os sideróforos se ligam ao Fe^{3+} , reduzindo-o a Fe^{2+} , possibilitando a absorção pelas plantas (Walker; Connolly, 2008).

Exsudados microbianos podem fornecer Mn e Zn para as plantas (RANA et al., 2012). Barber e Lee (1974) relataram que a absorção de Mn pelas plantas é afetada em solo esterilizado, demonstrando que os microrganismos possuem atuação direta na absorção desse nutriente. A maioria das bactérias do gênero *Bacillus* são gram-positivas e possuem quantidade significativa de ácido teicoico e peptidoglicano. Esses compostos possuem grupos amida e carboxila que podem conferir às células uma carga funcional através da perda de prótons, que são originadas da atração eletrostática de metais como o Mn e Zn (XU et al., 2019).

Armada et al. (2014) relataram incremento no teor de Mn em folhas de *Lavandula dentata* e *Salvia officinalis* através da inoculação com *Bacillus* sp. Huang et al. (2020), em um estudo de fitorremediação sobre metais pesados, relataram que duas espécies do gênero *Bacillus* sp. foram capazes de aprimorar a absorção de Mn e aumentar o teor desse nutriente nas folhas e no caule de *Broussonetia papyrifera*, enquanto o teor teve decréscimo nas raízes com a inoculação. Assim como Brunetti et al. (2012), ao estudar o efeito de *Bacillus licheniformis* na fitoextração de Cu em solos contaminados, obtiveram incremento no teor de Cu na parte aérea de *Brassica alba*. O incremento encontrado por Brunetti et al., (2012) que as espécies de *Bacillus* sp. estudadas promoveram maior translocação desses nutrientes para a parte aérea. Aliado a isso, os autores demonstram maior atividade radicular, comprimento e área superficial de raízes na presença dessas bactérias, o que demonstra, assim como

nesse trabalho que variáveis morfológicas radiculares estão intimamente interligadas com a absorção e translocação de micronutrientes, como o Zn, Mn e Cu.

O zinco desempenha papel importante em proteínas, em termos de atividades catalíticas e estruturais (Longnecker; Robson, 1993; Broadley et al., 2007; Tsonev; Lidon, 2012; Taiz; Zeigher, 2017; Stanton et al., 2022). A mobilidade do Zn no solo está diretamente associada ao metabolismo microbiano (Wyszkowska et al., 2013). A absorção e o transporte de Zn e Fe nas plantas ocorrem em várias etapas e podem ser afetadas pela presença de nitrogênio mediado pelos microrganismos (RANA et al., 2012). Há evidências que o status de nitrogênio das plantas pode ter impacto positivo na translocação de nutrientes entre a raiz e a parte aérea, além de exercer efeitos positivos na absorção radicular de Zn e Fe (RANA et al., 2012).

Rana et al. (2012) demonstraram correlação altamente significativa dos micronutrientes Fe e Zn com as concentrações de N e P, o que foi comprovada neste estudo com correlação significativa entre esses nutrientes (Figura 20). Isso sugere que a dinâmica destes nutrientes está correlacionada de alguma forma. A melhoria do estado nutricional com relação aos nutrientes N e P pode ter favorecido a absorção de Zn. A solubilização do Zn pelas BPCV ainda é uma abordagem relativamente recente, portanto, a maioria das linhagens não foi testada quanto a esse mecanismo (Kamran et al., 2017). Entretanto, relata-se que para sequestrar íons metálicos os microrganismos produzem ácidos orgânicos e exsudam agentes quelantes, além da excreção de sideróforos, que também está relacionado com a dinâmica do íon Zn.

Bacillus subtilis aumentou a concentração de Zn na parte aérea de *Orychophragmus violaceus* (Wyszkowska et al., 2013). Há relatos de acidificação da rizosfera provocada pela inoculação com *Bacillus* (Yu et al., 2011). A produção de ácidos orgânicos pode facilitar a mobilização de Zn, reduzindo a adsorção nos coloides do solo (Jones Júnior, 1998). Ramesh et al. (2014) isolaram três cepas de *Bacillus aryabhattai* da raiz de soja e constataram que acidificação da rizosfera promovida por essas cepas reduziu o zinco organicamente complexo e promoveu aumento do zinco disponível para absorção.

No momento da colheita das plantas, as variáveis de produção AC, DC, NN e CE não foram influenciados pela inoculação com as BPCV. Entretanto, o NC por metro foi maior na presença das bactérias para os regimes 33 e 100%. Assim como neste estudo, alguns autores relaram incremento no número de colmos com a inoculação de espécies do gênero *Bacillus* (Sundara et al., 2002; Brandi et al., 2018; Fonseca et

al., 2022, Santos et al., 2022), o que também pode estar associado a maior sobrevivência relatada no início do ciclo

O número de colmos por metro é um componente da produtividade que atua como forte indicativo de tolerância à seca em cana-de-açúcar (Silva et al., 2008), portanto, o incremento obtido a partir da inoculação no regime inicial de 33% demonstra o potencial de promoção de tolerância das espécies de *Bacillus* estudadas. O incremento observado para essa variável nos regimes 33 e 100% resultaram em maiores taxas de multiplicação da MEIOSI nessas condições, considerando o alto nível de correlação entre essas variáveis ($R^2 = 0,8$). Portanto, é pertinente enfatizar os efeitos benéficos da inoculação com duas espécies de *Bacillus* spp. em MPB no contexto da produção de material propagativo de base para o sistema de MEIOSI. O aumento no número de colmos resulta em maiores quantidades de material vegetal adequado para o plantio subsequente em toda a área (CTC, 2017; Betiol et al., 2021).

Os diferentes regimes influenciaram na quantidade de nós, e consequentemente no comprimento. Os menores regimes resultaram em menores comprimento de entrenós. Esse fenômeno é comumente chamado de encarretelamento e é comum em condições de estresse hídrico (Segato et al., 2006). Portanto, como a taxa de multiplicação é resultado do número de colmos por metro e o número de gemas por colmo (CTC, 2017), e menores lâminas de irrigação inicial resultaram em entrenós mais curtos e maior quantidade de nós/gemas, a taxa de multiplicação respondeu com linearidade inversamente proporcional aos regimes.

6 CONCLUSÕES

A inoculação com *Bacillus licheniformis* linhagem FMCH001 (DSM32154) e *Bacillus subtilis* linhagem FMCH002 (DSM32155) aumenta a sobrevivência e eficiência do uso da água de MPB de cana-de-açúcar em campo. A inoculação com as duas bactérias foi benéfica para o crescimento da cultura no sistema MEIOSI, principalmente por incrementar atributos radiculares e consequentemente contribuir para a absorção dos nutrientes N, P, Mn, Zn. Por fim, a inoculação incrementou o número de colmos nos regimes iniciais de 33% e 100%, o que resultou em maior taxa de multiplicação no sistema MEIOSI. Portanto, esse manejo pode contribuir na eficiência do uso de recursos hídricos na formação de canaviais por meio de material vegetal resultante de mudas pré-brotadas.

REFERÊNCIAS

- ABES, S. da S.; DA COSTA, A. S.; STEINER, F.; RODRIGUES, D. H. S.; DA SILVA, K. C.; LIMA, I. M. O. *Azospirillum brasilense* application in pre-sprouted seedlings (PSS) of sugarcane. **Ensaio e Ciências Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 25, n. 3, p. 295-301.
- AERTS, R. Interspecific competition in natural plant communities: mechanisms, trade-offs and plant-soil feedbacks. **Journal of Experimental Botany**, v. 50, n. 330, p. 29-37, 1999.
- AKHTAR, S. S.; AMBY, D. B.; HEGELUND, J. N.; FIMOGNARI, L.; GROBKINSKY, D. K.; WESTERGAARD, J. C.; MULLER, R.; MOELBAK, L.; LIU, F.; ROITSCH, T. *Bacillus licheniformis* FMCH001 increases water use efficiency via growth stimulation in both normal and drought conditions. **Frontiers in Plant Science**, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00297>.
- ALI, O.; CHEDDADI, I.; LANDREIN, B.; LONG, Y. Revisiting the relationship between turgor pressure and plant cell growth. **New Phytologist**, v. 238, n. 1, p. 62-69, 2022.
- ALMEIDA NETO, L. A.; GUISELINI, D. M.; CORDEIRO JÚNIOR, J. J.; PANDORFI, H. Growth of pre-sprouted sugarcane seedlings submitted to supplementary lighting. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 194-199, 2020.
- ARMADA, E.; ROLDÁN, A.; AZCON, R. Differential activity of autochthonous bacteria in controlling drought stress in native *Lavandula* and *Salvia* plants species under drought conditions in natural arid soil. **Microbial Ecology**, v. 67, p. 410-420, 2014.
- BABOLA, O. O. Beneficial bacteria of agricultural importance. **Biotechnology letters**, v. 32, p. 1559-1570, 2010.
- BARBER, D. A.; LEE, R. B. The effect of microorganisms on the absorption of manganese by plants. **New Phytologist**, v. 73, n. 1, p. 97-106, 1974.
- BARBOSA, A. M.; ZILLIANI, R. R.; TIRITAN, C. S.; SOUZA, G. M.; SILVA, M. A. Energy conversion efficiency in sugarcane cultivars as a function of production environments in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 150, p. 111500, 2021.
- BARCELOS, J. E. T. Meiosi – Cana e Alimentos, método inter-rotacional ocorrendo simultaneamente. **Revista Saccharum**, v. 7, n. 31, p. 10-18, 1984.
- BARTLETT, M. K.; SCOFFONI, C.; SACK, L. The determinants of leaf turgor loss point and prediction of drought tolerance of species and biomes: A global meta-analysis. **Ecol. Lett.** V. 15, p. 393–405, 2005.

BASHAN, Y.; BASHAN, L. E. Plant growth-promoting. **Encyclopedia of soils in the environment**, v. 1, p. 103-115, 2005.

BASU, S.; RABARA, R.; NEGI, S. Towards a better greener future - an alternative strategy using biofertilizers. I: Plant growth promoting bacteria. **Plant Gene**, v. 12, p. 43-49, 2017.

BENGOUGH, A. G.; MCKENZIE, B. M.; HALLETT, P. D.; VALENTINE, T. A. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 1, p. 59-68, 2011.

BETIOL, O.; VALOCHI, R.; MICHELOTTO, M. D.; ANGELI, C. E.; BOLONHEZI, D. Pod yield and aflatoxin in peanut cultivated in different soil tillage under sugarcane renovation in the MEIOSI system. **South American Sciences**, 2021.

BLACKBURN, F. The origin and history of sugarcane, p. 18-29. In: BLACKBURN, F. **Sugarcane**. Harlow: Longman, 1984, p. 414.

BRAGA, N. C. C.; SEVERIANO, E. C.; SANTOS, L. S.; RÚBIO NETO, A.; RODRIGUES, T. M.; LIMA, J. D. P. Production of sugarcane seedlings pre-sprouted in commercial and alternative substrates with by-products of the sugarcane industry. **Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 33-48, 2019.

BRANDI, F.; HECK, D. W.; FERREIRA, T. C.; BETTIOL, W. Commercial formulations of *Bacillus* spp. for sugarcane pineapple disease control and growth promotion. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 12, 2018.
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001200003>.

BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P.; ZELKO, I.; LUX, A. Zinc in plants. **New Phytologist**, v. 173, n. 4, p. 677-702, 2007.

BRUNETTI, G.; FARRAG, K.; SOLER-ROVIRA, P.; FERRARA, M.; NIGRO, F.; SENESI, N. The effect of compost and *Bacillus licheniformis* on the phytoextraction of Cr, Cu, Pb, and Zn by three brassicaceae species from contaminated soil in the Apulia region, Southern Italy. **Geoderma**, v. 170, p. 332-330, 2012.

BRUNN, M.; HAFNER, B. D.; ZWETSLOOT, M. J.; WEIKL, F.; PRITSCH, K.; HIKINO, K.; RUEHR, N. K.; SAYER, E. J.; BAUERLE, T. L. Carbon allocation to root exudates in maintained in mature temperate tree species under drought. **New Phytologist**, v. 235, n. 3, p. 965-977, 2022.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JÚNIOR, D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. **Boletim 100**: Recomendações de adubação e calagem para estado de São Paulo. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 2022.

CHANDRA, A.; CHANDRA, P.; TRIPATHI, P. Whole genome sequence insight of two plant growth-promoting bacteria (*B. subtilis* BS87 and *B. megaterium* BM89) isolated

and characterized from sugarcane rhizosphere depicting better crop yield potentiality. **Microbiological Research**, v. 247, p. 126733, 2021.

CIPRIANO, M. A. P.; FREITAS-IÓRIO, R. D. P.; DIMITROV, M. R.; DE ANDRADE, S. A. L.; KURAMAE, E. E.; SILVEIRA, A. P. D. D. Plant-growth endophytic bacteria improve nutrient use efficiency and modulate foliar N-metabolites in sugarcane seedling. **Microorganisms**, v. 9, n. 3, p. 479, 2021.

CONAB. **Boletim da safra de cana-de-açúcar**. 1º levantamento: safra 2023/24, 2023. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 17 mai. 2023.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira – Cana-de-Açúcar**: Quarto levantamento, maio de 2021 – safra 2020/21. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, v. 7, n. 4, 2021

CONTESTO, C.; MILESI, S.; MANTELIN, S.; ZANCARINI, A.; DESBROSSES, G.; VAROQUAUX, F.; BELLINI, C.; KOWALEZYK, M.; TOURAINE, B. The auxin-signaling pathway is required for the lateral root response of *Arabidopsis* to the rhizobacterium *Phyllobacterium brassicacearum*. **Planta**, v. 232, 2010.

CTC. **Manual Técnico Meiosi**, 2019. Disponível em: <<https://ctc.com.br/produtos/storage/2018/09/Manual-de-Boas-Pr%C3%A1ticas-Meiosi-FEV2019-V5.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2022.

DALCORSO, G.; MANARA, A.; PIASENTIN, S.; FURINI, A. Elementos metálicos nutrientes em plantas. **Metallomics**, v. 6, n. 10, p. 1770-1788, 2014.

DANELON, A. F.; SPOLADOR, H. F. S.; BERGTOLD, J. S. The role of productivity and efficiency gains in the sugar-ethanol industry to reduce land expansion for sugarcane fields in Brazil. **Energy Policy**, v. 172, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113327>.

DI, Y. N.; KUI, L.; SINGH, P.; LIU, L. F.; XIE, L. Y.; HE, L. L.; LI, F. S. Identification and characterization of *Bacillus subtilis* B9: a diazotrophic plant growth-promoting endophytic bacterium isolated from sugarcane root. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 42, n. 3, p. 1720-1737, 2023.

DILLEWJIN, C. V. **Botany of sugar cane**. 1. ed. Guadeloupe, 1960 p.

DIMKPA, C.; WEINAND, T.; ASCH, F. Plant–rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. **Plant, Cell and Environment**, v. 32, p. 1682-1694, 2009.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. 1. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008, 882 p.

ELKOCA, E.; KANTAR, F.; SAHIN, F. Influence of nitrogen fixing and phosphorus solubilizing bacteria on the nodulation, plant growth, and yield of chickpe. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, n. 1, p. 157-171, 2007.

EMBIALE, A.M.; HUSSEIN, A.; HUSEN, S.; SAHILE, K.; MOHAMMED. Differential sensitivity of *Pisumsativum* L. cultivars to water-deficit stress: changes in growth, water status, chlorophyll fluorescence and gas exchange attributes. **Journal of Agronomy**, v.15, p.47- 57, 2016.

ESITKEN, A.; YILDIZ, H. E.; ERCISLI, S.; DONMEZ, M. F.; TURAN, M.; GUNES, A. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. **Scientia Horticulturae**, v. 124, n. 1, p. 62-66, 2010.

FAO. **Perspectivas Agrícolas OCDE-FAO**, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1787/19991142>>. Acesso em: 28 jul. 2023.

FERNANDES, E. T.; CAIRO, P. A. R; NOVAES, A. B. Physiological responses of eucalyptus clones grown in a greenhouse under water deficit. **Ciencia Rural**, v. 45, n. 1, 2015.

FERRARO, A. C.; FRANÇA, A. C.; MACHADO, C. M. M.; AGUIAR, F. R.; OLIVEIRA, L. L.; BRAGA NETO, A. M.; OLIVEIRA, R. G. Commercial characteristics of coffee seedlings produced with different sources of phosphorus and plant growth-promoting bacteria. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e270262, 2023.

FERREIRA, N. C.; MAZZUCHELLI, R. C. L.; PACHECO, A. C.; ARAÚJO, F. F.; ANTUNES, J. E. L.; ARAÚJO, A. S. F. *Bacillus subtilis* improves maize tolerance to salinity. **Ciência Rural**, v. 48, n.8, 2018.

FILIPPOU, P.; BOUCHAGIER, P.; SKOTTI, E.; FOTOPOULOS, V. Proline and reactive oxygen/nitrogen species metabolism is involved in the tolerant response of the invasive plant species *Ailanthus altissima* to drought and salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v.97, p.1-10, 2014.

FLUMINHAN A.; FLUMINHAN, T. V. A biotecnologia na produção em larga escala de mudas de cana-de-açúcar e a importância da automação dos processos. In: ZACHARIAS, A. A.; PIROLI, E. L.; DIAS, L. S. **Cana-de-açúcar, expansão, métodos, tecnologias e impactos**. Tupã: ANAP, 2020, p. 113-128.

FONSECA, M. D. C.; BOSSOLANI, J. W.; DE OLIVEIRA, S. L.; MORETTI, L. G.; PORTUGAL, J. R.; SCUDELETTI, D.; DE OLIVEIRA, E. F.; CRUSCIOL, C. A. C. *Bacillus subtilis* inoculation improves nutrient uptake and physiological activity in sugarcane under drought stress. **Microorganisms**, v. 10, n. 4, p. 809, 2022. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10040809>.

FRAGA, A. **Startup planeja produzir mais de 1 bilhão de mudas pré-brotadas de cana em 5 anos**. Disponível em:

<<https://globo rural.globo.com/Noticias/Agtech/noticia/2021/02/startup-planeja-produzir-mais-de-1-bilhao-de-mudas-pre-brotadas-de-cana-em-5-anos.html?>>. Acesso em: 01 dez. 2021.

FREITAS, M. A.; MEDEIROS, F. H.; CARVALHO, S. P.; GUILHERME, L. R.; TEIXEIRA, W. D.; ZHANG, H.; PARÉ, P. W. Augmenting iron accumulation in cassava by the beneficial soil bacterium *Bacillus subtilis* (GB03). **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 596, 2015.

FRIEDRICHSEN, J. S. A.; BRUNI, A. R. S.; SILVA, G. A. R.; GOMES, E. S.; SILVA, G. A. R.; GOMES, E. S.; SILVA, J. F.; IENTZ, G. A. S.; BAETA, F. S.; PIACQUADIO, N. M.; BULLA, M. K.; SANTOS, O. O. The proper use of residues from the sugar and ethanol agroindustry for the development of by-products: a review. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, 2023.

GAGNÉ-BOURQUE, F.; MAYER, B. F.; CHARRON, J. B.; VALI, H.; BERTRAND, A.; JABAJI, S. Accelerated growth rate and increased drought stress resilience of the model grass *Brachypodium distachyon* colonized by *Bacillus subtilis* B26. **PLoS One**, v. 10, n. 6, 2015.

GATES, D. M. Transpiration and Leaf Temperature. **Annu. Rev. Plant. Physiol.**, v. 19, p. 211-238, 1968.

GAZOLA, T.; CIPOLA FILHO, M. L. FRANCO JÚNIOR, N. C. Avaliação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar provenientes de substratos submetidos a adubação química e orgânica. **Científica**, v. 45, n. 3, p. 300-306, 2017.

GILIO, L.; DE MORAES, M. A. F. D. Sugarcane industry's socioeconomic impact in São Paulo, Brazil: A spatial dynamic panel approach. **Energy Economics**, v. 58, p. 27-37, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.06.005>.

GÍRIO, L. A. D. S.; DIAS, F. L. F.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; SCHULTZ, N.; BOLONHEZI, D.; MUTTON, M. A. Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 33-43, 2015.

GLICK, B. R. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 41, n. 2, p. 109-117, 1995.

GLICK, B. R.; CHENG, Z.; CZARNY, J.; DUAN, J.. Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria. **European Journal of Plant Pathology**, v.119, p. 329–339, 2007.

GOMES, C. Sistema muda conceito de plantio. **Jornal A Lavoura**, Campinas, n. 696, p. 38-39, 2013.

GROVER, M.; SKZ, A.; SANDHYA, V.; RASUL, A.; VENKATERWARLU. Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stresses. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 27, p. 1231-1240, 2011.

GROVER, M.; SKZ, A.; YADAV, S. K. Influence of *Bacillus* spp. strains on seedling growth and physiological parameters of sorghum under moisture stress conditions. **Journal of Basic Microbiology**, v.54, n.9, 2014.

GUO, P.; NISHIYAMA, A.; RAHMAN, M.; NAGAI, Y.; NOMA, T.; NAMBA, T.; KOHNO, M. Contribution of reactive oxygen species to the pathogenesis of left ventricular failure in Dahl salt-sensitive hypertensive rats: effects of angiotensin II blockade. **Journal of Hypertension**, v.24, n.6, p. 1097-1104, 2006.

GUPTA, A.; BANO, A.; RAI, S.; MISHRA, R.; SINGH, M.; SHARMA, S.; PATHAK, N. Mechanistic insights of plant-microbe interaction towards drought and salinity stress in plants for enhancing the agriculture productivity. **Plant Stress**, v. 4, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100073>.

GURURANI, M. A.; UPADHYAYA, C. P.; BASKAR, V.; VENKATESH, J.; NOOKARAJU, A.; PARK, S. W. Plant growth-promoting rhizobacteria enhance abiotic stress tolerance in *Solanum tuberosum* through inducing changes in the expression of ROS-scavenging enzymes and improved photosynthetic performance. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.32, n.2, p. 245-258, 2012.

GUTIÉRREZ-MAÑERO, F. J.; RAMOS-SOLANO, B.; PROBANZA, A. N.; MEHOUACHI, J.; RADEO, R. F.; TALON, M. The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. **Physiologia Plantarum**, v. 111, n. 2, p. 206-211, 2001.

HAN, Y.; WHITE, P. J.; CHENG, L. Mechanisms for improving phosphorus utilization efficiency in plants. **Annals of Botany**, v. 129, n. 3, p. 247-258, 2022.

HARDOIM, P. R.; OVERBEEK, L. S.; BERG, G.; PIRTTILA, A. M.; COMPANT, S.; CAMPISANO, A.; DORING, M.; SESSITSCH, A. The hidden world within plants: ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, Washington, v. 79, n. 3, p. 293-320, 2015.

HASHEM, A.; TABASSUM, B.; ABD-ALLAH, E. F. *Bacillus subtilis*: a plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 6, 2019, p. 1291-1297. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>.

- HASSAN, M. K.; MCLNROY, J. A.; KLOEPPER, J. W. The interactions of rhizodeposits with plant growth-promoting rhizobacteria in the rhizosphere: a review. **Agriculture**, v. 9, n. 7, p. 142, 2019.
- HE, L.; YUE, Z.; CHEN, C.; LI, C.; LI, J.; SUN, Z. Enhancing iron uptake and alleviating iron toxicity in wheat by plant growth-promoting bacteria: theories and practices. **International Journal Agriculture e Biology**, v. 23, n. 1, p. 190-196, 2020.
- HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. D. S. Um método para estimar a área foliar da cana-de-açúcar. **STAB-Açúcar e Álcool e Subprodutos**, v. 17, n. 5, p. 32-34, 1999.
- HOONGENBOOM, G.; PETERSON, C. M.; HUCK, M. G. Shoot growth rate of soybean as affected by drought stress 1. **Agronomy Journal**, v. 79, n. 4, p. 598-607, 1987.
- HOPMANS, J. W.; BRISTOW, K. L. Current capabilities and future needs of root water and nutriente uptake modeling. **Advances in Agronomy**, v. 77, p. 103-183, 2002.
- HOSSAIN, G. M. A.; SOLAIMAN, A. R. M.; KARIM, A. J. M. S.; RAHMAN, G. K. M. M.; MIA, M. A. B. Influence of diazotrophic bacteria on growth and biomass production of sugarcane *invitro*. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 9, n. 3, p. 3077-3088, 2020.
- HUANG, H.; ZHAO, Y.; FAN, L.; JUN, Q.; YANG, G.; XU, Z. Improvement of manganese phytoremediation by *Broussonetia papyrifera* with two plant growth promoting (PGP) *Bacillus* species. **Chemosphere**, v. 260, p. 127614, 2020.
- IAC. Boletim Técnico 226. **Censo Varietal IAC**. Campinas. Instituto Agrônômico Campinas, 2021.
- INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v. 92, p. 185-202, 2005.
- JAMES, N.; UMESH, M.; SAROJINI, S.; SHANMUGAN, S.; NASIF, O.; ALHARBI, S. A.; CHI, N. T. L.; BRINDHADEVI, K. Unravelling the potential plant growth activity of halotolerant *Bacillus licheniformis* NJ04 isolated from soil and its possible use as a green bioinoculant on *Solanum lycopersicum* L. **Environmental Research**, v. 216, n. 2, 2023.
- JONES JÚNIOR, J. B. Soil test methods: past, presente and future use of soil extractants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 29, n. 11-14, p. 1543-1552, 1998.

JUNGINGER, M.; GOH, C. S.; FAALJ, A. **International Bioenergy Trade: History, status e outlook on securing sustainable bioenergy supply, demand and markets**. 1 ed. Springer, 2014, 233 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6982-3>.

KAMRAM, S.; SHAHID, I.; BAIG, D. N.; RIZWAN, M.; MALIK, K. A.; MEHNAZ, S. Contribution of zinc solubilizing bacteria in growth promotion and zinc content of wheat. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, p. 2593, 2017.

KANG, S. M.; RADHAKRISHNAN, R.; LEE, K. E.; YOU, Y. H.; KO, J. H.; KIM, J. H.; LEE, I. J. Mechanism of plant growth promotion elicited by *Bacillus* sp. LKE15 in oriental melon. **Acta Agriculture Scandinavica**, Section B – Soil e Plant Science, v. 65, n. 7, p. 637-647, 2015.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. New York: Academic Press, 1995.

KUAN, K. B.; OTHMAN, R.; ABDUL, K. R.; SHAMSUDDIN, Z. H. Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation to enhance vegetative growth, nitrogen fixation and nitrogen remobilisation of maize under greenhouse conditions. **PloS One**, v. 11, n. 3, p. e0152478, 2016.

KUMAR, D.; MALIK, N.; SENGAR, R. S. Physio-biochemical insights sugarcane genotypes under water stress. **Biological Rhythm Research**, v. 52, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1587838>.

LAMIZADEH, E.; ENAYATIZAMIR, N.; MOTAMEDI, H. Isolation and identification of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) from the rhizosphere of sugarcane in saline and non-saline soil. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 5, n. 10, p. 1072-1083, 2016.

LANDELL, M. D. A.; SILVA, M. D. A. As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. **Visão Agrícola**, v. 1, n. 1, p. 18-23, 2004.

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2012, 16 p.

LEGG, S. **IPCC, 2021: Climate change 2021 – the physical science basis**. Disponível em: <<https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/informit.315096509383738>>. Acesso em: fev. 2023.

LIM, J. H.; KIM, S. D. Induction of drought stress resistance by multi-functional PGPR *Bacillus licheniformis* K11 in Pepper. **The Plant Pathology Journal**. Daegu, v. 29. n. 2, p. 201-208, 2013.

LONGNECKER, N. E.; ROBSON, A. D. Distribution and transport of zinc in plants. In. **Zinc in Soils and Plants: Proceedings of the International Symposium on 'Zinc in**

Soil and Plants'. The University of Western Australia. Dordrecht: Springer Netherlands, 1993, p. 79-91.

LUGTENBERG, B.; KAMILOVA, F. Plant-growth-promoting rhizobacteria. **Annual Review of Microbiology**, v. 63, p. 541-556, 2009.

MACAN, N. P. F.; FERRAREZI, R. S.; MATSURA, E. E.; MAIA, A. H. N.; XAVIER, M. A.; DA SILVA, T. P. C. T. Fertilizar recommendations for sugarcane pre-sprouted seedling production in ebb-and-flow subirrigation benches. **Sugar Tech**, v. 22, p. 976-986, 2020.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. D. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1575-1582, 2009.

MAHAPATRA, S.; YADAV, R.; RAMAKRISHNA, W. *Bacillus subtilis* impact on plant growth, soil health and environment: Dr. Jekyll and Mr. Hyde. **Journal of Applied Microbiology**, v. 132, n. 5, p. 3543-3562, 2022.

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

MALHOTRA, H.; VANDANA, S. S.; PANDEY, R. Phosphorus nutrition: plant growth in response to deficiency and excess. **Plant nutrientes and abiotic stress tolerance**, p. 171-190, 2018.

MANCOSU, N.; SNYDER, R. L.; KYRIAKAKIS, G.; SPANO, D. Water scarcity future challenges for food production. **Water**, v. 7, n. 3, p. 975-992, 2015. <https://doi.org/10.3390/w7030975>.

MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, E. C.; VENDAS, C. R. G.; ESPINOZA-NÚÑEZ, E.; MAGALHÃES FILHO, J. R.; SOUZA, G. M.; PIRES, R. C. M.; RIBEIRO, R. V. Physiological plasticity is importante for mantaining sugarcane growth under water deficit. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 2148, 2017.

MARIN, F. R.; INMAN-BAMBER, G.; SILVA, T. G.; VIANNA, M. S.; NASSIF, D. S.; CARVALHO, K. S. Sugarcane evapotranspiration and irrigation requirements in tropical climates. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 140, p. 1349-1357, 2020.

MARTINS, A. P. C.; ALBRECHT, L. P.; CASTALDO, J.; CARNEIRO, R.; ZUCARELI, V. Novas tecnologias no plantio de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp). **Journal of Agronomic Sciences**, v. 4, p. 301-317, 2015.

MATSUOKA, S.; FERRO, J.; ARRUDA P. The Brazilian experience of sugarcane ethanol industry. **In Vitro Cellular e Developmental Biology – Plant**, v. 45, p. 372-381, 2009.

MAY, A.; RAMOS, N. P.; SANTOS, M. S.; SILVA, E. H. F. M.; ROSSI, P.; VIANA, R. S. Pre-sprouted seedlings production methods through buds or mini-stems emergence and initial development of sugarcane cultivars. **Científica**, v. 46, n. 4, p. 403-411, 2018.

MICHAVILA, G.; ALIBRANDI, P.; CINÀ, P.; WELIN, B.; CASTAGNARO, A. P.; CHALFOUN, N. R.; NOGUERA, A. S.; PUGLIA, A. M. CIACCIO, M.; RACEDO, J. Plant growth-promoting bacteria isolated from sugarcane improve the survival of micropropagated plants during acclimatisation. **Italian Journal of Agronomy**, v. 17, n. 2, 2022. <https://doi.org/10.4081/ija.2022.2006>.

NAVEED, M.; HUSSAIN, M. B.; ZAHIR, Z. A.; MITTER, B.; SESSITSCH, A. Drought stress amelioration in wheat through inoculation with *Burkholderia phytofirmans* strain PsJN. **Plant Growth Regulation**, v. 73, p. 121-131, 2014.

NGUYEN, C. Rhizodeposition of organic C by plants: mechanisms and controls. **Agronomie**, v. 23, n. 5-6, p. 375-396, 2003.

NUMAN, M.; BASHIR, S.; KHAN, Y.; MUMTAZ, R.; SHINWARI, Z. K.; KHAN, A. L.; KHAN, A.; AL-HARRASI, A. Plant growth promoting bacteria as na alternative strategy for salt tolerance in plants: a review. **Microbiological Research**, v. 209, p. 21-32, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.02.003>.

OLIVEIRA, I. N.; DE SOUZA, Z. M.; BOLONHEZI, D.; TOTTI, M. C. V.; DE MORAES, M. T.; LOVERA, L. H.; LIMA, E. S.; ESTEBAN, D. A. A.; OLIVEIRA, C. F. Tillage systems impact on soil physical attributes, sugarcane yield and root system propagated by pre-sprouted seedlings. **Soil and Tillage Research**, v. 223, p. 105460, 2022.

OTTO, R.; MACHADO, B. A.; DA SILVA, A. C. M.; DE CASTRO, S. G. Q.; LISBOA, I. P. Sugarcane pre-sprouted seedlings: A novel method for sugarcane establishment. **Field Crops Research**, v. 275, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108336>.

PIETERSE, C. M. J.; DE JONGE, R.; BERENDSEN, R. L. The soil-borne supremacy. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 3, p. 171-173, 2016.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, v. 191, 2004.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 3, p. 869-882, 2011. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq340>.

PINTO, E. S. L. **Cana-de-açúcar**. Serviço de Informação Agrícola, Ministério da Agricultura, 1965.

PINTO, L. E. V.; SPÓSITO, T. H. N.; GODINHO, A. M. M.; MARTINS, F. B. Produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em função de diferentes substratos. **Colloquium Agrariae**, v. 12, n. especial, p. 93-99, 2016.

POPP, A.; DIETRICH, J. P.; LOTZE-CAMPEN, H.; KLEIN, D.; BAUER, N.; KRAUSE, M.; BERINGER, T.; GERTEN, D.; EDENHOFER, O. The economic potential of bioenergy for climate change mitigation with special attention given to implications for the land system. **Environmental Research Letters**, v. 6, n. 3, 2011.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/3/034017>.

PORTES, T. D. A.; CASTRO JÚNIOR, L. D. Análise de crescimento de plantas: um programa computacional auxiliar. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, n. 1, p. 53-56, 1991.

PRADO, H.; PÁDUA JUNIOR, A. L.; GARCIA, J. C.; MORAES, J. D.; CARVALHO, J. D.; DONZELI, P.L. Solos e ambientes de produção, p. 179-204. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; DE VASCONCELOS, A. C. M. LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008, 404 p.

RADFORD, P. J. Growth analysis formulae. Their use and abuse. **Crop Science**, v. 7, p. 171-175, 1967.

RADHAKRISHNAN, R.; HASHEM, A.; ABD-ALLAH, E. F. *Bacillus*: a biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in adverse environments. **Frontiers in Physiology**, v. 8, 2017.

RAGHOTHAMA, K. G.; KARTHIKEYAN, A. S. Phosphate acquisition. **Plant and Soil**, v. 274, p. 37-49, 2005.

RAHMAN, M. S.; KHATUN, S.; RAHMAN, M. K. Sugarcane and sugar industry in Bangladesh: A overview. **Sugar Tech**, v. 18, p. 627-635, 2016.

RAMESH, A.; SHARMA, S. K.; SHARMA, M. P.; YADAV, N.; JOSHI, O. P. Inoculation of zinc solubilizing *Bacillus aryabhattai* strains for improved growth, mobilization and biofortification of zinc in soybean and wheat cultivated in Vertisols of central India. **Applied Soil Ecology**, v. 73, p. 87-96, 2014.

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 185, n. 2, p. 83-89, 2000.

RANA, A.; SAHARAN, B.; NAIN, L.; PRASANNA, R.; SHIVAY, Y. S. Enhancing micronutrient uptake and yield of wheat through bacterial PGPR consortia. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 58, n. 5, p. 573-582, 2012.

REIS, V. M.; ALVES, B. J.; HARTMANN, A.; JAMES, E. K.; ZILLI, J. E. Beneficial microorganisms in agriculture: the future of plant growth-promoting rhizobacteria. **Plant and Soil**, v. 451, p. 1-3, 2020.

ROBERTSON, M. J.; INMAN-BAMBER, N. G.; MUCHOW, R. C.; WOOD, A. W. Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit. **Field Crops Research**, v. 64, n. 3, p. 211-227, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(99\)00042-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00042-8).

RODRIGUES, J. D.; JADOSKI, C. J.; FAGAN, E. B.; ONO, E. O.; SOARES, L. H.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia da produção de cana-de-açúcar**. 1. ed. São Paulo: Andrei, 2018, 177 p.

RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R.; GONZALES, T.; BASHAN, Y. Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growth-promoting bacteria. **Plant and Soil**, v. 287, p. 15-21, 2006.

ROSSETTO, L.; PIERANGELI, G. M. F.; KURAMAE, E. E.; XAVIER, M. A.; CIPRIANO, M. A. P.; SILVEIRA, A. P. D. D. Sugarcane pre-sprouted seedlings produced with beneficial bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi. **Bragantia**, v. 80, 2021.

ROSSETTO, R.; RAMOS, N. P.; PIRES, R. C. M.; XAVIER, M. A.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M. G. A. Sustainability in sugarcane supply chain in Brazil: Issues and way forward. **Sugar Tech**, v. 24, n. 3, p. 941-966, 2022.

SAIED, A.; PROCHOWNIK, E.; DOBROWOLSKA-IWANIEK, J. Phosphorus solubilization by *Bacillus* species. **Molecules**, v. 23, n.11, 2018. <https://doi.org/10.3390/molecules23112897>.

SANDRINI, M. E.; DARLI, A. B.; COELHO, A. P.; DE FARIA, R. T.; PALARETTI, L. F. Evapotranspiração, coeficiente de cultura de cana-de-açúcar plantada por mudas pré-brotadas e por toletes. **Irriga**, v. 1, n. 3, 2021.

SANKAR, B.; JALEEL, C.A.; MANIVANNAN, P.; KISHOREKUMAR, A.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Droughtinduced biochemical modifications and proline metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. **Acta Botanical Croatia** v.66, p. 43–56, 2007.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018, 356 p

SANTOS, H. L.; SILVA, G. F. D.; CARNIETTO, M. R. A.; OLIVEIRA, L. C.; NOGUEIRA, C. H. D. C.; SILVA, M. D. A. *Bacillus velezensis* associated with organomineral fertilizer and reduced phosphate doses improves soil microbial – Chemical Properties and biomass of sugarcane. **Agronomy**, v. 12, n. 11, p. 2701, 2022.

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

SANTOS, S. G.; CHAVES, V. A.; RIBEIRO, F. S.; ALVES, G. C.; REIS, V. M. Rooting and growth of pre-germinated sugarcane seedlings inoculated with diazotrophic bacteria. **Applied Soil Ecology**, v. 133, p. 12-23, 2019.

SANTOYO, G.; URTIS-FLORES, C. A.; LOEZA-LARA, P. D.; OZORCO-MOSQUEDA, M. C.; GLICK, B. R. Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). **Biology**, v. 10, n. 6, 2021. <https://doi.org/10.3390/biology10060475>.

SARKAR, A.; REINHOLD-HUREK, B. Transcriptional profiling of nitrogen fixation and the role of NifA in the diazotrophic endophyte *Azoarcus* sp. strain BH72. **PLoS One**, v. 9, n. 2, 2014.

SAXENA, A. K.; KUMAR, M.; CHAKDAR, H.; ANUROOPA, N.; BAGYARAJ, D. J. *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. **Journal of Applied Microbiology**, v. 128, n. 6, p. 1583-1594, 2020. <https://doi.org/10.1111/jam.14506>.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. 415p.

SHUKLA, A.; GUPTA, A.; SRIVASTAVA, S. Bacterial consortium (*Priestia endophytica* NDAS01F, *Bacillus licheniformis* NDSA24R, and *Priestia flexa* NDAS28R) and thiourea mediated amelioration of arsenic stress and growth improvement of *Oriza sativa* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 195, p. 14-24, 2023.

SHUKLA, P.S.; SHOTTON, K.; NORMAN, E.; NEILY, W.; CRITCHLEY, A.T.; PRITHIVIRAJ, B.; Seaweed extract improve drought tolerance of soybean by regulating stress-response genes. **AOB Plants**, v.10, 2018.

SILVA, A. B. **Efeitos da inoculação de bactérias endofíticas em cacau: promoção de crescimento e aumento da resistência à podridão-parda**. Dissertação de Mestrado, UESC, PPG em em Genética e Biologia Molecular, 2010.

SILVA, M. A.; SILVA, J. A. G. D.; ENCISO, J.; SHARMA, V.; JIFON, J. Yield componentes as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agrícola**, v. 65, p. 620-627, 2008.

SILVA, P. P.; SOARES, L.; DA COSTA, J. G.; VIANA, L. S.; DE ANDRADE, J. C. F.; GONÇALVES, E. R.; DOS SANTOS, J. M.; BARBOSA, G. V. S.; NASCIMENTO, V. X.; TODARO, A. R.; RIFFEL, A.; GROSSI-DE-SA, M. F.; BARBOSA, M. H. P. B.,

SANT'ANA, A. E. G.; RAMALHO NETO, C. E. R. Path analysis for selection of drought tolerant sugarcane genotypes through physiological components. **Industrial Crops and Products**, v. 37, n. 1, p. 11-19, 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.11.015>.

SINDHU, R.; GNANSOUNOU, E.; BINOD, P.; PANDEY, A. Bioconversion of sugarcane crop residue for value added products – an overview. **Renewable Energy**, v. 98, p. 203-215, 2016.

SINGH, R. K.; SINGH, P.; LI, H.-B.; SONG, Q.-Q.; GUO, D.-J.; SOLANKI, M. K.; VERMA, K. K.; MALVIYA, M. K.; SONG, X.-P.; LAKSHMANAN, P.; YANG, L.-T.; LI, Y.-R. Diversity of nitrogen-fixing rhizobacteria associated with sugarcane: a comprehensive study of plant-microbe interactions for growth enhancement in *Saccharum* spp. **BMV Plant Biology**, v. 20, p. 1-21, 2020.

SMITH, D. M.; INMAN-BAMBER, N. G.; THORBURN, P. J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, v. 92, n. 2-3, p. 169-183, 2005.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.017>.

STANTON, C.; SANDERS, D.; KRAMER, U.; PODAR, D. Zinc in plants: integrating homeostasis and biofortification. **Molecular Plant**, v. 15, n. 1, p. 65-85, 2022.

SUNDARA, B.; NATARAJAN, V.; HARI, K. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yields. **Field Crops Research**, v. 77, n. 1, p. 43-49, 2002.

TAHIR, H. A. S.; GU, Q.; WU, H.; RAZA, W.; HANIF, A.; WU, L.; COLMAN, M. V.; GAO, X. Plant growth promotion by volatile organic compounds produced by *Bacillus subtilis* SYST2. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, p. 171, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEIXEIRA, G. C. M.; PRADO, R. M.; ROCHA, A. M. S. R.; DOS SANTOS, L. C. N.; SARAH, M. M. S.; GRATÃO, P. L.; FERNANDES, C. Silicon in pre-sprouted sugarcane seedlings mitigates the effects of water deficit after transplanting. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 849-859, 2020.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Research Article**, v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>.

TIMMUSK, S.; EL-DAIM, I. A. A.; COPOLOVICI, L.; TANILAS, T.; KANNASTE, A.; BEHERS L.; NEVO, E.; SEISENBAEVA, G.; STENSTROM, E.; NIINEMETS, U. Drought-tolerance of wheat improved by rhizosphere bacteria from harsh environments: enhanced biomass production and reduced emissions of stress volatiles. **Plos one**, v.9, n.5, 2014.

TIWARI, S.; PRASAD, V.; CHAUHAN, P. S.; LATA, C. *Bacillus amyloliquefaciens* confers tolerance to various abiotic stresses and modulates plant response to phytohormones through osmoprotection and gene expression regulation in rice. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017.

TSONEV, T.; LIDON, F. J. C. Zinc in plants – an overview. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 24, n. 4, 2012.

UYSAL, A.; FAIK, K. Effect of *Bacillus subtilis* and *Bacillus amyloliquefaciens* culture on the growth and yield of off-season potato (*Solanum tuberosum* L.). **Acta Agronômica**, v. 69, n.1, p. 26-31, 2020.

VADEZ, V.; KHOLOVA, J.; MEDINA, S.; KAKKARA, A.; ANDERBERG, H. Transpiration efficiency: new insights into an old story. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 21, p. 6141-6153, 2014.

VARDHARAJULA, S.; GROVER, M.; REDDY, G.; SKZ, A. Drought-tolerant plant growth promoting *Bacillus* spp.: effect on growth, osmolytes, and antioxidant status of maize under drought stress. **Journal of Plant Interactions**, v.6, n.1, p.1-14, 2011.

VEKATARAMAPPA, R.; MAHADEV, N. K.; VENKATESH, S.; BALAKRISHNAN, K. ; SURYAN, S.; SHIVASHANKAR, N. G.; SESHAGIRI, S. The isolation, characterization and identification of multifaceted halotolerant *Bacillus licheniformis* and *Bacillus wudalianchiensis* from rhizospheric soils of Bangalore. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, v. 11, n. 6, 2022.

VITTI, G. C.; OTTO, R.; FERREIRA, L. R. P. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**: manejo nutricional da cultura da cana-de-açúcar. Jaboticabal: ESALQ, 2015.

VURUKONDA, S. S. K. P.; VADHARAJULA, S.; SHRIVASTAVA, M.; SKZ, A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. **Microbiological Research**, v. 184, p. 13-24, 2016.

WACLAWOVSKY, A. J.; SATO, P. M.; LEMBKE, C. G.; MOORE, P. H.; SOUZA, G. M. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. **Plant Biotechnology Journal**, v. 8, n. 3, p. 263-276, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2009.00491.x>.

WALKER, E. L.; CONNOLLY, E. L. Time to pump iron: iron-deficiency-signaling mechanism of higher plants. **Current Opinions Plant Biology**, v. 11, p. 530-535, 2008.

WANG, J.; LI, R.; ZHANG, H.; WEI, G.; LI, Z. Beneficial bacteria activate nutrients and promote wheat growth under conditions of reduced fertilizer application. **BMC Microbiology**, v. 20, n. 38, 2020.

WHIPPS, J. M. **Carbon economy**: The rhizosphere. p. 59-97, 1990.

WYSZKOWSKA, J.; BOROWIK, A.; KUCHARSKI, M.; KUCHARSKI, J. Effect of cadmium, copper and zinc on plants, soil, microorganisms and soil enzymes. **Journal of Elementology**, v. 18, n. 4, 2013.

XIE, S. S.; WU, H. J.; ZANG, H. Y.; WU, L. M.; ZHU, Q. Q.; GAO, X. W. Plant growth promotion by spermidine-producing *Bacillus subtilis* OKB105. **Plant-Microbe Interactions**, v. 27, n. 7, p. 655-663, 2014.

XIONG, R.; LIU, S.; CONSIDINI, M. J.; SIDDIQUE, K. H.; LAM, H. M.; CHEN, Y. Root system architecture, physiological and transcriptional traits of soybean (*Glycine max* L.) in response to water deficit: a review. **Physiologia Plantarum**, v. 172, n. 2, p. 405-418, 2021.

XU, Z. G.; DING, Y.; HUANG, H. M.; WU, L.; ZHAO, Y. L.; YANG, G. Y. Biosorption characteristics of Mn (II) by *Bacillus cereus* strain HM-5 isolated from soil contaminated by manganese ore. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 44, n. 2, p. 463-466, 2019.

YANG J.; KLOEPPER J. W.; RYU C. M. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. **Trends in Plant Science**, v.14, n.1, 2009.

YU, X.; LIU, X.; ZHU, T. H.; LIU, G. H.; MAO, C. Isolation and characterization of phosphate-solubilizing bacteria from walnut and their effect on growth and phosphorus mobilization. **Biology and Fertility of Soils**, v. 47, p. 437-446, 2011.

ZHANG, H.; MURZELLO, C.; SUN, Y.; KIM, M.-S.; XIE, X.; JETER, R. M.; ZAK, J. C.; DOWD, S. E.; PARÉ, P. W. Choline and osmotic-stress tolerance induced in *Arabidopsis* by the soil microbe *Bacillus subtilis* (GB03). **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 23, n. 8, p. 1097-1104, 2010.

ZHANG, H.; SUN, Y.; XIE, X.; KIM, M. S.; DOWD, S. E.; PARÉ, P. W. A soil bacterium regulates plant acquisition of iron via deficiency-inducible mechanism. **The plant Journal**, v. 58, n. 4, p. 568-577, 2009.

ZHENG, L. MA, X.; LANG, D.; ZHANG, X.; ZHOU, L.; WANG, L.; ZHANG, X. Encapsulation of *Bacillus pumilus* G5 from polyvinyl alcohol-sodium alginate (PVA-AS) and its implications in improving plant growth and soil fertility under drought and salt soil conditions. **International Journal Biological Macromolecules**, v. 209, p. 231-243, 2022.

ZHOU, C.; ZHU, L.; XIE, Y.; LI, F.; XIAO, X.; MA, Z.; WANG, J. *Bacillus licheniformis* SA03 confers increased saline-alkaline tolerance in chrysanthemum plants by

induction of abscisic acid accumulation. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1143, 2017.

ZUBAIR, A.; NADEEM, M.; SHAH, A. A.; NELOFER, R. Statistical optimization, production and characterization of CMCase from mutante *Bacillus subtilis* ML-1UVb. **Journal of Multidisciplinary Approaches in Science**, v. 11, n. 1, p. 18-37, 2019.

APÊNDICE A - Coeficientes de variação (%)

Variáveis biométricas da parte aérea

(continua)

Fontes de Variação	DAT									
	45	63	83	105	126	145	175	192	211	231
Altura de planta										
I	17,16	7,21	11,63	9,78	15,35	15,34	26,53	22,61	15,48	19,43
RH	8,33	16,39	19,6	8,61	18,18	11,51	18,58	11,68	19,69	14,9
I x RH	14,66	23,99	21,85	13,13	11,35	14,36	12,4	22,15	11,67	10,28
Diâmetro de colmo										
I	16,94	15,8	21,38	15,86	7,59	14,14	2	2,71	4,06	11,38
RH	13,29	12,04	21,03	11,36	9,03	14,68	11,35	14,13	10,13	8,72
I x RH	11,45	12,15	14,92	4,94	10,38	9,42	8,1	12,53	8,49	11,15
Número de perfilhos										
I	31,76	14,75	15,71	10,97	19,2	16,63	15,12	22,13	27,57	21,56
RH	16,71	54,03	20,35	19,38	20,21	20,45	11,31	17,74	19,17	23,66
I x RH	27,11	40,74	19,92	13,99	23,16	24,7	15,68	12,36	18,75	22,24
Número de folhas por perfilho										
I	49,17	30,3	6,46	19,27	7,81	48,79	10,59	17,21	28,72	8,14
RH	30,5	52,06	19,29	19,52	18,95	27,51	13,99	12,73	11,91	10,88
I x RH	41,95	40,66	20,63	17,2	25,25	30,71	0,186	17,77	20,71	14,1
Comprimento de folha										
I	9,69	13,26	11,12	11,16	14,24	24,41	5,48	3,42	6,39	6,39
RH	13,3	13,16	15,85	7,3	15,1	17,37	9,68	6,65	8,71	8,71
I x RH	10,99	10,33	12,64	17,47	12,67	16,39	8,9	6,76	6,93	6,93
Largura de folha										
I	4,53	11,05	8,65	5,4	14,48	7,87	7,8	8,47	5,46	8,31
RH	12,5	6,88	16,72	5,49	9,98	7,7	14,06	12,67	11,81	9,83
I x RH	10,5	10,07	15,15	5,64	11,52	9,88	14,04	10,27	9,93	14,42
Número de folhas por touceira										
I	3,92	12,46	19,24	12,13	19,74	27,61	9,23	15,72	10,05	24,22
RH	12,11	13,92	28,74	14,78	30,03	9,32	20,22	11,96	14,36	21,57
I x RH	7,75	17,76	21,19	6,75	31,55	18,32	17,34	11,72	11,19	29,19
Área Foliar										
I	3,87	18,33	33,62	13,89	43,45	57,64	13,66	15,13	16,75	29,29
RH	22,52	11,84	29,09	20,04	44,6	26,17	33,67	19,29	21,75	28,21
I x RH	14,14	25,77	34,97	24,77	44,5	23,27	31,54	17,12	18,34	26,79
Massa seca foliar										
I	39,77	37,16	52,86	31,95	24,76	15,52	20,15	29,42	25,85	16,47
RH	42,81	30,49	40,59	25,56	26,93	18,9	22,06	23,24	20,24	24,81
I x RH	39,08	55,46	33,34	45,35	33,97	23,01	13,27	24,4	22,3	15,3

Variáveis biométricas da parte aérea

(conclusão)

Fontes de Variação	DAT									
	45	63	83	105	126	145	175	192	211	231
I	31,16	59,25	78,24	50,84	49,16	47,67	33,69	47,35	27,31	11,33
RH	54,16	31,26	37,88	46,78	33,73	28,46	29,92	26,09	35,71	37,44
I x RH	55,36	42,21	51,01	48,99	31,8	28,36	36,47	36,13	13,94	12,19
Massa seca total										
I	27,78	39,69	26,83	42,79	24,87	28,8	22,98	39,18	20,23	8,35
RH	42,04	26,01	34,39	35,22	23,08	19,49	18,15	18,61	28	33,87
I x RH	37,46	47,26	35,3	45,79	25,16	19,04	17,47	29,14	14,93	10,39

Variáveis nutricionais

Fontes de Variação	N	P	K	Ca	Mg	S
Teor						
I	6,73	2,58	9,61	4,06	7,54	13,28
RH	3,85	2,95	7,07	2,79	10,07	8,48
I x RH	7,12	2,67	8,24	2,02	7,59	13,7
Ácumulo						
I	49,37	40,84	36,24	19,72	35,81	35,27
RH	31,51	35,3	29,69	4,93	37,63	27,38
I x RH	52,31	55,09	53,8	11,75	54,88	50,34

Fontes de Variação	B	Mn	Zn	Fe	Cu
Teor					
I	15,35	6,16	7,26	5,48	19,73
RH	13,82	3,94	16,61	10,61	4,93
I x RH	24,84	6,67	17,24	8,49	11,75
Acúmulo					
I	35,98	37,89	40,97	45,68	16,78
RH	34,1	32,77	30,53	28,6	33,67
I x RH	52,03	55,28	60,48	57,36	59,97

Variáveis biométricas do sistema radicular

Variáveis	Fontes de Variação	Profundidades (cm)			
		0-20	20-40	40-60	60-80
Comprimento de raízes	I	22,56	69,38	65,83	72,9
	RH	34,27	49,65	62,66	49,38
	I x RH	12,88	55,29	60,89	52,56
Área superficial	I	6,92	47,12	83,12	98,01
	RH	36,94	46,76	74,74	55,76
	I x RH	19,41	53,11	83,6	64,79
Projeção de área	I	6,92	48,4	83,12	93,57
	RH	36,94	44,98	74,74	81,89
	I x RH	19,41	49,78	83,6	80,78
Volume de raízes	I	11,93	142,01	98,8	469,36
	RH	42,49	163,46	114,2	474,24
	I x RH	28,12	168,96	138,31	471,19
Diâmetro médio	I	9,89	24,18	43,31	31,33
	RH	25,23	21,72	41,97	30,02
	I x RH	26,31	21,45	47,51	26,29
Número de bifurcações	I	23,33	77,9	90,91	82,53
	RH	36,59	48,7	77,87	50,22
	I x RH	25,15	61,28	73,59	70,03

Variáveis de produção

Fontes de Variação	CC	DC	NN	CE	NC	M10	TCH	TM
I	7,12	1,77	6,21	5,24	4,92	5,8	11,89	15,35
RH	9,26	8,7	7,62	6,28	5,93	10,31	20,33	13,71
I x RH	5,89	5,25	9,23	9,87	6,24	13,21	16,37	9,87

CC: comprimento de colmo; DC: diâmetro de colmo; NN: número de nós; CE: comprimento de entrenós; NC: número de colmos; M10: massa de 10 colmos; TCH: toneladas de colmo por hectares; TM: taxa de multiplicação.

**APÊNDICE B - Fórmulas de ajuste das variáveis área foliar e massa seca total
para análise de crescimento**

Regimes	Inoculação	Área Foliar	Massa Seca Total
0%	Sem	$AF = (0,127544)^{[(0,0669459x) + (0,00015688x^2)]}$	$MST = (0,0391678)^{[(8,244699x) + (-0,0001717886x^2)]}$
	Com	$AF = (0,138542)^{[(0,06910851x) + (-0,0001667687x^2)]}$	$MST = (0,131898)^{[(0,07157959x) + (-0,0001433858x^2)]}$
33%	Sem	$AF = (0,1561928)^{(0,06819073x) + (-0,0001658657x^2)}$	$MST = (0,09134302)^{[(0,07757557x) + (-0,0001670575x^2)]}$
	Com	$AF = (0,1547024)^{[(0,07118981x) + (-0,000150865x^2)]}$	$MST = (0,1362462)^{[(0,07315873x) + (-0,000150865x^2)]}$
66%	Sem	$AF = (0,2150024)^{[(0,06975332x) + (-0,0001810158x^2)]}$	$MST = (0,09281182)^{[(0,07851504x) + (-0,0001689678x^2)]}$
	Com	$AF = (0,1390258)^{[(0,07676631x) + (-0,0002034792x^2)]}$	$MST = (0,1425825)^{[(0,07229401x) + (-0,0001474401x^2)]}$
100%	Sem	$AF = (0,2050578)^{[(0,0700891x) + (-0,0001820735x^2)]}$	$MST = (0,09886897)^{[(0,08210665x) + (-0,0001837812x^2)]}$
	Com	$AF = (0,1529837)^{[(0,08008989x) + (-0,0002172553x^2)]}$	$MST = (0,1154779)^{[(0,08325987x) + (-0,0001880663x^2)]}$
AF: área foliar; MST: massa seca total			

APÊNDICE C – Análise de variância para a variável Sobrevivência

Análise de Variância dos fatores inoculação com *Bacillus* spp. e regimes hídricos; e da interação na sobrevivência de MPB em campo

Causas da variação	GL	SQ	QM	F	p	CV
Regime Hídrico (RH)	3	1165,9084	388,63614583	42,66**	≤0,0001	-
Resíduo (RH)	9	81,9878	9,109756944	-	-	3,5863
Inoculação (I)	1	94,1878	94,1878125	11,42*	0,0431	-
Resíduo (I)	3	24,7359	8,2453124999	-	-	3,4119
Interação RH*I	3	39,3184	13,106145833	1,00 ^{ns}	0,4365	-
Resíduo (RH*I)	9	118,0128	13,112534722	-	-	4,3027
Blocos	3	9,0459	-	-	-	-
Total	31	1533,1972	-	-	-	-

GL: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrados Médios; CV: coeficiente de variação.

Análise de Variância para regressão polinomial – Regime Hídrico x Sobrevivência

Causas da variação	GL	SQ	QM	F	P
Regressão linear	1	1095,2866	1095,2866	87,54**	≤0,0001
Regressão quadrática	1	16,2352	16,2352	1,30 ^{ns}	0,2643
Regressão cúbica	1	71,3266	71,3266	5,70*	0,0240
Desvios de regressão	28	350,3488	12,5125	-	-
Total	31	1533,1972	-	-	-

GL: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrados Médios; CV: coeficiente de variação.