

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 31/08/2024

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until August 31, 2024

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

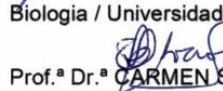
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia (Agricultura),
pela Comissão Examinadora:



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 <i>Bacillus</i> 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.

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 Agrônômico, 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 nutrient 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 *in vitro*. **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.; MOTAMED, 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 nutrientes 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 cádmium, copper and zinco n 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 chatacterization or phosphate-solubilizing bacteria from walnut and their effect on growth and phosphorua 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 *Aradopsis* 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-soium 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.