



**ELISABETE DA CRUZ SILVA WATANABE**

**RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR À  
SALINIDADE E BIOESTIMULANTE NO  
DESENVOLVIMENTO INICIAL**

**LAVRAS – MG  
2025**

**ELISABETE DA CRUZ SILVA WATANABE**

**RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR À SALINIDADE E  
BIOESTIMULANTE NO DESENVOLVIMENTO INICIAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das Exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Guilherme Vieira Pimentel  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2025**

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo(a) autor(a) através do Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA.**

Watanabe, Elisabete da Cruz Silva .

Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à salinidade e bioestimulante no desenvolvimento inicial / Elisabete da Cruz Silva Watanabe. 2025.  
57 p.

Orientador: Guilherme Vieira Pimentel

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2025.  
Bibliografia.

1. Cana-de-açúcar. 2. Bioestimulantes. 3. Salinidade em solos . I. Pimentel, Guilherme Vieira. II. Universidade Federal de Lavras. III. Título.

**ELISABETE DA CRUZ SILVA WATANABE**

**RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR À SALINIDADE E  
BIOESTIMULANTE NO DESENVOLVIMENTO INICIAL**

**RESPONSE OF SUGARCANE GENOTYPES TO SALINITY AND  
BIOSTIMULANT IN EARLY DEVELOPMENT**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das Exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 17 de fevereiro de 2025

Dr. Guilherme Vieira Pimentel

Dr. Luiz Antônio dos Bastos Andrade

Dr. Francislei Vitti Raposo

UFLA

UFLA

INEP/MEC

Prof. Dr. Guilherme Vieira Pimentel

Orientador

**LAVRAS - MINAS GERAIS  
2025**

*À minha mãe, Ilka, que sempre acreditou mais em mim do que eu mesma.  
Ao meu pai, Marcelino, que tornou tudo possível, dando tudo o que tem  
e o que não tem para tornar minha vida mais confortável.*

Dedico

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao meu orientador, professor Dr. Guilherme V. Pimentel, pela orientação, paciência e bom humor que sempre teve ao longo do meu mestrado.

Aos professores Drs. Paulo Marchiori, Rafael Peron e Dr.<sup>a</sup> Christiane Melo, pelo auxílio e dicas recebidas na qualificação do projeto.

Aos meus colegas, Natália, Amanda e Luiz, coorientados de pós graduação, que me auxiliaram ao longo dos experimentos, bem como os membros dos grupos Agroenergia e NECANA, cujo auxílio foi fundamental durante minha trajetória.

Aos técnicos, Arnold e Filipe, que sempre acompanharam as atividades do grupo.

Aos meus amigos, Carlos e Ana Clara, pelo apoio emocional nos últimos dois anos.

À minha psicóloga, Márcia Tavares, que me encorajou a conquistar os meus sonhos e a não desistir da trajetória que quero percorrer.

Ao programa de pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia.

À empresa Koppert por ceder os produtos testados.

Ao projeto da CASUR e à UFLA, que iniciou os trabalhos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

Muito obrigada!

*“Everything you want is on the other side of fear”*  
(Tudo o que você deseja está do lado de lá do medo)

– Autor desconhecido

## RESUMO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), com ênfase na produção de energia sustentável, como o etanol e a sua biomassa, entre outros coprodutos. Contudo, um fator limitante para o seu cultivo é a salinidade em solos, normalmente presente em regiões de clima semiárido, reduzindo a fertilidade do solo e dificultando o desenvolvimento vegetal. O uso de variedades que apresentem tolerância à salinidade é uma alternativa para essas regiões, bem como o uso produtos biológicos que mitiguem os estresses abióticos. Assim, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a tolerância à salinidade em 49 genótipos de cana-de-açúcar e a ação de diferentes doses dos produtos Roadster® (*Ascophyllum nodosum*) e Trichodermil® (*Trichoderma harzianum*) no crescimento de mudas cultivadas em solo sodificado. O experimento foi executado em casa de vegetação no setor de grandes culturas do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras. Foram realizados dois ensaios, cujo delineamento foi inteiramente casualizado, sendo o primeiro ensaio realizado no esquema fatorial 2x49, em que o primeiro fator foi duas concentrações de NaCl: controle [concentração encontrada naturalmente no solo, com condutividade elétrica de 0,083 dS m<sup>-1</sup>] e solo enriquecido [com adição de 100 mM de NaCl (CE = 7,2 dS m<sup>-1</sup>)] e o segundo fator, 49 genótipos após 33 dias, foi medida a massa seca da parte aérea, o índice de velocidade de brotação e, a partir desses dados, foram calculados os índices de tolerância à sodicidade. Os resultados revelaram que houve variação significativa entre os genótipos, com destaque para os genótipos H. Kawandang e RB72454. E a segunda parte, no esquema fatorial (2x6), sendo o primeiro fator dois níveis de concentração de sódio no solo (teor encontrado naturalmente e solo enriquecido com 100 mM de NaCl) e o segundo fator, diferentes doses dos produtos Roadster® [0; 1,25; 2,5; 5,0; 10,0 mL.L<sup>-1</sup>] mais um tratamento adicional de 2,5 mL.L<sup>-1</sup> do produto Trichodermil®. Após 60 dias, foram avaliados a altura do colmo, massa seca da parte aérea e índice de tolerância à salinidade da parte aérea. A dose de 10 mL.L<sup>-1</sup> de Roadster® destacou-se com os melhores resultados na maioria das variáveis analisadas enquanto as doses intermediárias de Roadster® evidenciaram possíveis efeitos negativos, com exceção para genótipos H. Kawandang e SP80-1842, na tolerância ao estresse salino. Em relação ao Trichodermil®, apenas a variedade CTC 9002 não diferenciou significativamente da maior dose de Roadster®, apresentando os melhores resultados.

Palavras-chave: Sodicidade, *Ascophyllum nodosum*, *Trichoderma harzianum*, Bioinsumos, *Saccharum* spp.

## ABSTRACT

Brazil is the world's largest producer of sugarcane (*Saccharum* spp.), with an emphasis on sustainable energy production, such as ethanol and biomass, among other byproducts. However, one limiting factor for its cultivation is soil salinity, commonly found in semi-arid regions, which reduces soil fertility and hinders plant development. The use of varieties that show tolerance to salinity is a viable alternative for these regions, as well as the use of biological products that mitigate abiotic stresses. Therefore, this study aimed to evaluate salinity tolerance in 49 sugarcane genotypes and the effects of different doses of the products Roadster® (*Ascophyllum nodosum*) and Trichodermil® (*Trichoderma harzianum*) on the growth of seedlings cultivated in sodic soil. The experiment was conducted in a greenhouse at the field crops sector of the Department of Agriculture at the Federal University of Lavras. Two trials were carried out using a completely randomized design. The first trial followed a 2x49 factorial scheme, with the first factor being two NaCl concentrations: control [naturally occurring concentration in the soil, with electrical conductivity of 0.083 dS m<sup>-1</sup>] and enriched soil [with the addition of 100 mM NaCl (EC = 7.2 dS m<sup>-1</sup>)]; the second factor comprised 49 genotypes. After 33 days, shoot dry mass and sprouting speed index were measured, and sodicity tolerance indices were calculated based on this data. The results revealed significant variation among genotypes, with H. Kawandang and RB72454 standing out. The second part of the study followed a 2x6 factorial scheme, with the first factor being two levels of soil sodium concentration (naturally occurring and enriched with 100 mM NaCl), and the second factor being different doses of Roadster® [0; 1.25; 2.5; 5.0; 10.0 mL·L<sup>-1</sup>], plus an additional treatment of 2.5 mL·L<sup>-1</sup> of Trichodermil®. After 60 days, stalk height, shoot dry mass, and shoot salinity tolerance index were evaluated. The 10 mL·L<sup>-1</sup> dose of Roadster® stood out with the best results in most of the variables analyzed, while intermediate doses of Roadster® showed possible negative effects—except in the genotypes H. Kawandang and SP80-1842—regarding tolerance to salt stress. Regarding Trichodermil®, only the variety CTC 9002 did not differ significantly from the highest Roadster® dose, showing the best results.

Keywords: Sodicity, *Ascophyllum nodosum*, *Trichoderma harzianum*, Biostimulants, *Saccharum* spp.

## **INDICADORES DE IMPACTO**

O trabalho executado enfatiza potenciais impactos no enfrentamento da salinidade em solos agrícolas, promovendo avanços tecnológicos na identificação de genótipos de cana-de-açúcar tolerantes ao estresse salino. Adicionalmente, destacou-se o uso de bioestimulantes naturais à base de extrato de alga e fungo. Assim, o projeto se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, no que diz respeito à Agricultura Sustentável e Vida Terrestre, buscado proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres. Os ODS são um conjunto de 17 metas globais que visam melhorar a qualidade de vida das pessoas, proteger o planeta e garantir a prosperidade da população mundial até 2030, como foco na sustentabilidade. O trabalho beneficia diretamente produtores em regiões semiáridas, com participação ativa de pesquisadores, estudantes e técnicos da UFLA, em consonância com as áreas temáticas da política nacional de extensão de tecnologia e produção e meio ambiente.

## **IMPACT INDICATORS**

The work carried out emphasizes potential impacts in addressing soil salinity in agricultural areas, promoting technological advances in the identification of sugarcane genotypes tolerant to salt stress. Additionally, the project highlighted the use of natural biostimulants based on seaweed and fungal extracts. Thus, the project aligns with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), particularly those related to Sustainable Agriculture and Life on Land, aiming to protect, restore, and promote the sustainable use of terrestrial ecosystems. The SDGs are a set of 17 global goals designed to improve quality of life, protect the planet, and ensure global prosperity by 2030, with a strong focus on sustainability. This work directly benefits farmers in semi-arid regions, with active participation from researchers, students, and technicians at UFLA, in accordance with the thematic areas of the national policy on technology extension, production, and the environment.

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE .....</b>	<b>12</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Cultura da cana-de-açúcar – origem, importância e espécies.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Salinidade em solos e efeito nas plantas .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Estratégias para mitigação de estresses causados pela salinidade em solos.....</b>	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>Bioinsumos na mitigação do estresse salino .....</b>	<b>21</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>23</b>
	<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGOS.....</b>	<b>30</b>
	<b>ARTIGO 1 – <i>SCREENING</i> PARA TOLERÂNCIA A SALINIDADE DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR: RESULTADOS FITOTÉCNICOS .....</b>	<b>31</b>
	<b>ARTIGO 2 – BIOESTIMULANTES NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE SALINO EM CANA-DE-AÇÚCAR.....</b>	<b>42</b>

**PRIMEIRA PARTE**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

As mudanças climáticas têm impulsionado a procura por fontes de energia renováveis, a fim de se reduzir os impactos ambientais gerados pelo uso intensivo de combustíveis fósseis. Recentemente, a produção de biocombustíveis apresentou crescimento significativo em resposta ao aumento da demanda por fontes alternativas de bioenergia, intensificando as pesquisas voltadas para culturas agroenergéticas e o estabelecimento de matérias-primas, tecnologias, processamentos e metodologias de implantação. Dentre as culturas de importância agroenergética, pode-se mencionar a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), utilizada como matéria prima essencial na produção de bioenergia, como a geração de energia elétrica a partir da queima do bagaço (coproduto), biocombustível (etanol) e biogás (biometano), que contribuem para a redução da emissão de gases de efeito estufa e na diversificação da matriz energética. (Alexandratos & Bruinsma, 2012; Fierro *et al.*, 2019)

Um dos desafios para a expansão da agricultura é a limitação de território disponível para novos plantios e a busca por abertura de novas áreas de cultivo. Contudo, projeções apontam que a expansão mundial das terras destinadas à agricultura até o ano de 2050 será limitada a apenas 4% da área atual, aproximadamente (Van den Berg *et al.*, 2016). Desta forma, é importante a adoção de técnicas que visam ampliar a produtividade e otimizar a utilização do solo disponível, incluindo áreas de solos degradados, como os solos salinos. A presença de sais no solo tem aumentado em ritmo constante, com destaque em regiões áridas e semiáridas, como o nordeste do Brasil e é agravada pelas mudanças climáticas. Nessas regiões, torna-se necessário o uso de irrigação e, muitas vezes, a água utilizada é de baixa qualidade, com altos teores de sais. A salinidade afeta a fertilidade do solo e compromete o crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, é imprescindível o desenvolvimento de técnicas de produção visando a superação do estresse salino (Ahmad *et al.*, 2018; Laime *et al.*, 2022; Linnenluecke *et al.*, 2018; Zhao *et al.*, 2020).

Devido às características de rusticidade da cana-de-açúcar, seu cultivo tem apresentado potencial de expansão para regiões com solos degradados pela salinidade. Entretanto, para o cultivo nessas condições, é necessária a adoção de práticas agrícolas específicas. Uma delas é o manejo varietal, com a escolha de variedades ou cultivares que se adequem ao tipo de solo e região. Assim, é necessário identificar, dentre os genótipos de cana-de-açúcar existentes, aqueles que apresentam maior tolerância aos sais presentes no solo. Outra alternativa que pode ser viável é o uso de fertilizantes e bioestimulantes que promovam tolerância à salinidade. A inclusão de bioestimulantes no manejo da cana-de-açúcar é um fator

que pode favorecer a mitigação de estresses abióticos e o aumento da produtividade agrícola, uma vez que podem ajudar na absorção de nutrientes e água e melhorar as defesas naturais das plantas contra estresses hídricos e climáticos (Battacharyya *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2023). Dentre os bioestimulantes comercializados, podem ser citados os extratos a base de *Ascophyllum nodosum* e *Trichoderma harzianum*.

*A. nodosum* é uma espécie de alga marinha, cujo extrato aumenta a capacidade das plantas em lidar com estresses abióticos, melhorando a resistência a estresses ambientais, além de melhorar as defesas naturais das plantas, resultando em maior eficiência no uso de água e nutrientes, fortalecendo, assim, as plantas contra estresses abióticos. Seu extrato pode atuar na mitigação de impactos negativos em plantas, indução de resistência a doenças, pragas e tolerância à salinidade, promovendo a formação de plantas mais tolerantes a solos salinos e reduzindo os efeitos da salinidade. Além disso, pode melhorar o poder antioxidante, a assimilação de nitrogênio e aminoácidos pelas plantas e regular a expressão de genes responsivos a estresses (Jithesh *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2023). Por sua vez, *T. harzianum* é uma espécie de fungo filamentosos que atua como bionemática e biofungicida, colonizando raízes e promovendo o crescimento e saúde das plantas. Seu extrato apresenta o potencial de reduzir ou inibir efeitos negativos da salinidade sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas. Isso ocorre devido aos fungos do gênero *Trichoderma* terem a capacidade de aumentar a absorção de nutrientes e a taxa fotossintética das plantas (Abu-Shanab *et al.*, 2022; Diniz *et al.*, 2022).

Dessa forma, o presente trabalho objetivou avaliar 49 genótipos de cana-de-açúcar quanto a tolerância à salinidade, bem como o efeito de diferentes doses de bioestimulante à base de algas da espécie *Ascophyllum nodosum* (Roadster®) e uma dose adicional do extrato de *Trichoderma harzianum* (Trichodermil®) no manejo da cana-de-açúcar sob cultivo em solo salino.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Cultura da cana-de-açúcar – origem, importância e espécies

A cana-de-açúcar é uma planta da família Poaceae, cultivada em regiões tropicais e subtropicais do mundo todo. Sua origem é ainda discutida, considerando-se, no entanto, a Ásia como centro de origem. A planta foi trazida pelos portugueses para o Brasil, que se tornou o maior produtor mundial, com a estimativa de produção na safra 2024/25 de mais de 685,8 milhões de toneladas, em uma área de aproximadamente 8,7 milhões de hectares, representando um aumento de 4,1% da área em relação à safra anterior (CONAB, 2024). É uma cultura que exerce papel fundamental na economia global, com grande importância na produção de bioenergia, incluindo etanol, biomassa e biogás (biometano), que contribuem para a redução da emissão de gases de efeito estufa e a diversificação da matriz energética.

O etanol pode ser obtido a partir de matérias primas com altos teores de sacarose, como a cana-de-açúcar. É o biocombustível mais utilizado no Brasil, seguido do biodiesel, com uma produção estimada na safra de 2024/25 de 28,8 bilhões de litros de etanol total obtido a partir da cana-de-açúcar, garantindo ao Brasil o segundo lugar como maior produtor mundial de etanol, atrás apenas dos Estados Unidos. Com a expansão do cultivo da cana-de-açúcar em regiões de clima árido e semiárido, torna-se necessário o uso de irrigação, o que pode se tornar um problema se a água utilizada houver altas concentrações de sais, podendo salinizar o solo, problema que é agravado pelas altas temperaturas e elevada evapotranspiração. Assim, uma estratégia essencial é o manejo varietal e melhoramento genético visando materiais menos susceptíveis à salinidade e que potencializem ganhos de produtividade (ANP, 2024; Brinkman *et al.*, 2018; CONAB, 2024; Oresca *et al.*, 2021).

Visando o melhoramento genético da cana-de-açúcar para a tolerância em solos salinos, é de fundamental importância explorar a base genética de espécies do gênero *Saccharum*. Desta forma, as variedades de cana-de-açúcar utilizadas consistem em híbridos interespecíficos, de forma que o gênero *Saccharum* se refere a diferentes espécies de cana-de-açúcar. A maioria dos autores considera a classificação de seis espécies dentro do gênero, sendo duas delas mais importantes na contribuição para o melhoramento genético da cana: a *S. officinarum* L. e *S. spontaneum* L. A espécie *S. officinarum* L. se refere às canas tropicais, bastante exigentes em clima e solo, no entanto suscetíveis a diversas doenças, embora consideradas “canas nobres” devido ao elevado teor de açúcares e às suas características morfológicas, com porte alto, colmos grossos, baixo teor de fibras e folhas largas. Já a *S. spontaneum* L., é constituída por

plantas silvestres, com alto perfilhamento, colmos fibrosos curtos e finos e folhas estreitas eretas de textura espessa, de baixo interesse comercial devido ao baixo teor de açúcares. Seu uso atualmente se dá principalmente no melhoramento genético, quando se busca características de rusticidade e um sistema radicular rizomatoso bem desenvolvido, além de resistência ao mosaico (Marchini, 2019).

Outra espécie é a *S. robustum* Brandes & Jeswiet ex Grassl., representada por plantas selvagens de colmos espessos e fibrosos pobres em açúcar, que podem atingir 10 m de altura. *S. sinense* Roxb. com variedades originárias da China e Japão, apresentam porte elevado, colmos finos fibrosos com teor regular de açúcar e raízes abundantes. São híbridos naturais de *S. officinarum* x *S. spontaneum*, com boa adaptação a diferentes tipos de solo e clima. *S. barberi* Jeswiet., com plantas rústicas de origem indiana e porte médio a baixo, colmos finos, fibrosos e pobres em açúcar, no entanto, tolerantes ao frio e pouco exigentes em solo. Por fim, há a *S. edule* Hassk., espécie de interesse olerícola, com inflorescências comestíveis, cultivadas em jardins na Nova Guiné e Ilhas Fiji. (Tatto, 2016; Torcato, 2016; Menegatto, 2017).

## 2.2 Salinidade em solos e efeito nas plantas

A salinidade em solos é um problema presente em cerca de 6% da área mundial terrestre (mais de 400 milhões de hectares), característica agravada pela baixa precipitação e elevada evapotranspiração em regiões áridas e semiáridas e que tem aumentado numa velocidade alarmante, com a média de crescimento de dois milhões de hectares por ano. Estima-se que cerca de 20% das terras cultivadas e 33% das áreas irrigadas são afetadas por excesso de sais e que até 2050, 50% das terras aráveis do mundo terão problemas de salinidade (Ahmad *et al.*, 2012; Machado; Serralheiro, 2017; Singh, 2018).

Um fator que está associado ao acúmulo de sais no solo é o uso de água de baixa qualidade na irrigação, especialmente em regiões áridas e semiáridas, em que este é o único meio de se garantir a produtividade durante períodos de seca. A prática pode prejudicar a estrutura físico-química e a fertilidade do solo, tornando-o inadequado para o cultivo, de forma que os efeitos negativos da salinidade podem ser notados em diferentes espécies vegetais devido ao acúmulo excessivo de sais como o sódio. Além disso, nessas regiões é necessária a aplicação de fertilizantes em maior quantidade para suprir a demanda das plantas cultivadas (Ahmad *et al.*, 2018; Machado; Serralheiro, 2017; Santos *et al.*, 2020).

Solos afetados por sais podem ser classificados com base no pH e condutividade elétrica (C.E) do solo, bem como pela porcentagem de sódio trocável na solução, em solos normais, salinos, sódicos ou salino-sódicos, segundo Richards (1969) (Tabela 1).

Tabela 1. Critérios e limites para classificação de solos Normais, Salinos, Sódicos e Salino-sódicos

Critérios	Tipos de solos			
	Normal	Salino	Sódico	Salino-sódico
C.E. (dS.m <sup>-1</sup> 25 °C)	<4	>4	<4	>4
PST (%)	<15	<5	>15	>15
RAS	<13	<13	>13	>13
pH	<8,5	<8,5	>8,5	>8,5

C.E. = condutividade elétrica da solução do solo; PST = Percentual de Sódio Trocável; RAS = Relação de Adsorção de sódio =  $Na/(Ca+Mg)^{1/2}$

Fonte: Richards (1969)

Por sua vez, a classificação quanto à severidade da salinidade pode variar com o aumento da C.E. da solução do solo (Tabela 2).

Tabela 2. Classes de salinidade

Classificação de salinidade	C.E. do solo (dS.m <sup>-1</sup> )
Não salino	0-2
Baixa	2.0 - 4.0
Moderada	4.0 - 8.0
Alta	8.0 - 16.0
Severa	16.0 - 32.00
Extrema	> 32.00

Fonte: Land and Water Australia (2009)

De acordo com a tolerância ao estresse salino, as plantas podem ser classificadas em halófitas (toleram altas concentrações de sais) e glicófitas (sensíveis à salinidade em diferentes níveis), sendo a maioria das plantas cultivadas considerada glicófitas (Ferreira *et al.*, 2020). A tolerância das plantas à salinidade depende de modo geral da habilidade de seu sistema radicular em controlar o transporte e acúmulo de Na<sup>+</sup> para os tecidos aéreos. O Na<sup>+</sup> apresenta efeito antagônico em relação ao potássio (K<sup>+</sup>), competindo pelo mesmo sítio de ação, de forma que a concentração de K<sup>+</sup> no citosol é reduzida, havendo uma maior sensibilidade à salinidade por estar associada à menor absorção de K<sup>+</sup> (Cruz; Costa; Santos, 2018; Maathuis; Ahmad; Patishtan, 2014; Munns; Tester, 2008; Wakeel, 2013).

O acúmulo de sais afeta o crescimento das plantas glicófitas pois interfere na nutrição e reduz a capacidade da planta em absorver água e solutos, levando ao déficit hídrico causado por estresse osmótico (Machado; Serralheiro, 2017). Isso se dá pois ocorre uma redução no

potencial hídrico do solo, que dificulta a absorção de água pelas raízes (Cruz; Costa; Santos, 2018). A sodicidade, ou excesso de sódio no solo, pode levar à formação de EROs (espécies reativas de oxigênio), que degradam pigmentos fotossintéticos, lipídeos, tecidos e aminoácidos que constituem as plantas, deteriorando a estrutura destas. A presença de íons de sódio ( $\text{Na}^+$ ) no interior das células das plantas é tóxica e inibe o metabolismo celular, bem como promove a redução dos teores de clorofila, afetando a cadeia transportadora de elétrons na fase fotoquímica da fotossíntese (Flowers *et al.*, 2015; Acosta-Motos *et al.*, 2017).

Pode surgir, também, um estresse secundário de natureza oxidativa em que o elétron normalmente transferido da ferredoxina para o  $\text{NADP}^+$  é desviado para o oxigênio ( $\text{O}_2$ ) produzido no fotossistema II (PSII), formando radicais superóxidos ( $\text{O}_2^-$ ) no fotossistema I (PSI) e desencadeando a produção de outras EROs, como o oxigênio singlete ( $^1\text{O}_2$ ), peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e radical hidroxila ( $^*\text{OH}$ ), que promovem a oxidação de lipídios, proteínas e ácidos nucleicos, levando a um desequilíbrio da homeostase celular (Ahmad; Prasad, 2011; Rasheed *et al.*, 2016; Siddiqui *et al.*, 2020). A redução do rendimento devido a salinização foi relatada em diferentes culturas em várias investigações (Bennett *et al.*, 2019; Hu *et al.*, 2019; Sima; Ebadi, 2019).

A fotossíntese é severamente afetada pela salinidade do solo. O estresse osmótico resultante da salinidade induz o fechamento dos estômatos, limitando a entrada de  $\text{CO}_2$  nos tecidos e prejudicando sua fixação no ciclo de Calvin-Benson-Bassham, o que resulta em uma redução na produção de carboidratos (Dabrowska *et al.*, 2007; Majeed; Muhammad, 2019). A redução da difusão de  $\text{CO}_2$  interfere na carboxilação da enzima fosfoenolpiruvato carboxilase devido à baixa condutividade nos estômatos (Maqbool *et al.*, 2016). Tudo isso afeta o crescimento e desenvolvimento vegetal e leva a um aumento da respiração, além da redução da absorção de nutrientes (Cruz; Costa; Santos, 2018). A diminuição na taxa fotossintética também pode ocorrer devido a limitações bioquímicas, que envolvem a inibição de enzimas cruciais, como o fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase), ribulose 1,5 bifosfato carboxilase oxigenase (RuBisCO), ribulose-5-fosfato-quinase (PRK) e gliceraldeído-3-desidrogenase (GAPDH) (Acosta-Motos *et al.*, 2017). O Fotossistema II é particularmente susceptível ao estresse salino, resultando em fotoinibição devido a ação das EROs e comprometendo a formação de carboidratos (Bose *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2013).

Assim, a cana-de-açúcar é considerada uma planta glicófito, moderadamente tolerante a salinidade, suportando uma condutividade elétrica (C.E.) da solução solo de até  $1,7 \text{ dS m}^{-1}$  e  $2,3 \text{ dS m}^{-1}$ , dependendo do genótipo. Amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais, tem apresentado expansão para regiões áridas e semiáridas, onde o sucesso de seu cultivo

depende em partes da utilização de variedades tolerantes às condições de salinidade (Chiconato *et al.*, 2019; Linnenluecke *et al.*, 2018; Melo *et al.*, 2014; Raj *et al.*, 2016; Zhao; Li, 2015).

### 2.3 Estratégias para mitigação de estresses causados pela salinidade em solos

Diversos mecanismos são utilizados pelas plantas a fim de compensar e mitigar os efeitos da salinidade, como o sequestro de íons, a regulação osmótica e a ativação de sistemas de defesa antioxidantes promovida por enzimas distribuídas em diferentes compartimentos das células das plantas, como o citosol e cloroplastos (Ahanger *et al.*, 2015). Como destaque nesse mecanismo de defesa, podem ser citadas a enzima dismutase do superóxido (SOD), que catalisa a transformação de  $O_2^-$  em  $H_2O_2$ ; as catalases (CATs), que convertem o  $H_2O_2$  em  $H_2O$  e  $O_2$ ; e as ascorbato peroxidases (APX), consideradas as enzimas mais importantes na eliminação do  $H_2O_2$  (Gill; Tuteja, 2010). A ativação desses mecanismos de defesa tem sido associada ao estado nutricional das plantas (Silva *et al.*, 2022). Além dessa defesa antioxidante, as plantas empregam estratégias para o ajuste osmótico, a fim de manter a turgidez celular, bem como promover a abertura dos estômatos, de forma que a planta necessita manter uma concentração de solutos superior à da solução no solo (Flowers *et al.*, 2015), sendo mais eficaz quando há o acúmulo de íons.

A recuperação de solos afetados por sais envolve a redução da condutividade elétrica e sódio trocável para níveis que permitam o crescimento de culturas. Isso pode ser feito com uso de condicionadores químicos e orgânicos, além da prática de lixiviação desses sais (Araújo *et al.*, 2011; D'odorico *et al.*, 2013). A nutrição mineral também é uma alternativa, uma vez que o sódio pode competir com outros elementos (Zamani *et al.*, 2020). Os condicionadores melhoram as propriedades do solo, sendo importantes em todos os tipos de solos afetados por sais. A escolha dos corretivos pode ser baseada na presença ou ausência de carbonatos alcalinos terrosos e no pH do solo (Richards, 1954). Sais solúveis, como gesso e cloreto de cálcio, são utilizados como condicionadores químicos para recuperação de solos com excesso de sódio, sendo o gesso o mais comum devido à sua disponibilidade e custo acessível.

Uma alternativa que demonstra ser eficaz é a suplementação de potássio na nutrição. Plantas de cana-de-açúcar, especialmente, demonstram ser altamente responsivas ao aumento nas concentrações de íons de potássio ( $K^+$ ), de forma que é essencial se manter níveis adequados deste no citosol, promovendo uma maior tolerância à salinidade (Santos *et al.*, 2021). Há outras estratégias que podem ser utilizadas para a mitigação do estresse por salinidade, como o uso de biodrenagem, fitorremediação do solo, bem como microrganismos e outros bioinsumos.

Outra opção são os ácidos ou formadores de ácido, como o ácido sulfúrico, enxofre, sulfeto ferroso e sulfato de ferro e alumínio, que são opções para solos com carbonatos alcalinos. Em solos sem carbonatos, com pH inferior a 6,0, é recomendado o uso de calcário (Gheyi *et al.*, 2022). A combinação de gesso com *Acidithiobacillus*, bactérias que apresentam potencial de reduzir o pH do solo e lixiviar sais, é eficaz na redução de sódio trocável e condutividade elétrica do solo (Stamford *et al.*, 2015).

Uma prática que tem se tornado comum na recuperação de solos salinizados é a adição de materiais orgânicos, como resíduos vegetais frescos ou decompostos, esterco, composto e resíduos de processamento de alimentos. Esses materiais melhoram a fertilidade do solo, reduzem o sódio trocável devido a presença de cargas negativas, que se ligam ao Na<sup>+</sup> (Miranda *et al.*, 2011) e promovem a estruturação do solo, aumentando a porosidade e a condutividade hidráulica. Diversos tipos de condicionadores orgânicos, como esterco de ovelha e coprodutos da cana-de-açúcar, como torta de filtro e a vinhaça (Gomes; Gheyi; Silva, 2000; Miranda *et al.*, 2018; Ruiz *et al.*, 1997), têm demonstrado eficácia na melhoria das características do solo. Outra alternativa é o uso de biocarvão, produzido a partir de bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho (Santos *et al.*, 2021). Além disso, a utilização de compostagem é uma estratégia para se evitar a salinidade em solos, uma vez que utiliza estercos animais e compostos não estabilizados que poderiam liberar metais pesados, compostos fenólicos, entre outros que afetariam a microbiota do solo (Leogrande; Vitti, 2018). É fundamental, também, se atentar ao uso de condicionadores orgânicos em solos arenosos, pois podem ser lixiviados e contaminar o subsolo e/ou o lençol freático. Vale ressaltar a importância de um sistema de drenagem eficiente no processo de recuperação de solos salinos e sódicos, uma vez que a eficácia da recuperação depende essencialmente da remoção dos sais do sistema (Gheyi *et al.*, 2022).

Além das estratégias mencionadas, outra opção é a drenagem e lixiviação, bem como a biodrenagem, para remoção do excesso de sais. Com o uso de lâminas de lixiviação, os sais solúveis são removidos da zona radicular para o sistema de drenagem (Ayers; Westcott, 1999) artificialmente instalado abaixo da zona de raízes das plantas para controlar o lençol freático (Sousa *et al.*, 2011) e remover sais em excesso. Esses sistemas de drenagem subsuperficial podem ser utilizados associados com práticas de manejo como a subsolagem e uso de condicionadores do solo, apresentando recuperação de solo salino-sódico, bem como a redução de problemas de alagamento e melhoria no crescimento de plantas (Sousa *et al.*, 2011, 2014). Em áreas irrigadas de regiões áridas e semiáridas, a drenagem subsuperficial tem sido essencial para controlar a salinidade do solo e minimizar os riscos de perda de rendimento das culturas, e, na maioria dos casos, uma capacidade de descarga de 2 a 4 mm dia<sup>-1</sup> é suficiente para lixiviar

os sais (FAO, 2021). No entanto, para implementação do sistema de drenagem, deve-se levar em consideração o aspecto econômico, considerando a relação custo/benefício, bem como a presença de impedimentos físicos.

Já a biodrenagem consiste na utilização de outras culturas que promovam a remoção de água salinizada no lençol freático devido à profundidade de raízes, que é capaz de realizar o processo. Entre as culturas usadas na biodrenagem, destacam-se diferentes espécies de eucalipto, como *Eucalyptus camaldulensis*, e plantas com alta evapotranspiração, como *Tamarix troupii* e *Acacia nilotica* (Medeiros *et al.*, 2016). Em estudos no noroeste da China, Zhao *et al.* (2004) observaram que as espécies *Lycium barbarum* e *Puccinellia chinamponsis* consumiram grandes quantidades de água e não foram afetadas pela salinidade do solo, aumentando a extração de sais de acordo com o crescimento das plantas, com potencial, também, de contribuir para processos de fitorremediação e revegetação.

Por fim, outra forma de se contornar o estresse salino na cultura da cana-de-açúcar é por meio da utilização de variedades que apresentem tolerância natural à salinidade. Em experimento testando a hipótese de que a cana apresenta variação genotípica para a tolerância à salinidade foram testados 10 cultivares, de forma que se definiram três grupos de diferentes níveis de tolerância. As cultivares RB855156, SP80-1842, SP80-1816 e espécie IM76-228 não apresentaram redução no rendimento, em que o genótipo SP80-1816 obteve maior acúmulo de biomassa e índice de tolerância entre os materiais avaliados, e as cultivares SP80-3280, RB928064, RB92579 e espécie IN84-82 foram prejudicadas (Silva *et al.*, 2022). No entanto, são necessários novos estudos a fim de se identificar um maior número de variedades tolerantes a salinidade, a fim de que se explore mais opções para o uso do produtor em regiões de solo salino, para diversificar suas opções objetivando um manejo mais assertivo.

## 2.4 Bioinsumos na mitigação do estresse salino

Como exemplo de bioinsumos que podem ser utilizados na mitigação de estresses abióticos, duas alternativas que tem mostrado efeito em diferentes culturas são os extratos à base de algas da espécie *Ascophyllum nodosum*, como Roadster®, e o biofungicida e bionematicida à base de *Trichoderma harzianum*, Trichodermil®, ambos da Koppert. De acordo com a empresa, a aplicação do Roadster® deve ser realizada na raiz e/ou parte aérea das plantas, a fim de se obter um indivíduo mais bem nutrido, vigoroso e com maior tolerância a estresses, enquanto o Trichodermil® deve ser aplicado de forma preventiva em áreas com histórico de “damping off”, ou tombamento, por fungos e nematoides fitopatogênicos presentes no solo. Há

relatos na literatura, também, da utilização do *T. harzianum* para se promover maiores produtividades, através da obtenção de plantas mais fortalecidas (Pereira *et al.*, 2019; Rocha *et al.*, 2024; Stefanello *et al.*, 2017).

Algumas espécies do gênero *Trichoderma*, que é composto por fungos filamentosos de vida livre, são comuns no solo em ecossistemas radiculares. Esses microrganismos apresentam alta capacidade reprodutiva e crescimento acelerado, além de serem capazes de sobreviver em ambientes inóspitos. O fungo *T. harzianum* é utilizado como bionemático e biofungicida e tem o potencial de colonizar raízes, melhorando a eficiência da utilização de nutrientes pelas plantas através de seus filamentos e promovendo o crescimento e saúde das plantas com o fortalecimento de mecanismos de defesa, o que aumenta o potencial da planta em tolerar estresses abióticos e reduz efeitos deletérios da salinidade sobre o crescimento e desenvolvimento vegetal, além de promover um aumento na taxa fotossintética (Abu-Shanab *et al.*, 2022; Diniz *et al.*, 2022; Kumar *et al.*, 2020). Produtos à base de *T. harzianum* e outras espécies do mesmo gênero também podem ser utilizados para superação de doenças, como tombamento, murcha de *Phytophthora* e murcha de *Fusarium* causados por *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora* spp. e *Fusarium* spp. em crisântemo, abacate, tomilho, alecrim, baunilha, estragão, orégano, café, maracujá, tomate, alho, pimentão e berinjela (Meyer; Mazaro; Silva, 2019).

*A. nodosum* é uma alga marinha cujo extrato pode ser utilizado como agente bioestimulante, com ação na mitigação de impactos negativos em plantas (Carmody *et al.*, 2020), indução de resistência a doenças (Ali; Ramsubhag; Jayaraman., 2019), pragas (Bajpai *et al.*, 2019), tolerância a salinidade (Jithesh *et al.*, 2019), entre outros efeitos. Sua aplicação pode promover a formação de plantas mais fortalecidas diante à salinidade, reduzindo seus efeitos sobre a planta devido ao potencial de melhorar o poder antioxidante e a assimilação de nitrogênio e aminoácidos pelas plantas, além de regular a expressão de genes responsivos a estresses (Jithesh *et al.*, 2019). Dessa forma, se obtém plantas fortalecidas, que poderão ter maior sucesso de estabilização no estágio inicial de desenvolvimento. Assim, a aplicação do extrato de *A. nodosum* (Roadster®), na cultura da cana-de-açúcar, pode ser uma abordagem eficaz para contribuir com o cultivo em ambientes de estresse salino.

## REFERÊNCIAS

Abu-Shanab, N. S. *et al.* Effect of Using *Trichoderma* spp. on Turfgrass Quality under Different Levels of Salinity. **Water**, v.14, n.23, art.3943, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14233943>.

Acosta-Motos, J. R.; *et al.* Plant response to sal stress: adaptive mechanisms. **Agronomy**, v. 7, n. 18, 2017. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>.

Ahanger, M. A, Agarwal, R. M.; Tomar, N. S.; Shrivastava, M. Potassium induces positive changes in nitrogen metabolism and antioxidant system of oat (*Avena sativa* L cultivar Kent). **Journal Plant Interactions**, v.10, p.211– 223, 2015. <https://doi.org/10.1080/17429145.2015.1056260>.

Ahmad, K. et al. Evaluation and characterization of genetic variation in maize (*Zea mays* L.) for salinity tolerance. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 49, p.521-526, 2012.

Ahmad, K. *et al.*, Mitigation of sodium chloride toxicity in *Solanum lycopersicum* L. by supplementation of jasmonic acid and nitric oxide. **Journal of Plant Interactions**, vol. 13, n. 1, p. 64-72, 2018. <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1420830>.

Ahmad, P.; Prasad, M. N. V. Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability. **Springer**, New York, 2011. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0634-1>.

Alexandratos, N; Bruinsma, J. **World agriculture towards 2030/2050. The 2012 revision.** 147p. Rome: FAO, 2012. <http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.288998>.

Ali O.; Ramsuhag A.; Jayaraman J. Biostimulatory activities of *Ascophyllum nodosum* extract in tomato and sweet pepper crops in a tropical environment. **Plos One**, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216710>.

ANP – Agência nacional de petróleo, gás natural e biocombustíveis. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2023.** 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2023#Secao4>. Acesso em 30 mai 2024.

Araújo, A. P. B. *et al.* Análise econômica do processo de recuperação de um solo sódico no perímetro irrigado Curupentecoste, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n.4, p. 377-382, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000400008>.

Ayers, R. S.; Westcot, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** 2. ed. 153 p. Campina Grande: UFPB, 1999.

Bajpai S. *et al.* A biostimulant preparation of brown seaweed *Ascophyllum nodosum* suppresses powdery mildew of strawberry. **Plant Pathology Journal**, v. 35, n.5, p. 406-416, 2019. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.03.2019.0066>.

Battacharyya, D. *et al.* Seaeed extracts as biostimulants in horticultura. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 39-48, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.044>.

Bennett, J.M. *et al.* Towards predicting the soil specific threshold electrolyte concentration of soil as a reduction in saturated hydraulic conductivity: the role of clay net negative charge. **Geoderma**, v.337, p.122–131, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.08.030>.

Bose, J. *et al.* Chloroplast function and ion regulation in plants growing on saline soils: lessons from halophytes. **Journal Experimental Botany**, v. 68, n.1, p. 3129-3143, 2017. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx142>.

Brinkman, M. L.*et al.* Interregional assessment of socio-economic effects of sugarcane ethanol production in Brazil. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 88, p. 347-362, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.014>.

Carmody, N. *et al.* Ascophyllum nodosum Extract Biostimulant Processing and Its Impact on Enhancing Heat Stress Tolerance During Tomato Fruit Set. **Frontiers in plant Science**, Vol. 11, n. 807. 2020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00807>.

Chiconato, D.A. *et al.* Adaptation of sugarcane plants to saline soil. **Environmental and Experimental Botany**, v.162, p. 201- 211, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.02.021>.

CONAB - Companhia Nacional De Abastcimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 12, n. 1. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em 30 mai. 2024.

Cruz, F. J. R.; Costa, F. J. D; Santos, D. M. M. Low salt stress affects physiological parameters and sugarcane plant growth. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 8, p. 1272-1279. 2018. doi: 10.21475/ajcs.18.12.08.PNE999.

Dabrowska, G. *et al.*, Characteristics of the plant ascorbate peroxidase family. **Acta Biologica Cracoviensia**, v.49, n.1, p.7-17, 2007.

Diniz, G. L. *et al.*, Uso de *Trichoderma* spp e estresse salino na produção de mudas de melancia. **Revista Em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.15, n.4, p.1–16, 2022. DOI:10.17765/2176-9168.2022v15n4e9939.

D’odorico, P. *et al.* Global desertifi cation: drivers and feedbacks. **Advances in Water Resources**, v. 51, p. 326-344, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.01.013>

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global map of salt-affected soils**. Rome: FAO, 2021. 20 p. Disponível em: <https://www.fao.org/3/cb7247en/cb7247en.pdf>. Acesso em: 16 de outubro de 2024.

Ferreira, T. M. M. *et al.*, Effect of salinity stress in *Setaria viridis* (L.) P. Beauv. accession A10.1 during seed germination and plant development. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, 2020. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044010020>.

Fierro, A.; *et al.* Multi-scale integrated assessment of second generation bioethanol for transport sector in the Campania Region. **Journal of Cleaner Production**, v. 217, p. 409-422, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.244>.

Flowers, T. J.; Munns, R.; Colmer, T. D. **Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes**. *Annals of Botany*, v.115, n.3, p.419–431, 2015.

Gheyi, H. R. *et al.*, Manejo e recuperação de solos afetados por sais: avaliação geral e experiências no semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 53, e20217917, Fortaleza, 2022. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu217>.

Gill, S. S.; Tuteja, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology And Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>.

Gomes, E. M.; Gheyi, H. R.; Silva, E. F. F. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 355-361, 2000. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000300009>.

Hu, Q. *et al.* Degradation of agricultural drainage water quantity and quality due to farmland expansion and water-saving operations in arid basins. **Agricultural Water Management**, v.213, p. 185–192, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.019>.

Jithesh, M. N. *et al.*, Physiological and Transcriptomics Analyses Reveal that *Ascophyllum nodosum* Extracts Induce Salinity Tolerance in Arabidopsis by Regulating the Expression of Stress Responsive Genes. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.38, n.2, p.463–478, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9861-4>.

Kumar, A. *et al.* Plant growth-promoting bacteria: biological tools for the mitigation of salinity stress in plants. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, p01216, 2020. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01216>.

Laime M. O. *et al.*, Características agrotecnológicas de cultivares de cana-de-açúcar irrigadas com água salinizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v. 26, n. 11, p. 875-884, 2022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n11p875-884>.

Land and Water Australia. Saltland solutions, options for saltland restoration, Future Farm Industries CRC, Land Water and Wool SGSL, Canberra, ACT. **Land and Water Australia**. 2009.

Lee, M. H. *et al.* Divergences in morphological changes and antioxidant responses in salt tolerant and salt-sensitive rice seedlings after salt stress. **Plant Physiology of Biochemistry**, v. 70, p. 325–335, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.05.047>.

Leogrande, R.; Vitti, C. Use of organic amendments to reclaim saline and sodic soils: a review. **Arid Land Research and Management**, v. 33, n. 1, p. 1-21, 2018. <https://doi.org/10.1080/15324982.2018.1498038>.

Linnenluecke, MK.; Nucifora, N.; Thompson, N. Implications of climate change for the sugarcane industry. **Climate Change**, v.9, p. 498, 2018. <https://doi.org/10.1002/wcc.498>.

Luo, Y. *et al.* Salt tolerance response revealed by RNA-Seq in a diploid halophytic wild relative of sweet potato. **Scientific Reports** v. 7, n. 9624, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09241-x>

Maathuis, F.J.M.; Ahmad, I.; Patishtan, J. Regulation of Na<sup>+</sup> fluxes in plants. **Frontiers in plant science**, v. 5, p. 467, 2014. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00467>.

Machado, R. M. A.; Serralheiro, R. P. Soil Salinity: Effect on Vegetable Crop Growth. **Horticulturae**, v. 3, n. 30, 13 p., 2017. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020030>.

Majeed, A.; Muhammad, Z. Salinity: a major agricultural problem - causes, impacts on crop productivity and management strategies. **Plant Abiotic Stress Tolerance**, p. 83–99, 2019. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0_3).

Marchini, R.M.S. **Caracterização de acessos do “complexo *Saccharum*” e desenvolvimento de uma coleção nuclear com base em marcadores moleculares e atributos de qualidade.** 2019. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2019. 77 p.

Maqbool, N. A.; Basra, S. M. A. Varied patterns of sprouting and nutrient status of sugarcane sprouts in simulated and natural saline/sodic soils across two growing seasons. **International Journal of Agriculture and Biology**, v.18, p. 873–880, 2016.

Medeiros, S. S. *et al.* Biodrenagem. In: GHEYI, H. R. *et al.* (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados.** 2. ed. Fortaleza: INCTsal, p. 433-448. 2016.

Melo, G.M. *et al.* Pré-condicionamento in vitro de plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) para tolerância ao estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.27–33, 2014.

Menegatto, L.S. **Caracterização da variação existente entre genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) através de genotipagem-por-sequenciamento.** 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências) – USP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2017.

Meyer, M. C.; Mazaro, S. M.; Silva, J. C. *Trichoderma*: uso na agricultura. Brasília: **Embrapa**, p. 135, 2019.

Miranda, M. A. *et al.* Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 484-490, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000500008>.

Miranda, M. F. A. *et al.* Improvement of degraded physical attributes of a saline-sodic soil as influenced by phytoremediation and soil conditioners. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64, n. 9, p. 1207-1221, 2018. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1419195>.

Munns, R.; Tester, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651-681, 2008. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>.

Oresca, D. *et al.*, Agronomic performance of forage sorghum and millet grown under irrigation with saline water and nitrogen doses in the Brazilian semi-arid. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18976>.

Pereira, F.T. *et al.* Growth promotion and productivity of lettuce using *Trichoderma* spp. commercial strains. **Horticultura Brasileira**. v. 37, p. 069-074, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620190111>.

Raj, G. H.; *et al.* Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. **INCTsal**, 2016.

Rasheed, R. *et al.* Partial repair of salinity-induced damage to sprouting sugarcane buds by proline and glycinebetaine pretreatment. **Protoplasma**, v. 253, n. 3, p.803–813, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00709-015-0841-2>.

Richards, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA. **Agriculture Handbook**, v. 60, 160 p., 1969.

Rocha, T. M. *et al.* Qualidade fisiológica de sementes, desempenho a campo e viabilidade econômica da cultura da soja submetida à inoculação de sementes com diferentes produtos biológicos. **Revista de Ciência e Inovação**. v. 10, n. 1, 2024. <https://doi.org/10.26669/2448-4091.2024.425>.

Ruiz, H. A. *et al.* Torta de filtro e vinhaça na recuperação de um solo salino sódico e no desenvolvimento de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 4, p. 659-665, 1997. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831997000400017>.

Santos, A. S.; *et al.* A Importância do reúso de água para irrigação no Semiárido. **Meio Ambiente**. Brasil, v.2, n.3, p.15-20. 2020.

Santos, W. M. *et al.* Effectiveness of different biochars in remediating a salt-affected Luvisol in Northeast Brazil. **Biochar**, v. 3, n. 57, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00084-w>.

Siddiqui, M. H. *et al.* Melatonin and gibberellic acid promote growth and chlorophyll biosynthesis by regulating antioxidant and methylglyoxal detoxification system in tomato seedlings under salinity. **Journal Plant Growth Regulation**, p. 1–15, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10122-3>.

Sima, N. A. K.; Ebadi, A. Bio-based remediation of petroleum-contaminated saline soils: challenges, the current state-of-the-art and future prospects. **Journal Environmental Management**, v.250, 109476, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109476>.

Silva, A. A. *et al.*, Variação genotípica de cana-de-açúcar para tolerância a salinidade: Respostas morfológicas e fisiológicas. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 46, 12 p., 2022. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202246000122>.

Silva, J. de S. *et al.*, The application of a biostimulant based on '*Ascophyllum nodosum*', fulvic acid and nutrients mitigates water deficit in soybean. **Australian Journal of Crop Science**. v. 17, n. 16. P. 539-548, 2023. <https://doi.org/10.21475/ajcs.23.17.07.p3715>.

Singh, A. Alternative management options for irrigation-induced salinization and waterlogging under different climatic conditions. **Ecology Indicators**, v. 90, p.184–192, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.014>.

Sousa, C. H. C. *et al.* Instalação de um sistema de drenagem subterrânea em um solo salino-sódico cultivado com coco em Pentecoste – Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 5, n. 1, p. 16-23, 2011.

Sousa, C. H. C. *et al.* Yield of cotton/cowpea and sunflower/cowpea crop rotation systems during the reclamation process of a saline-sodic soil. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 5, p. 867-876, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000500006>.

Stamford, N. P. *et al.* Effect of gypsum and sulfur with *Acidithiobacillus* on soil salinity alleviation and on cowpea biomass and nutrient status as affected by PK rock biofertilizer. **Scientia Horticulturae**, v. 192, p. 287-292, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.06.008>.

Stefanello, L. *et al.* Manejo da podridão radicular da mandioca pela combinação de manejo de solo, variedade resistente e controle biológico com *Trichoderma harzianum*. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**. v. 13, n. 1, p. 31-45, 2017. <http://dx.doi.org/10.17766/1808-981X.2017v13n1p31-45>.

Tatto, F.R. **Caracterização de clones de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) em Paranavaí e Pelotas**. 2016. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pelotas, 2016.

Torcato, C.E.M. **A história das drogas e sua proibição no Brasil**. 2016 Tese (Doutorado em História Social) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

Van Den Berg, M. *et al.*, Exploring resource efficiency for energy, land and phosphorus use: Implications for resource scarcity and the global environment. **Global Environmental Change**, v.36, p.21-34, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.09.016>.

Wakeel, A. Potassium-sodium interactions in soil and plant under saline-sodic conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 3, p. 344-354, 2013. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200417>.

Zamani, A. *et al.* Growth and biochemical responses of sorghum genotypes to nitrogen fertilizer under salinity stress conditions. **Journal of Plant Nutrition**, p. 1–11, 2020. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1845379>.

Zhao, C. *et al.* Biological drainage characteristics of alkalized desert soils in north-western China. **Journal of Arid Environments**, v. 56, n. 1, p. 1-9, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00005-3](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00005-3).

Zhao, C. *et al.* Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. **The Innovation**, v.1, n. 1, 100017, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100017>.

Zhao, D.; Li, Y. R. Climate change and sugarcane production: potential impact and mitigation strategies. **International Journal Agronomy**, p. 1-10, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/547386>.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGOS**

## ARTIGO 1 – *SCREENING* PARA TOLERÂNCIA A SALINIDADE DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR: RESULTADOS FITOTÉCNICOS

### RESUMO

A salinidade em solos pode representar ameaça à agricultura, especialmente em regiões áridas e semiáridas em que é necessário a irrigação e muitas vezes se utiliza água de baixa qualidade, com alto teor de sais. A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma planta moderadamente sensível ao estresse salino, que afeta seu desenvolvimento e produtividade. Desta forma, objetivou-se avaliar 49 genótipos de cana-de-açúcar, incluindo três espécies e diferentes híbridos comerciais, quanto a variação na tolerância à salinidade. O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Federal de Lavras (UFLA), Minas Gerais, utilizando duas concentrações de NaCl: controle [concentração encontrada naturalmente no solo, com condutividade elétrica de  $0,083 \text{ dS m}^{-1}$ ] e T1 [solo enriquecido com 100 mM de NaCl ( $CE = 7,2 \text{ dS m}^{-1}$ )]. Após 33 dias, Foi medida a massa seca da parte aérea (MSPA) e calculado o índice de velocidade de brotação (IVB). A partir desses dados, foram calculados os índices de tolerância à sodicidade da parte aérea e de brotações (ITPA e ITB). Os resultados revelaram que houve variação significativa entre os genótipos, sendo que sete (CTC 3, CTC 9, CTC 9002, H. Kawandang, IAC86-2210, RB72454 e Vertix 5) apresentaram os maiores índices de tolerância à salinidade. Em particular, H. Kawandang e RB72454 destacaram-se para todos os caracteres. Por meio de análise de agrupamento fenotípico e dendrograma, os genótipos foram classificados em cinco níveis de tolerância à salinidade, com a espécie H. Kawandang se destacando como altamente tolerante.

Palavras-chave: Sodicidade, *Saccharum* spp., *Erianthus arundinaceus*, estresse salino.

## ABSTRACT

Soil salinity is a threat to agriculture, especially in arid and semi-arid regions where irrigation is necessary and low-quality water with a high salt content is often used. Sugarcane (*Saccharum* spp.) is moderately sensitive to salt stress, which can affect its development and productivity. This study aimed to evaluate 49 sugarcane genotypes, including three species and commercial hybrids, and its variation in salt tolerance. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal University of Lavras (UFLA), Minas Gerais, using two concentrations of NaCl: control [naturally occurring concentration in the soil, with electrical conductivity of  $0.083 \text{ dS m}^{-1}$ ] and T1 [soil enriched with 100 mM of NaCl ( $\text{EC} = 7.2 \text{ dS m}^{-1}$ )]. After 33 days, the shoot dry mass (MSPA) was measured and calculated the sprouting speed index (IVB). Based on these data, the sodicity tolerance indices (ITPA and ITB) were calculated. The results revealed significant variation among genotypes in terms of sodicity tolerance, with seven genotypes showing the highest salinity tolerance indices (CTC 3, CTC 9, CTC 9002, H. Kawandang, IAC86-2210, RB72454, and Vertix 5). In particular, H. Kawandang and RB72454 stood out in all the parameters, suggesting a greater ability to adapt to saline soil. Through phenotypic clustering analysis and dendrogram, the genotypes were classified into five levels of salinity tolerance, with H. Kawandang standing out as highly tolerant.

Keywords: Sodicity, *Saccharum* spp., *Erianthus arundinaceus*, salt stress.

## INTRODUÇÃO

A salinidade dos solos tem se tornado um problema crescente e alarmante, especialmente em regiões áridas e semiáridas, onde a elevada evapotranspiração e baixa pluviosidade fazem necessário o uso de irrigação. Muitas vezes, a água utilizada para irrigação nessas regiões é de baixa qualidade, com altos teores de sais, como o sódio ( $\text{Na}^+$ ). A sodicidade (excesso de sódio) provoca estresse osmótico e iônico nas plantas, dificultando a absorção de água e causando danos fisiológicos nos tecidos vegetais; e interfere na atividade fotossintética devido a limitações causadas em enzimas importantes no processo e a redução da difusão de  $\text{CO}_2$  no citosol (Gupta; Huang, 2014).

A elevação da salinidade aumenta a condutividade elétrica do solo e pode levar à formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), que oxidam os tecidos celulares, lipídios, proteínas e ácidos nucleicos essenciais para a formação das plantas, causando clorose, murcha, necrose das folhas e senescência (Poonsawat *et al.*, 2015; Devi *et al.*, 2017; Granja *et al.*, 2018; Rao; Sengar; Singh, 2021). Além disso, devido a semelhança entre os íons, o  $\text{Na}^+$  desencadeia ação antagônica com o potássio ( $\text{K}^+$ ), importante em diversas atividades metabólicas, levando à redução da produtividade (Cruz; Costa; Santos, 2018; Wu *et al.*, 2018).

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), da família Poaceae, é considerada uma planta glicófito e moderadamente sensível ao estresse salino, que pode prejudicá-la significativamente em diversas fases do seu desenvolvimento (Melo *et al.*, 2014). Dependendo do genótipo utilizado, a planta pode apresentar diferentes níveis de sensibilidade à salinidade, com danos de até 50% da produtividade ocorrendo geralmente quando a condutividade elétrica do solo (C.E.) passa do limite de  $7 \text{ dS m}^{-1}$  (Gomathi; Thandapani, 2014; Watanabe *et al.*, 2020).

No entanto, devido à alta variabilidade genética da cultura, os genótipos podem apresentar diferentes níveis de sensibilidade aos efeitos do estresse salino, em especial cultivares comerciais de cana-de-açúcar, que não foram selecionadas pelas características individuais de tolerância ao sódio (Chiconato *et al.*, 2019; Meena *et al.*, 2020; Kumar *et al.*, 2020). Assim, o estudo das respostas fitotécnicas é importante para triagem de cultivares e espécies de cana-de-açúcar capazes de crescer em condições salinas, a fim de se promover o manejo adequado da cultura para ambientes de solo salino e contribuir no melhoramento genético.

Diante do exposto, foi testada a hipótese de que há variação genotípica para tolerância à salinidade para cultivares e espécies de cana-de-açúcar. Neste contexto, objetivou-se realizar

uma triagem de 49 genótipos de cana-de-açúcar para avaliar a sensibilidade aos efeitos da sodicidade na brotação e no desenvolvimento vegetativo inicial das plantas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Centro de Desenvolvimento e Transferência Tecnológica (CDTT) do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras - UFLA, localizado no município de Ijaci (21°09'49"S, 44°54'59"W), região sul de Minas Gerais, à uma altitude de 889 metros, onde o clima é classificado como Cwa pela escala de Köppen (Alvares *et al.*, 2013).

Foram identificados, selecionados e coletados os colmos de 49 genótipos de cana-de-açúcar, entre 8 a 10 meses de idade, no segundo corte. Destes, foram três espécies: ARCHI (*S. sinense*); Caiana (*S. officinarum*); e H. Kawandang (*Erianthus arundinaceus*). Além de cinco cultivares comerciais de cana energia (que apresentam maior contribuição de cromossomos da espécie *S. spontaneum*): Vertex 2, 3, 5, 7 e 10. Sendo o restante composto por 41 cultivares de cana-de-açúcar: CB45-3; CB47-355; CO413; CTC 1, 2, 3, 4, 5, 9, 14, 15, 9001, 9002, 9003, IAC86-2210; IAC86-2480, IAC87-3396; IAC91-1099; IJ76-314; NA56-79; RB002504; RB036066; RB036091; RB72454; RB739735; RB835054; RB835486; RB845210; RB855036; RB855113; RB867515; RB98710; RB987935; RB988082; SP70-1143; SP77-5181; SP79-1011; SP80-1816; SP80-1842; SP81-3250 e SP89-1115.

Após a coleta, os colmos foram seccionados em minitoletes (5 cm) e plantados em bandejas com células de volume 0,135 dm<sup>3</sup> preenchidos com solo e areia na proporção 2:1 respectivamente. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), no esquema fatorial 49 x 2, sendo o primeiro fator constituído pelos 49 genótipos avaliados e o segundo, duas concentrações de cloreto de sódio (NaCl): controle [concentração encontrada naturalmente no solo, com condutividade elétrica de 0,083 dS m<sup>-1</sup>] e T1 [solo enriquecido com 100 mM de NaCl, com condutividade elétrica (CE) 7,2 dS m<sup>-1</sup>], com 10 repetições por genótipo, totalizando 980 plantas. Após 33 dias, foi avaliado o índice de velocidade de brotação (IVB), pela contagem diária de plântulas brotadas, conforme a equação 1, descrita por Maguire (1962):

$$IVB = G1/N1 + G2/N2 + \dots + Gn/Nn \text{ (eq. 1)}$$

Em que:

IVB= índice de velocidade de brotação (dias);

G= número de plântulas brotadas observadas em cada contagem;

N= número de dias após o plantio em cada contagem;

A porcentagem de brotação final foi obtida pela relação entre o número de plântulas e o número de gemas plantadas, aos 33 dias após o plantio (DAP). Na sequência, as plantas foram coletadas, separando-se raízes e toletes (que foram descartados devido ao baixo peso e alto coeficiente de variação (C.V.)), da parte aérea e seguindo para secagem em estufa com circulação de ar a 70 °C durante 72 horas. Após esse intervalo, a parte aérea desidratada foi pesada em balança analítica para se obter dados de sua massa seca (MSPA, g). Com os dados de MSPA dos tratamentos enriquecido com sódio e controle, calculou-se o índice de tolerância a sodicidade (ITPA, %) a partir da equação 2. E a partir das médias de porcentagens de brotação final foi calculado o índice de tolerância da brotação - ITB (equação 3), por tratamento.

$$ITPA(\%) = \frac{(Produção\ de\ MS\ no\ tratamento\ enriquecido\ com\ sódio)}{(Produção\ de\ MS\ no\ tratamento\ controle)} \times 100. \quad (eq.2)$$

$$ITB (\%) = \frac{(Brotação\ no\ tratamento\ enriquecido\ com\ sódio)}{(Brotação\ no\ tratamento\ controle)} \times 100. \quad (eq.3)$$

Para análise estatística, os dados foram avaliados quanto à normalidade e homoscedasticidade pelos testes de Shapiro-Wilk e de Bartlett e Levene, respectivamente, ao nível de 5% de confiança e em seguida submetidos a análise de variância por meio do software SISVAR (Ferreira, 2019) e, havendo significância, as médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott ( $\alpha=5\%$ ). Os dados apresentados em porcentagem (ITPA e Brotação), para ajustes das premissas da ANOVA, foram transformados em raiz de  $(x+0,5)$ . De forma que, no entanto, foram apresentados os dados originais sem transformação na tabela de resultados.

Posteriormente, foi realizada uma análise de agrupamento e gerado um dendrograma classificando os genótipos em diferentes níveis de tolerância à salinidade por meio do software Past3 (Paleontological Statistics, Version 3.20, Oslo, Noruega) (Hammer; Harper; Rayan, 2001), na qual o índice de similaridade Euclidiana foi calculado para cada combinação de dois caracteres (ITPA e ITB). Sendo que as matrizes foram padronizadas dividindo-se o valor de cada elemento pelo desvio padrão da respectiva matriz, com a finalidade de reduzir a amplitude de variação em cada uma delas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação ao índice de tolerância à sodicidade (ITPA), 7 (sete) materiais apresentaram melhor desempenho, sendo eles CTC 3, CTC 9, CTC 9002, H. Kawandang, IAC86-2210, RB72454 e Vertex 5. No entanto, dentre estes, apenas três apresentaram maiores valores do índice de velocidade de brotação (IVB): H. Kawandang, RB72454 e CTC 9002 (Tabela 1).

O Genótipo CTC 9002 é um híbrido entre SP89-1115 e CTC 933229, que apresenta resposta positiva a maturadores e alta adaptabilidade para plantio e colheira mecanizados. Seu perfil é robusto com tolerância a seca e alta produção em TCH (toneladas por hectare). É uma variedade que apresenta rusticidade, se adequando a diversas condições climáticas e indicada para se obter bons resultados energéticos (CTC, 2025).

A RB72454 é uma variedade de maturação média, alto teor de sacarose e pouca exigência em solo, atingindo boa produtividade em qualquer tipo de solo, com destaque aos menos férteis. Isso reflete uma maior rusticidade e pode ter contribuído para a maior tolerância à salinidade. Com elevado potencial produtivo, foi a mais plantada durante muitos anos no Brasil e é utilizada até hoje nos programas de melhoramento genético para desenvolvimento de novos híbridos (Ridesa, 2021).

A espécie H. Kawandang é do gênero *Erianthus* (*E. arundinaceus*), um material rústico, com alto teor de fibras. Foi observado em experimento realizado por Melo *et al.* (2018), por meio de cortes das raízes, que estas apresentam espaço intercelular no aerênquima menor que o usual, com células do parênquima cortical (córtex) organizadas de forma mais compacta. Essa organização resulta em um sistema radicular mais espesso, denso e resistente, características que podem atuar como uma barreira física. Além disso, a H. Kawandang tem a capacidade de armazenar compostos mucilaginosos na região do protoxilema. Tais fatores podem ter contribuído para a tolerância à salinidade (Melo *et al.*, 2018; Valverde *et al.*, 2018).

RB987935 e Vertex 2 apresentaram maiores médias de IVB para o solo salino, junto a CTC 9002, H. Kawandang, RB72454 e RB988082. No entanto, o ITPA das duas primeiras não foi o maior. Ambos os índices (IVB e ITPA) auxiliam como referência quanto ao nível de tolerância à salinidade, porém não devem ser observados isoladamente. Isso porque o IVB é um fator intrínseco à variedade, determinado geneticamente e não significa que o material cuja brotação seja mais rápida será mais tolerante. Por outro lado, o ITPA é apenas a relação entre a massa seca das plantas cultivadas em solo salino em comparação com o controle. Desta forma, o ITPA pode atingir um valor alto quando os valores entre os dois tratamentos (com e sem sal) são similares, mesmo que a variedade apresente baixa brotação. Como no caso da Vertex 5, que apresentou uma das maiores médias de ITPA, mas não obteve boa brotação ao final dos 33 dias; e a CTC 3, que apresentou alto ITPA e baixo IVB (Tabela 1).

Tabela 1 – Índice de Tolerância à sodicidade (ITPA), Índice de Velocidade de Brotação (IVB) e Brotação (%) aos 33 dias após o plantio (DAP) de 49 genótipos de cana-de-açúcar.

Genótipos	ITPA	IVB		Brotação (%)		Genótipos	ITPA	IVB		Brotação (%)					
		Sem sal	Com sal	Sem sal	Com sal			Sem sal	Com sal	Sem sal	Com sal				
ARCHI	12,9 c	0,51	Ac	0,23	Bb	80 Aa	60 Ab	----- continuação -----							
Caiana-Verde	6,9 c	0,39	Ac	0,07	Bb	70 Aa	10 Bd	RB036091	36,7 b	0,71	Ab	0,19	Bb	90 Aa	40 Bc
CB45-3	35,0 b	0,53	Ac	0,11	Bb	90 Aa	30 Bc	RB72454	44,6 a	0,79	Aa	0,63	Aa	100 Aa	80 Aa
CB47-355	6,3 d	0,24	Ad	0,07	Ab	80 Aa	30 Bc	RB739735	0,0 d	0,65	Ab	0,22	Bb	100 Aa	40 Bc
CO413	0,0 d	0,60	Bb	0,07	Ab	90 Aa	10 Bd	RB835054	12,9 c	0,62	Ab	0,14	Bb	100 Aa	40 Bc
CTC 1	0,0 d	0,51	Ac	0,00	Bb	100 Aa	0 Bd	RB835486	7,5 d	0,11	Ad	0,07	Ab	30 Ab	10 Ad
CTC 14	13,1 c	0,48	Ac	0,13	Bb	90 Aa	20 Bc	RB845210	0,0 d	0,04	Ad	0,00	Ab	40 Ab	0 Bd
CTC 15	0,0 d	0,21	Ad	0,00	Ab	70 Aa	0 Bd	RB855036	0,0 d	0,13	Ad	0,00	Ab	40 Ab	0 Bd
CTC 2	1,3 d	0,47	Ac	0,01	Bb	60 Ab	10 Bd	RB855113	20,0 c	0,38	Ac	0,15	Ab	90 Aa	60 Ab
CTC 3	47,5 a	0,55	Ab	0,18	Bb	100 Aa	60 Bb	RB867515	11,4 c	0,44	Ac	0,06	Bb	90 Aa	20 Bc
CTC 4	0,0 d	0,34	Bc	0,01	Bb	90 Aa	10 Bd	RB98710	4,5 d	0,60	Ab	0,24	Bb	80 Aa	30 Bc
CTC 5	0,0 d	0,54	Bc	0,00	Bb	90 Aa	0 Bd	RB987935	28,4 b	0,97	Aa	0,72	Ba	100 Aa	100 Aa
CTC 9	60,8 a	0,91	Ba	0,28	Bb	100 Aa	70 Ab	RB988082	20,7 b	0,72	Ab	0,52	Aa	90 Aa	70 Ab
CTC 9001	32,8 b	0,90	Ba	0,32	Bb	90 Aa	50 Bb	SP70-1143	3,3 d	0,37	Ac	0,06	Bb	80 Aa	20 Bc
CTC 9002	49,2 a	0,39	Ac	0,57	Aa	60 Ab	60 Ab	SP77-5181	0,0 d	0,40	Ac	0,03	Bb	80 Aa	10 Bd
CTC 9003	11,7 c	0,14	Ad	0,08	Ab	30 Ab	20 Ac	SP79-1011	0,0 d	0,25	Ad	0,00	Bb	40 Ab	0 Bd
H, Kawandang	70,7 a	0,97	Aa	0,57	Ba	100 Aa	100 Aa	SP80-1816	15,4 c	0,39	Ac	0,09	Bb	100 Aa	60 Bb
IAC86-2210	43,8 a	0,71	Ab	0,30	Bb	100 Aa	80 Aa	SP80-1842	0,0 d	0,57	Ab	0,00	Bb	100 Aa	0 Bd
IAC86-2480	0,0 d	0,52	Ac	0,06	Bb	80 Aa	20 Bc	SP81-3250	14,6 c	0,44	Ac	0,11	Bb	70 Aa	30 Bc
IAC87-3396	0,0 d	0,42	Ac	0,15	Bb	70 Aa	30 Bc	SP89-1115	6,7 c	0,46	Ac	0,02	Bb	90 Aa	20 Bc
IAC91-1099	5,0 d	0,69	Ab	0,06	Bb	90 Aa	60 Ab	Vertex 10	0,0 d	0,21	Ad	0,01	Ab	60 Ab	10 Bd
IJ76-314	10,0 c	0,71	Ab	0,14	Bb	80 Aa	20 Bc	Vertex 2	30,4 b	0,91	Aa	0,75	Aa	100 Aa	80 Aa
NA56-79	2,5 d	0,51	Ac	0,00	Bb	100 Aa	0 Bd	Vertex 3	0,0 d	0,34	Ac	0,00	Bb	90 Aa	0 Bd
RB002504	3,8 d	0,61	Ab	0,04	Bb	100 Aa	40 Bc	Vertex 5	58,8 a	0,84	Aa	0,28	Bb	90 Aa	40 Bc
RB036066	0,0 d	0,17	Ad	0,01	Ab	40 Ab	10 Ad	Vertex 7	8,8 c	0,31	Ad	0,10	Ab	90 Aa	40 Bc

<sup>1</sup>As médias seguidas da mesma letra maiúscula (na linha) e minúscula (na coluna) não diferem de acordo com o teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). Para ITPA, C.V. (%): 54,5 e média geral: 15,1; para IVB, C.V. (%): 81,9 e média geral: 0,33; para brotação, C.V. (%): 57,9 e média geral: 32,7.

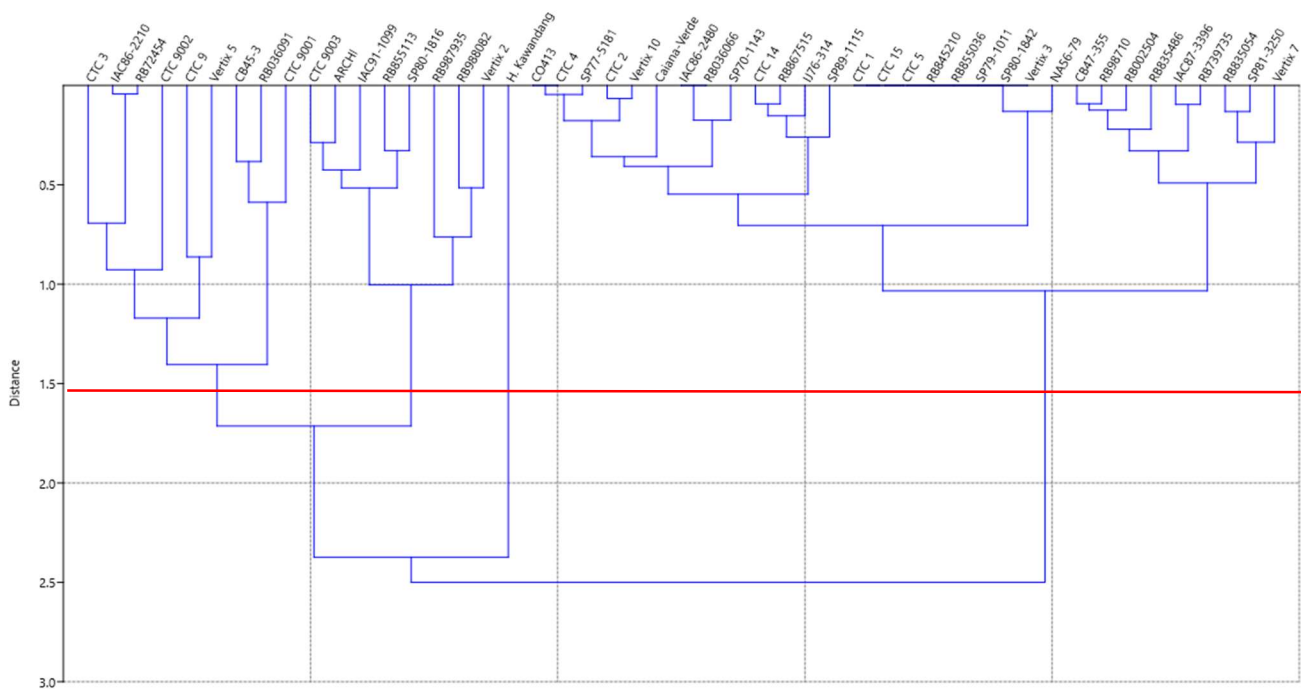
Em relação a porcentagem de brotação após os 33 dias de plantio, 40 genótipos não diferenciaram estatisticamente entre si, com as maiores médias no tratamento sem adição de NaCl. Já no tratamento sodificado, apenas cinco se destacaram: H. Kawandang, RB72454, RB987935, IAC86-2210 e Vertix 2 (Tabela 1). Este último é um cultivar considerado do tipo “cana-energia”, representado por híbridos geralmente obtidos pelo cruzamento entre espécies comerciais e selvagens (especialmente *S. spontaneum*), visando maior conteúdo de fibra e baixo teor de açúcares. É um material com maior perfilhamento e número de folhas, que contribui para maior interceptação de luz e manutenção da atividade fotossintética (Cruz *et al.*, 2021). Isso pode ser importante na tolerância a estresse abióticos e o resultado do presente experimento corrobora com o observado por Cruz *et al.* dabrowska (2021) comparando a tolerância a estresse hídrico entre canas-energia e cana-de-açúcar comercial.

Quanto à variação entre os tratamentos com e sem sal, 14 genótipos apresentaram médias estatisticamente iguais em ambos, o que demonstra a não interferência da salinidade para seu desenvolvimento inicial. Apesar disso, estes materiais não necessariamente se adaptam melhor ao sistema, como observado na variedade RB036066, com uma das menores médias de brotação aos 33 DAP e menores valores do IVB e ITPA. O mesmo acontece para as variedades CTC 9003 e RB835486, que também apresentaram os piores resultados de IVB (Tabela 1).

A variedade RB987935 apresenta ciclo médio a tardio, com excelente sanidade, brotação e perfilhamento, sendo uma alternativa para plantio em ambiente de média a alta fertilidade (Ridesa, 2021) e atingiu um IVB elevado no presente experimento (Tabela 1). O desenvolvimento inicial é uma fase muito importante para o sucesso da cultura, resultando em plantas mais vigorosas a princípio, o que potencializa sua tolerância a estresses e permite que, com o maior desenvolvimento, estas estejam mais aptas a sobreviverem, o que corrobora com a maior porcentagem de brotação após os 33 dias de plantio.

Com base nos resultados obtidos, foi construído dendrograma de dissimilaridade fenotípica (Figura 1), com base na soma dos valores de ITP e ITB, em que os materiais com valores mais discrepantes entre si foram classificados em grupos distintos. A partir do dendrograma, foi possível separar os genótipos em cinco grupos, sendo o grupo 1 corresponde a CTC 3, IAC86-2210, RB72454, CTC 9002, CTC 9 e Vertix 5, de menores distâncias Euclidianas. Na sequência foram os genótipos CB45-3, RB036091 e CTC 9001 (grupo 2). O grupo 3 foi composto por 8 genótipos, CTC 9003, ARCHI, IAC91-1099, RB855113, SP80-1816, RB987935, RB808082 e Vertix 2. De forma isolada, a espécie H. Kawandang (grupo 4), que mais se diferenciou dos demais. Por fim, os demais genótipos, ao total de 31, foram agrupados no grupo 5.

Figura 1 – Dendrograma de dissimilaridade fenotípica entre 49 genótipos de cana-de-açúcar.



Fonte: próprio autor (2024).

Considerando o comportamento gerado no dendrograma, nota-se que a espécie *H. Kawandang*, a mais isolada e distante, apresenta valores acima da média dos dois parâmetros avaliados, classificando-a como tolerante (T) a sodicidade. Isso pode ser explicado devido ao fato de ser um material do gênero *Erianthus*, diferente do restante, que é *Saccharum* sp. Contudo, genótipos do grupo 5 destacaram negativamente, com valores abaixo da média dos parâmetros avaliados, considerando-os como genótipos susceptíveis (S) a sodicidade. Os grupos 2 e 3 foram classificados em relação à média dos parâmetros como intermediários (I) e o grupo 1 como moderadamente tolerante (MT) a sodicidade.

## CONCLUSÃO

O estudo confirmou a variação genotípica na tolerância à sodicidade entre 49 genótipos de cana-de-açúcar. O dendrograma de dissimilaridade fenotípica identificou cinco grupos, classificando em níveis de tolerância a sodicidade, destacando a espécie *H. Kawandang* como altamente tolerante. Os genótipos que apresentaram as maiores médias para as variáveis avaliadas foram *H. Kawandang* e RB72454.

## REFERÊNCIAS

- Alvares, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Chiconato, D. A. *et al.* Adaptation of sugarcane plants to saline soil. **Environmental and Experimental Botany**, n. 162, p. 201-211, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.02.021>.
- Cruz, F. J. R.; Costa, F. J. D; Santos, D. M. M. Low salt stress affects physiological parameters and sugarcane plant growth. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 8, p. 1272-1279, 2018. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.08.pne999>.
- Cruz, L. P. *et al.* Morpho-physiological bases of biomass production by energy cane and sugarcane: A comparative study. **Industrial Crops and Products**, v. 171, n. 113884, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113884>.
- CTC. **Centro de Tecnologia Canaveira**. CTC 9002. Disponível em: <https://ctc.com.br/produtos/produtos/ctc-9002/>. Acesso em: 24 mar. 2025.
- Devi, E. L. *et al.* Adaptation strategies and defence mechanisms of plants during environmental stress. **Medicinal plants and environmental challenges**, p. 359–413, 2017. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-68717-9\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-319-68717-9_20).
- Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039- 1042, 2019. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542011000600001>.
- Gomathi, R.; Thandapani, P. Influence of salinity stress on growth parameters and yield of sugarcane. **International Journal of Pharma and Bio Sciences**, v. 9, p. 28–32. 2014. <https://doi.org/10.9790/3008-09342832>.
- Granja, M. M. C. *et al.* Response to in vitro salt stress in sugarcane is conditioned by concentration and condition of exposure to NaCl. **Acta Biologica Colombiana**, v.23, n.1, p. 30–38, 2018. <https://doi.org/10.15446/abc.v23n1.63513>.
- Gupta, B.; Huang, B. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. **International Journal of Genomics**, p. 1-18, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/701596>.
- Hammer, O., Harper, D. A. T. e Rayan, P. D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. **Paleontologia Electronica**, v. 4, n. 1, 9 p., 2001. Disponível em: [http://www.uv.es/~pardomv/pe/2001\\_1/past/pastprog/past.pdf](http://www.uv.es/~pardomv/pe/2001_1/past/pastprog/past.pdf) Acesso em: 24 ago. 2024.
- Kumar, A. *et al.* Plant growth-promoting bacteria: biological tools for the mitigation of salinity stress in plants. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, p01216, 2020. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01216>.

Maguire, J. D. Speed of germination – aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, p.176-177, 1962. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>.

Meena, M. R. *et al.* Current breeding and genomic approaches to enhance the cane and sugar productivity under abiotic stress conditions. **3 Biotech**, v. 10, p. 440, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02416-w>.

Melo, G. M. *et al.* Pré-condicionamento *in vitro* de plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) para tolerância ao estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p. 27-33, 2014. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsuppS27-S33>.

Melo C. G., *et al.* Anatomical, morphological, and physiological responses of two sugarcane genotypes of contrasting susceptibility to *Mahanarva fimbriolata* (Hemiptera: Cercopidae). **Bulletin of Entomological Research**. v. 108, n. 4, p. 556-564. 2018. <https://doi.org/10.1017/S0007485317001110>.

Poonsawat, W. *et al.* Regulation of some salt defense-related genes in relation to physiological and biochemical changes in three sugarcane genotypes subjected to salt stress. **Protoplasma**, v. 252, p. 231–243, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00709-014-0676-2>.

Rao, V. P.; Sengar, R. S.; Singh, R. B. Identification of salt tolerant sugarcane cultivars through phenotypic, physiological and biochemical studies under abiotic stress. **Plant Physiology Reports**, v. 26, n. 2, p. 256-283, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40502-021-00581-5>.

Ridesa – Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucoenergético. **50 anos de variedades RB de cana-de-açúcar. 30 anos de RIDESA**. Jun. 2021. Disponível em: <https://www.ridesa.com.br/variedades>. Acesso em: 18 jul. 2024.

Valverde A. H. P. *et al.* Uma nova metodologia para triagem em larga escala da resistência da cana-de-açúcar a *Mahanarva Fimbriolata* (Hemiptera: Cercopidae). **Bragantia**, v. 77, n. 4, p. 599-608, 2018.

Watanabe, K. *et al.* Changes in Agronomic and Physiological Traits of Sugarcane Grown with Saline Irrigation Water. **Agronomy**, v. 10, n. 5, p.722, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050722>.

Wu, H. H.; *et al.* It is not all about sodium: revealing tissue specificity and signalling roles of potassium in plant responses to salt stress. **Plant and Soil**, v. 431, p. 1-17, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3770-y>.

## ARTIGO 2 – BIOESTIMULANTES NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE SALINO EM CANA-DE-AÇÚCAR

### RESUMO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma planta glicófito, com sensibilidade moderada à salinidade. A salinidade em solos tem crescido, especialmente em regiões áridas e semiáridas, devido ao uso de água de baixa qualidade, rica em sais, na irrigação. Assim, com o presente estudo objetivou-se avaliar o uso de dois bioestimulantes, Roadster® (*Ascophyllum nodosum*) e Trichodermil® (*Trichoderma harzianum*), na mitigação do estresse salino em cinco genótipos de cana-de-açúcar com diferentes níveis de tolerância à salinidade: CTC 9001, CTC 9002, RB987935, H. Kawandang e SP80-1842. O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Federal de Lavras (UFLA) sob delineamento inteiramente casualizado, com dois fatores no esquema (2×6), sendo o primeiro fator duas concentrações de NaCl (controle e solo enriquecido com 100mM de NaCl); e o segundo fator doses do produto Roadster® (*A. nodosum*) [0; 1,25; 2,5; 5,0; 10,0 mL L<sup>-1</sup>] e um tratamento adicional de 2,5 mL.L<sup>-1</sup> do produto Trichodermil® (*T. harzianum*), com cinco repetições, totalizando 60 plantas/genótipo. Após 60 dias, foram avaliados a altura do colmo, massa seca da parte aérea e índice de tolerância à salinidade da parte aérea. A dose de 10 mL.L<sup>-1</sup> de Roadster® destacou-se com os melhores resultados na maioria das variáveis analisadas para CTC 9001, RB987935 e CTC 9002, enquanto as doses intermediárias de Roadster® evidenciaram possíveis efeitos negativos. Trichodermil® apresentou bom desempenho em algumas condições, mas inferior ao Roadster®. Os genótipos H. Kawandang e SP80-1842 mostraram maior resposta em doses intermediárias de Roadster® na tolerância ao estresse salino. A interação entre os tratamentos e genótipos reforça a necessidade de estratégias específicas para maximizar a tolerância e o desempenho da cultura frente à salinidade.

Palavras-chave: Sodicidade, *Saccharum* spp., *Erianthus arundinaceus*, estresse salino, *A. nodosum*, *T. harzianum*.

## INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), uma cultura que se destaca pela sua relevância na produção de biocombustíveis. Apesar de sua importância econômica, a cana-de-açúcar é uma planta glicófito, apresentando sensibilidade moderada à salinidade dos solos. Esse problema tem se intensificado de forma alarmante, especialmente em regiões de clima árido e semiárido. Nessas áreas, o uso de águas de baixa qualidade, com elevados teores de sais, como o sódio, é uma prática comum, agravando ainda mais os impactos da salinidade no solo (Ahmad *et al.*, 2012; FAOSTAT, 2024; Singh, 2018).

A sodicidade refere-se ao excesso de sódio ( $\text{Na}^+$ ) no solo, dificultando a absorção de água pelas plantas e levando-as ao estresse iônico e oxidativo. Esse estresse leva à formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), promovendo desequilíbrio na homeostase celular e danos oxidativos a tecidos, lipídios, proteínas e ácidos nucleicos. Além disso, a sodicidade reduz as taxas fotossintéticas devido à inibição do metabolismo celular e da ação de enzimas essenciais, como PEPcase e RuBisCO, afetando também os teores de clorofila. Esses fatores podem levar ao fechamento estomático, comprometendo a difusão de  $\text{CO}_2$  nas células (Acosta-Motos *et al.*, 2017; Dabrowska *et al.*, 2007; Flowers, Munns e Colmer, 2015; Rasheed *et al.*, 2016; Siddiqui *et al.*, 2020).

As plantas possuem mecanismos antioxidantes para mitigar o estresse salino, incluindo enzimas como a dismutase do superóxido (SOD), catalases (CATs) e ascorbato peroxidases (APX) (Ahanger *et al.*, 2015; Gill; Tuteja, 2010). No caso da cana-de-açúcar, a ampla variabilidade genética resulta em níveis distintos de tolerância ao estresse salino. Por isso, o manejo varietal, com a seleção de genótipos mais tolerantes, é uma abordagem eficaz, que pode ser associada a estratégias complementares, como o uso de bioestimulantes (Chiconato *et al.*, 2019; Meena *et al.*, 2020; Kumar *et al.*, 2017).

Um dos bioestimulantes que podem ser utilizados é o extrato de *Ascophyllum nodosum* (alga marrom), que promove a formação de raízes e brotações por meio da regulação do metabolismo de fitohormônios e da modulação de genes relacionados ao estresse, favorecendo o acúmulo de osmoprotetores (Shukla *et al.*, 2018). Outra alternativa, o fungo *Trichoderma harzianum*, que tem demonstrado potencial como bionemático e biofungicida, sendo uma escolha ecologicamente correta para solos salinos (Abu-Shanab *et al.*, 2022).

Assim, o presente estudo objetivou avaliar o efeito de diferentes doses do produto Roadster® (*A. nodosum*) e um tratamento adicional de Trichodermil® (*T. harzianum*) em cinco genótipos de cana-de-açúcar com diferentes níveis de tolerância a salinidade, visando

identificar a dose que proporciona maiores incrementos na produção de massa seca no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar e na mitigação de efeitos da salinidade durante o desenvolvimento vegetativo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no setor de grandes culturas do Departamento de Agricultura/ESAL da Universidade Federal de Lavras – UFLA, no município de Lavras, Minas Gerais (21°14'3187"S, 44°59'55"W, altitude 919 m), em que o clima é classificado com Cwa na escala Köppen (Alvares *et al.*, 2013). As plantas foram coletadas no banco ativo de germoplasma da estação experimental no Centro de Desenvolvimento e Transferência Tecnologia (CDTT), do Departamento de Agricultura/ESAL da Universidade Federal de Lavras - UFLA, no município de Ijaci, Minas Gerais (21°09'48" S, 44°54'58" W, altitude 889 m).

Foram selecionados cinco genótipos de cana-de-açúcar com base em sua diversidade genética, incluindo quatro cultivares de *Saccharum* spp. e uma espécie de gênero diferente, *Erianthus arundinaceus* (H. Kawandang). A escolha considerou a ampla variabilidade genética dos genótipos e resultados de estudos preliminares (Capítulo 1) que evidenciaram cinco grupos de genótipos com comportamentos distintos em condições de salinidade. Os genótipos utilizados foram: CTC 9002 (grupo 1), CTC 9001 (grupo 2), RB987935 (grupo 3), H. Kawandang (grupo 4) e SP80-1842 (grupo 5). O delineamento utilizado dentro de cada genótipo foi inteiramente casualizado (DIC), com dois fatores no esquema (2×6), sendo o primeiro fator duas concentrações de cloreto de sódio (NaCl): controle (teor encontrado naturalmente no solo) e T1 (solo enriquecido com 100mM de NaCl); e o segundo fator diferentes doses do produto comercial Roadster® (*A. nodosum*) [ 0; 1,25; 2,5; 5,0; 10,0 mL L<sup>-1</sup>] e uma dose adicional de 2,5mL.L<sup>-1</sup> do produto Trichodermil® (*T. harzianum*). Foram avaliadas cinco plantas por tratamento para cada genótipo, totalizando 60 plantas por genótipo.

Os colmos selecionados foram seccionados em minitoletes de 5 cm e submersos em solução contendo as diferentes doses dos bioestimulantes e água durante um minuto. Logo em seguida, foram plantados em tubetes (citropotes) com volume de 3 dm<sup>3</sup> preenchidos com solo argiloso (Tabela 1). A condutividade elétrica (CE) foi estimada a partir da solução obtida da lavagem do solo após a coleta das plantas, sendo determinada com auxílio de condutivímetro, em que o solo original atingiu 1,65 dS m<sup>-1</sup> e o solo enriquecido com NaCl, 28,1 dS m<sup>-1</sup>, sendo

classificado como salino (C.E. > 4 dS.m<sup>-1</sup>) segundo Richards (1969) ou severamente salino (C.E. entre 16 e 32 dS.m<sup>-1</sup>) segundo classificação do Departamento de Agricultura da Austrália.

Tabela 1 – Resultado da análise de solo expresso por volume de terra fina seca no Ar (0-20 cm).

<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>H+Al</b>	<b>S</b>	<b>Na</b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>
0,5	32	5	15	<1,0	38	<0,12	3,0	37	22,2	0,4

<b>C Total</b>	<b>pH</b>	<b>pH SMP</b>	<b>MO</b>	<b>P mel.</b>	<b>P remanesc.</b>	<b>SB</b>	<b>CTC</b>	<b>V%</b>	<b>m%</b>
10	6,1	6,98	17	2	8	37,5	53	71	1

pH em CaCl<sub>2</sub>, MO em g.dm<sup>-3</sup>, S-SO<sub>4</sub>, B, Cu, Fe, Mn e Zn expressos em mg.dm<sup>-3</sup>. K, Ca, Mg, H+Al, Al, Na, SB e CTC em mmolc.dm<sup>-3</sup>. Cu, Fe, Mn, Zn extraídos em DTPA.

Fonte: Ribersolo – Laboratório de Análises Agrícolas (2024).

Após 60 dias do plantio, a porcentagem de brotação final foi obtida pela relação entre o número total de plântulas que brotaram e o número total de gemas plantadas inicialmente. O desenvolvimento das plântulas foi avaliado por meio de medições da altura das plantas (considerando do nível do solo até a inserção da folha +1, cm); na sequência as plantas foram cortadas na região do coleto e separada a parte aérea, sendo colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C para secagem, durante 72 horas. Em seguida, foram pesadas em balança analítica para obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA). Com os dados de MSPA, foi calculado o índice de tolerância à salinidade da parte aérea (ITPA, %) conforme a equação 1.

$$ITPA (\%) = \frac{(MS \text{ no tratamento solo enriquecido com sódio})}{(MS \text{ no tratamento controle})} \times 100. (Eq. 1)$$

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância, e os efeitos das doses do bioestimulante Roadster® sobre as variáveis avaliadas foram analisadas por regressão polinomial, considerando modelos linear, quadrático e a interação entre as doses de Roadster® e os níveis de sodicidade. Para comparar as médias do tratamento Roadster® com o tratamento Trichodermil®, utilizou-se o teste t de Student a 5% de significância, por meio do software estatístico SISVAR® (Ferreira, 2019).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Genótipo CTC 9001

Houve interação entre os fatores para altura de plantas e efeito isolado dos tratamentos para MSPA e ITPA (Figura 1, A-C). Dentre os tratamentos avaliados, a dose de 10 mL L<sup>-1</sup> de Roadster® destacou-se por promover os maiores valores nas variáveis analisadas, aproximando-se do desempenho do controle em solo sem adição de sal. No entanto, observou-se uma queda acentuada no crescimento nas doses intermediárias, indicando uma possível toxicidade ou desequilíbrio associado a essas concentrações, com alturas mínimas de 7,33 cm (solo sodificado) e 7,32 cm (solo sem adição de sal), nas doses estimadas de 5,17 mL L<sup>-1</sup> e 4,16 mL L<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 1, A).

Para a MSPA, os maiores valores foram observados na dose de 10 mL L<sup>-1</sup> de Roadster® e no controle (0,92 e 0,82 g, respectivamente) (Figura 1, B). No entanto, a regressão revelou declínio acentuado na dose estimada de 4,72 mL L<sup>-1</sup>, com média de 0,56 g. No ITPA (Figura 1, C), verificou-se maior redução na dose de 4,67 mL L<sup>-1</sup> (20,48% de tolerância), em contraste com o controle (54,76%).

Em relação ao tratamento adicional, houve diferença significativa apenas para a maior dose de Roadster® no solo sem adição de sal, que apresentou maior crescimento em altura. Já em relação a MSPA, a dose de 10 mL L<sup>-1</sup> de Roadster® foi superior ao controle, enquanto para ITPA, o controle apresentou valor superior.

### **Genótipo RB987935**

Para o material RB987935, houve interação dos fatores para a altura de plantas, que foi afetada significativamente pela salinidade (Figura 2, A), para MSPA e ITPA. No solo sodificado, as doses de Roadster® não apresentaram diferença entre si e o a dose de Trichodermil®. Já no solo sem adição de sal, houve diferença entre os tratamentos, de forma que as maiores doses de Roadster® apresentaram maior resultado em comparação ao Trichodermil®, atingindo um ponto máximo de 9,11 cm na dose estimada de 6,85 mL L<sup>-1</sup>, em comparação ao Trichodermil® com 5,86 cm.

A MSPA reduziu significativamente no solo sodificado (Figura 2, B). Diferentemente do observado para a altura das plantas, a aplicação de Trichodermil® resultou nas menores médias de MSPA em ambos os tipos de solo, sendo estatisticamente inferior ao controle e à maior dose de Roadster®. Em relação à aplicação de Roadster®, houve uma redução na MSPA com o aumento das doses, seguida de uma recuperação na dose mais alta (10 mL L<sup>-1</sup>) em ambos os solos. Para o ITPA (Figura 2, C), todas as doses de Roadster® apresentaram valores superiores e estatisticamente diferentes em relação ao Trichodermil®. No entanto, verificou-se

um efeito negativo com o aumento das doses de Roadster®, resultando em uma redução no índice de tolerância, com leve recuperação na dose mais alta.

### **Genótipo CTC 9002**

Houve efeito significativo para altura, MSPA e ITPA. Em ambos solos (com e sem adição de sal) houve redução de altura e MSPA, com o aumento das doses do bioestimulante Roadster® (Figura 3, A – B), havendo um efeito positivo apenas para a maior dose (10 mL L<sup>-1</sup>), na qual foi superior a média de MSPA do solo com sal, performando-se assim maior eficácia para o índice da tolerância (ITPA) à salinidade no genótipo CTC 9002 (Figura 3, C), não diferindo do tratamento adicional com Trichodermil®. No solo salino, tanto a dose máxima de Roadster® quanto o Trichodermil® foram os tratamentos mais promissores, especialmente para MSPA.

O aumento das doses de Roadster® influenciou de forma distinta a altura das plantas. Observou-se uma redução inicial, seguida por um leve incremento nas doses mais elevadas. No solo sodificado, a altura mínima foi de 1,15 cm, na dose estimada de 6,19 mL L<sup>-1</sup>, enquanto no solo sem adição de sal, a altura mínima foi de 21,35 cm, registrada na dose de 5,67 mL L<sup>-1</sup>. No solo salino, o Trichodermil® promoveu maior crescimento em comparação aos outros tratamentos, enquanto no solo sem adição de sal, o Roadster® destacou-se como o produto mais eficaz.

Quanto à MSPA, os resultados demonstraram diminuição nas doses intermediárias, com valores mínimos de 3,81 g na dose de 3,15 mL L<sup>-1</sup> no solo sodificado e 7,58 g na dose de 9,61 mL L<sup>-1</sup> no solo sem adição de sal. Na dose máxima de Roadster® (10 mL L<sup>-1</sup>), os valores de MSPA não diferiram significativamente daqueles obtidos com o Trichodermil®. Por fim, o índice de tolerância da parte aérea (ITPA) apresentou um declínio até a dose de 3,81 mL L<sup>-1</sup>, com o menor índice registrado (16,79%), seguido de um aumento nas doses mais altas. O maior ITPA foi observado na dose máxima de Roadster® (10 mL L<sup>-1</sup>), sem diferenças estatísticas em relação ao Trichodermil®.

### **Genótipo H. Kawandang**

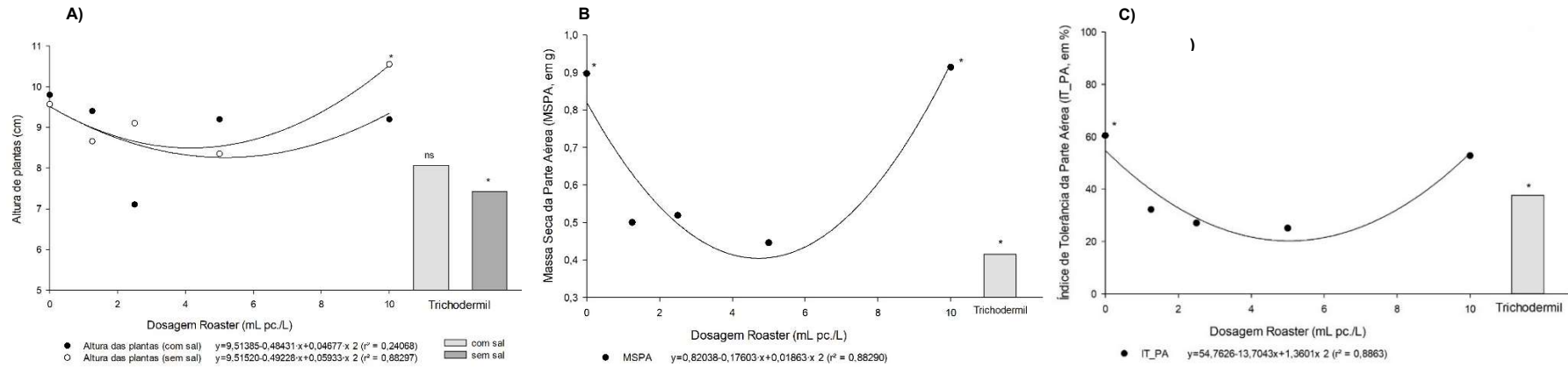
Para H. Kawandang, houve interação entre os fatores sobre a MSPA e ITPA. Os resultados indicam que o genótipo apresenta certa estabilidade frente à salinidade, sem efeitos significativos da adição de sal no solo sobre altura (Figura 4, A). Contudo, a análise de regressão

revelou pontos máximos de crescimento na dose de 4,38 mL L<sup>-1</sup> de Roadster® para altura (5,38 cm). O maior acúmulo de biomassa foi observado em solos sem adição de sal, destacando a interação positiva entre o produto e condições favoráveis do solo. Assim, o Roadster® demonstrou potencial em otimizar o desempenho do genótipo, especialmente em doses próximas de 5 mL L<sup>-1</sup>, favorecendo maior eficiência na adaptação a condições adversas. Em relação à MSPA, observou-se maior acúmulo de biomassa no solo sem adição de sal. No solo salino, o valor máximo foi de 0,78 g na dose de 5,04 mL L<sup>-1</sup>, enquanto no solo sem adição de sal, o pico foi registrado em 0,80 g, sob a dose de 6,44 mL L<sup>-1</sup>, evidenciando uma interação significativa entre o produto e a condição salina. Para o índice de tolerância da parte aérea (ITP), houve um comportamento inicial de crescimento, atingindo o valor máximo de 99,13% na dose estimada de 5,05 mL L<sup>-1</sup> de Roadster®. Esse resultado indica o potencial da dose para promover maior tolerância à salinidade no genótipo avaliado.

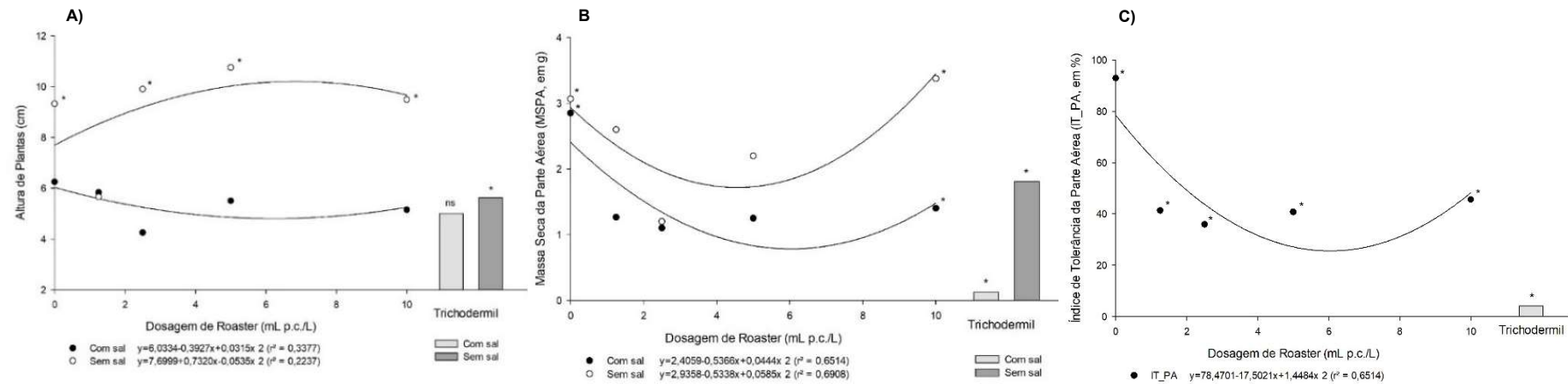
### **Genótipo SP80-1842**

Houve interação para MSPA e ITPA sobre o genótipo SP80-1842. No entanto, a salinidade não afetou significativamente a altura da variedade SP80-1842 e não houve diferença estatística entre as doses de Roadster® e Trichodermil® para este caractere (Figura 5, A). Para MSPA, observou-se maior acúmulo de biomassa em solos sem adição de sal (Figura 5, B). No solo salino, o valor máximo foi de 2,09 g, alcançado na dose de 4,75 mL L<sup>-1</sup>, enquanto no solo sem adição de sal o pico foi 4,18 g, na dose de 7,14 mL L<sup>-1</sup>, evidenciando uma interação entre salinidade e produto aplicado. Sendo a aplicação de Trichodermil® com média inferior e estatisticamente diferentes das doses de Roadster® a partir de 2,5 mL L<sup>-1</sup>, apenas no solo sem adição de sal. O ITPA atingiu o valor máximo de 68,36% na dose de 4,75 mL L<sup>-1</sup>, demonstrando elevada capacidade de tolerância ao sal nessa faixa (Figura 5, C). Apenas a dose de 2,5 mL L<sup>-1</sup> de Roadster® diferiu do tratamento adicional, sendo superior ao mesmo.

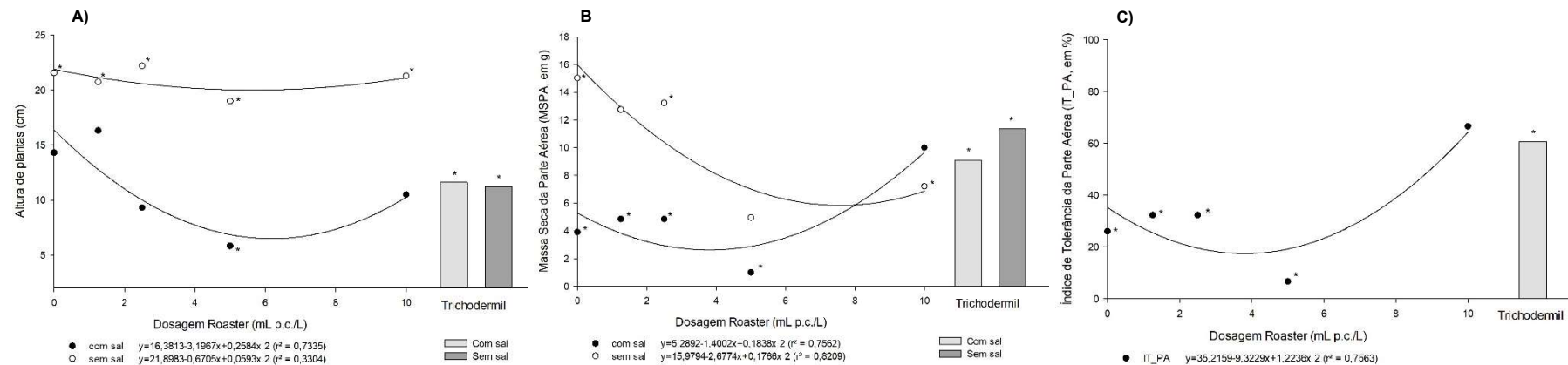
**Figura 1** – Caracteres avaliados no genótipo CTC 9001 em razão das doses de Roadster, com e sem sal, acrescentado da testemunha adicional (Trichodermil): A) altura de plantas (cm); B) massa seca da parte aérea – MSPA, em g; C) índice de tolerância da parte aérea – IT\_PA, em %. <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo a 5% pelo teste t de Student, em comparação ao tratamento adicional (Trichodermil).



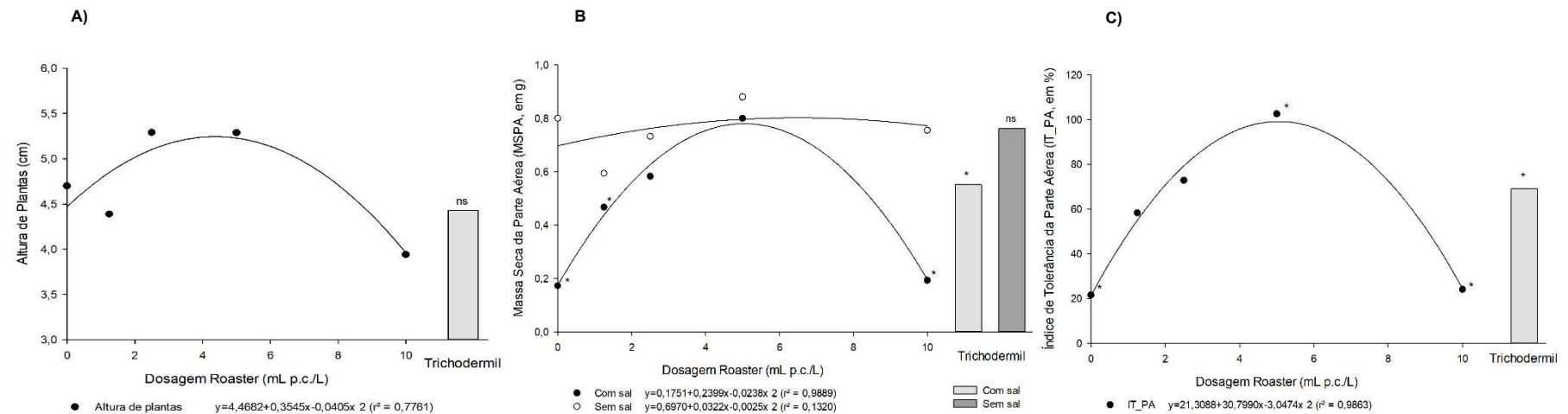
**Figura 2** – Caracteres avaliados no genótipo RB987935 em razão das doses de Roadster, com e sem sal, acrescentado da testemunha adicional (Trichodermil): A) altura de plantas (cm); B) massa seca da parte aérea – MSPA, em g; C) índice de tolerância da parte aérea – IT\_PA, em %. <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo a 5% pelo teste t de Student, em comparação ao tratamento adicional (Trichodermil).



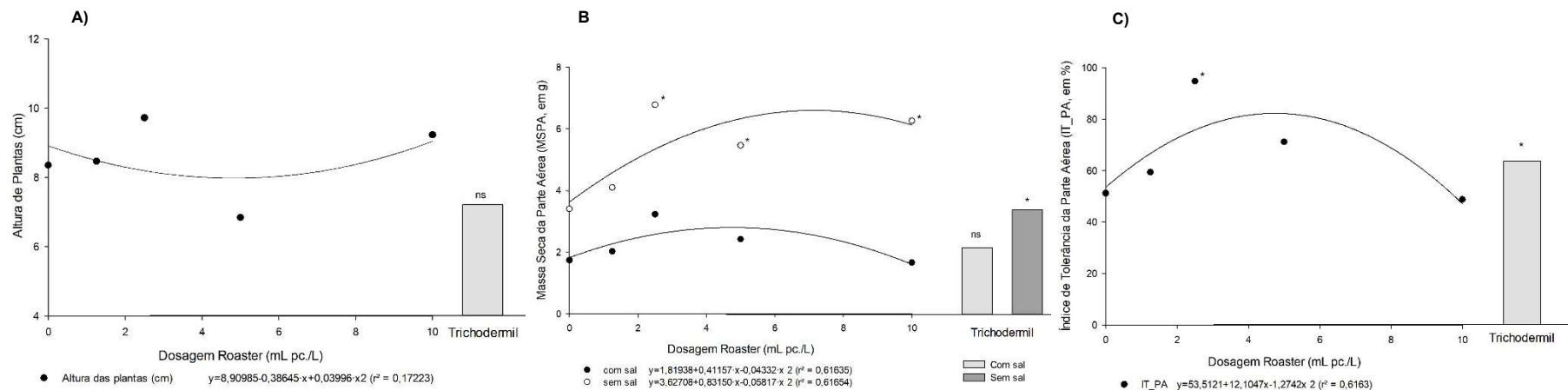
**Figura 3** – Caracteres avaliados no genótipo CTC 9002 em razão das doses de Roadster, com e sem sal, acrescentado da testemunha adicional (Trichodermil): A) altura de plantas (cm); B) massa seca da parte aérea – MSPA, em g; C) índice de tolerância da parte aérea – IT\_PA, em %. <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo a 5% pelo teste t de Student, em comparação ao tratamento adicional (Trichodermil).



**Figura 4** – Caracteres avaliados no genótipo H. Kawandang em razão das doses de Roadster, com e sem sal, acrescentado da testemunha adicional (Trichodermil): A) altura de plantas (cm); B) massa seca da parte aérea – MSPA, em g; C) índice de tolerância da parte aérea – IT\_PA, em %. <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo a 5% pelo teste t de Student, em comparação ao tratamento adicional (Trichodermil).



**Figura 5** – Caracteres avaliados no genótipo SP80-1842 em razão das doses de Roadster, com e sem sal, acrescentado da testemunha adicional (Trichodermil): A) altura de plantas (cm); B) massa seca da parte aérea – MSPA, em g; C) índice de tolerância da parte aérea – IT\_PA, em %. <sup>ns</sup> não significativo e \* significativo a 5% pelo teste t de Student, em comparação ao tratamento adicional (Trichodermil).



## Resposta em relação às doses de bioestimulante

A condutividade elétrica do solo salinizado foi superior à condutividade do solo sem aplicação de sal, resultando em efeitos deletérios em algumas das plantas avaliadas, o que corrobora com os resultados reportados por Watanabe *et al.* (2020). No entanto, embora a altura seja uma variável importante no estudo do crescimento vegetal, o incremento na massa seca da parte aérea reflete com maior precisão o metabolismo da planta, sendo menos influenciado por flutuações de umidade e acúmulo de água.

Em relação às doses de bioestimulante, os genótipos avaliados podem ser classificados em genótipos com baixa resposta, incluindo o genótipo CTC 9001, que apresentou melhores resultados sob a dose de 10 mL<sup>-1</sup>, com a promoção da recuperação em condições de estresse salino e desempenho próximo ao controle no solo sem adição de sal, e o genótipo RB987935, para o qual a dose de 10 mL.L<sup>-1</sup> também promoveu a recuperação de MSPA no solo salino, porém abaixo do controle, e todas as doses de Roadster® apresentaram resultados superiores à aplicação de Trichodermil®.

Por sua vez, o genótipo CTC 9002 pode ser classificado como genótipo com alta resposta a dose, em que o maior ITPA foi observado na dose de 10 mL<sup>-1</sup> de Roadster®, superior ao controle, mas sem diferenciar significativamente do Trichodermil®. E, por fim, os genótipos SP80-1842 e H. Kawandang apresentaram resposta sob doses intermediárias do Roadster®, sendo que SP80-1842 apresentou uma resposta limitada ao produto, com maiores valores obtidos sob a dose de 4,75 mL L<sup>-1</sup>, em ambos os solos. Já H. Kawandang foi o genótipo que apresentou os resultados mais promissores e significativos, com alta resposta a dosagens intermediárias de Roadster® contra a salinidade.

Os genótipos de cana-de-açúcar avaliados apresentaram respostas diferenciadas à salinidade do solo e aos tratamentos com bioestimulantes, com destaque para a dose de 10 mL L<sup>-1</sup> de Roadster®, que promoveu os melhores resultados em diversas variáveis, como MSPA, altura e diâmetro de colmos. Vale ressaltar que o solo atingiu uma C.E. elevada (28,1 dS.m<sup>-1</sup>), ou seja, uma condição de salinidade severa. A salinidade resultou em redução significativa do crescimento e o desenvolvimento da maioria dos genótipos, embora H. Kawandang e SP80-1842 tenham demonstrado maior eficiência frente ao estresse salino.

A análise de regressão evidenciou que doses intermediárias de Roadster® frequentemente resultaram em quedas no crescimento, indicando possíveis efeitos negativos, enquanto as doses mais altas apresentaram tendência de recuperação. O Trichodermil® também demonstrou potencial em algumas condições, especialmente em solos salinos, mas não superou

consistentemente o desempenho do Roadster®. Esses resultados reforçam a importância de ajustar as doses de bioestimulantes de acordo com o genótipo e as condições de salinidade, visando maximizar a tolerância e o desempenho da cultura.

O extrato de *Ascophyllum nodosum* promove o aumento dos teores de carbono, nitrogênio e clorofila nas folhas, devido à sua composição rica em nutrientes e à modulação de genes responsivos, além de melhorar a retenção hídrica nas plantas (Wally *et al.*, 2013; Nair, 2012). Em estudos com *Arabidopsis thaliana* (Brassicaceae), uma espécie modelo para a pesquisa em fisiologia vegetal, verificou-se que, na presença de sódio, a aplicação de extrato de *A. nodosum* incrementou significativamente a matéria fresca e seca das plantas em comparação ao controle. Além disso, as plantas tratadas apresentaram menor acúmulo de Na<sup>+</sup> e maior absorção de P em relação àquelas expostas apenas ao solo salino, sem aplicação do extrato (Shukla *et al.*, 2018).

Em mudas de *Arabidopsis spp.* cultivadas *in vitro*, o extrato de *A. nodosum* aumentou o enraizamento, o número e o comprimento de raízes laterais após sete dias, bem como o conteúdo hídrico, o que contribui para a diluição de sais no solo, reduzindo o estresse osmótico e favorecendo a absorção de água. Esses benefícios estão relacionados à presença de compostos bioativos que modulam a expressão de miRNAs envolvidos na nutrição e tolerância ao estresse, além de estimular a biossíntese de fitohormônios como auxinas, citocininas, ácido abscísico, ácido giberélico, etileno, ácido jasmônico e ácido salicílico (Wally *et al.*, 2013; Peleg; Blumwald, 2011). *A. nodosum* também demonstrou eficácia na mitigação de estresses abióticos, incluindo salinidade, em culturas como batata, café e espécies ornamentais (Neumann *et al.*, 2017; Fernandes *et al.*, 2019; Sales *et al.*, 2024).

Por outro lado, o extrato de *Trichoderma harzianum* tem mostrado potencial como mitigador de estresses abióticos, promovendo aumento no número de folhas, área foliar, taxa fotossintética e fluorescência de clorofila (Rawat *et al.*, 2012). Este fungo coloniza as raízes, competindo por espaço e nutrientes, além de parasitar e inibir fungos patogênicos por meio da produção de metabólitos secundários, o que fortalece a defesa, saúde e crescimento das plantas. *T. harzianum* também melhora a absorção de nutrientes e o enraizamento, além de mitigar os efeitos adversos de solos salinos (Abu-Shanab *et al.*, 2022; Diniz *et al.*, 2022). Sua atuação na promoção da tolerância à salinidade ocorre pela indução de resistência sistêmica e ativação de mecanismos de defesa, o que mantém o equilíbrio mineral e fortalece o desenvolvimento vegetal. Outras espécies, como *T. longibrachiatum*, também apresentam efeitos positivos na atenuação da salinidade, como demonstrado em estudos com mudas de melancia (Diniz *et al.*, 2022).

## CONCLUSÃO

Os bioestimulantes apresentaram respostas variáveis de acordo com o genótipo utilizado, sendo que a dose de 10 mL L<sup>-1</sup> de Roadster® foi a mais eficaz em promover maior massa seca da parte aérea e altura nas condições avaliadas. Dentre os genótipos avaliados, aqueles com baixa resposta ao uso dos bioestimulantes foram CTC 9001 e RB987835, com alta resposta às doses (CTC 9002) e resposta às doses intermediárias (SP80-1842 e H. Kawandang).

## REFERÊNCIAS

Acosta-Motos, J. R.; *et al.* Plant response to sal stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, v. 7, n. 18, 2017. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>.

Abu-Shanab, N. S. *et al.* Effect of Using Trichoderma spp. on Turfgrass Quality under Different Levels of Salinity. *Water*, v.14, n.23, art.3943, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14233943>.

Ahanger, M. A. *et al.* Potassium induces positive changes in nitrogen metabolism and antioxidant system of oat (*Avena sativa* L cultivar Kent). *Journal Plant Interactions*, v.10, p.211– 223, 2015. <https://doi.org/10.1080/17429145.2015.1056260>.

Ahmad, K. *et al.* Evaluation and characterization of genetic variation in maize (*Zea mays* L.) for salinity tolerance. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, v. 49, p.521-526, 2012. Disponível em: <https://www.pakjas.com.pk/papers/2097.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2024.

Alvares, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Chiconato, D. A. *et al.* Adaptation of sugarcane plants to saline soil. *Environmental and Experimental Botany*, n. 162, p. 201-211, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.02.021>.

Dabrowska, G. *Et al.*, Characteristics of the plant ascorbate peroxidase family. *Acta Biologica Cracoviensia*, v.49, n.1, p.7-17, 2007.

Diniz, G. L. *Et al.*, Uso de Trichoderma spp e estresse salino na produção de mudas de melancia. *Revista Em Agronegócio e Meio Ambiente*, v.15, n.4, p.1–16, 2022. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2022v15n4e9939>.

FAOSTAT. FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. FAOSTAT - **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 02 de agosto de 2023.

Fernandes, A. L. T. *et al.* Effect of seaweed extract formulation on coffee plants at different irrigation levels. **Asian Academic Research Journal of Multidisciplinary**, v.6, p.60-74, 2019.

Ferreira, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039- 1042, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

Flowers, T. J.; Munns, R.; Colmer, T. D. Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. **Annals of Botany**, v.115, n.3, p.419–431, 2015. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu217>.

Gill, S. S.; Tuteja, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology And Biochemistry**, v. 48, n. 12,p. 909-930, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>.

Kumar, R. *et al.* Genotypic response of recently evolved sugarcane “Co” clones under different levels of saline irrigation water. **Journal of Sugarcane Research**, v. 7, n. 2, p. 159-168, 2017.

Meena, M. R. *et al.* Current breeding and genomic approaches to enhance the cane and sugar productivity under abiotic stress conditions. **3 Biotech**, v. 10, p. 440, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02416-w>.

Nair, P. *et al.* Transcriptional and metabolomic analysis of *Ascophyllum nodosum* mediated freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **BMC genomics**, v. 13, p. 1-23, 2012. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-643>.

Neumann, E. R.; Resende, J. T. V.; Camargo, L. K. P.; Chagas, R. R.; Lima Filho, R. B. Produção de mudas de batata doce em ambiente protegido com aplicação de extrato de *Ascophyllum nodosum*. **Horticultura Brasileira**, v.35, p.490-498, 2017. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620170404>.

\, Z.; Blumwald, E. Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants. **Current Opinion in Plant Biology** v. 14, p.290–295, 2011. <https://doi.org.ez26.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.pbi.2011.02.001>.

Rasheed, R. *et al.*, Partial repair of salinity-induced damage to sprouting sugarcane buds by proline and glycinebetaine pretreatment. **Protoplasma**, v. 253, n. 3, p.803–813, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00709-015-0841-2>.

Rawat, L. *et al.* Seed biopriming with salinity tolerant isolates of *Trichoderma harzianum* alleviates salt stress in rice: growth, physiological and biochemical characteristics. **Journal of Plant Pathology**, v.94, n.2, p.353-365, 2012. <http://dx.doi.org/10.4454/JPP.FA.2012.026>.

Sales, J. R. da S. *et al.* Algae biostimulant improves salt tolerance and visual quality of tropical ornamental herbaceous species. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.**, v. 28, n. 4, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n4e278645>.

Shukla, P. S. *et al.* *Ascophyllum nodosum* extract mitigates salinity stress in *Arabidopsis thaliana* by modulating the expression of miRNA involved in stress tolerance and nutrient acquisition. **PLoS One**, v. 13, n. 10, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206221>.

Siddiqui, M. H. *et al.* Melatonin and gibberellic acid promote growth and chlorophyll biosynthesis by regulating antioxidant and methylglyoxal detoxification system in tomato seedlings under salinity. **Journal Plant Growth Regulation**, p. 1–15, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10122-3>.

Singh, A. Alternative management options for irrigation-induced salinization and waterlogging under different climatic conditions. **Ecology Indicators**, v. 90, p.184–192, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.014>.

Wally, O. S. D. *et al.* Regulation of phytohormone biosynthesis and accumulation in *Arabidopsis* following treatment with commercial extract from the marine macroalga *Ascophyllum nodosum*. **Journal of plant growth regulation**, v. 32, p. 324-339, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9301-9>.

Watanabe, K. *et al.* Changes in Agronomic and Physiological Traits of Sugarcane Grown with Saline Irrigation Water. **Agronomy**, v. 10, n. 5, p.722, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050722>.